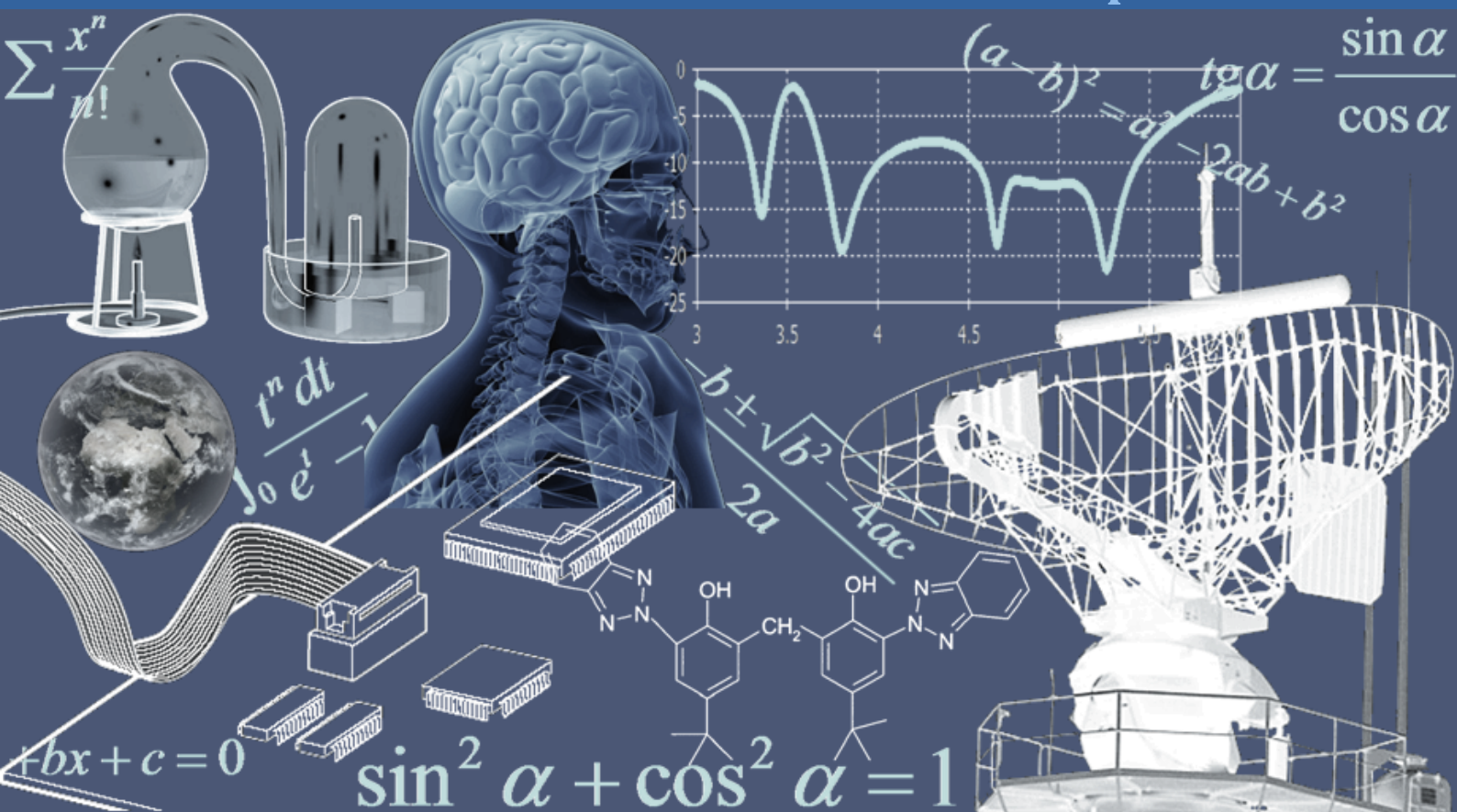


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 46 N. 3 September 2025



International Peer Reviewed Monthly Journal



International Journal of Innovation and Applied Studies

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

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

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

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

Editorial Advisory Board

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

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

Table of Contents

Proposition d'un répertoire opérationnel des métiers du sport au Sénégal <i>Amadou Mactar NDIUCK, Djibril Diouf, and Mouhamed Dit Momar Talla Ndongo</i>	277-289
L'innovation et le développement durable au Maroc: Une analyse descriptive du lien entre l'innovation et le développement durable marocain <i>Zineb RHAZI</i>	290-302
Modeling and implementing an innovation process in project-based learning activities: Case of mechanical engineering training in Morocco <i>Imane ZERGOUT, Zineb AIT HADDOUCHANE, Soumia BAKKALI, and Souad AJANA</i>	303-319
Le vin, miroir des civilisations: La coupe de l'altérité entre tensions religieuses et représentations interculturelles <i>Zineb Mabrouk and Naoufal Gorfti</i>	320-327
Comparative study of different germination tests to determine the germinative vigor of seeds of five cowpea varieties popularized in Burkina Faso <i>Sakande Boureima, Sidibe Hamadou, and Ouedraogo Daouda</i>	328-335
Caractérisation des pratiques de stockage de l'arachide (<i>Arachis hypogaea</i> L.) dans la bande sud centre du Niger <i>Chaibou Naroua, Abdou Haladou, Oumarou Haladou Issoufou, Balogoun Armando Sosthene Kali, and Mahamadou Elhadji Gounga</i>	336-346
Factors Contributing to Poor Performance in English Language Learning in Kaziba Secondary Schools <i>Spye CHINDJA BAHIZIRE and Barthelemy MUZALIWA BALUME</i>	347-355
Inventaire des plantes aphrodisiaques vendues sur le marché central de la ville de Kenge, Province du Kwango en République Démocratique du Congo (RDC) <i>Ruffin Nsielolo Kitoko</i>	356-368
Enhancement of Soil Fertility and Musa sp. AAA (Cavendish) Yield by <i>Arachis repens</i> and <i>Desmodium adscendens</i> Cover Crops in Côte d'Ivoire: An Agroecological Approach <i>Kosso Nina Reine Boka, Mamadou Cherif, Ler-Nogn Dade Georges Elisee Amari, Koffi Fernand Jean-Martial KASSI, Kouame Konan Didier, Seydou TUO, Kra Frederic Kouame, Camara Brahim, Edouard Yves Gilchrist Kouadio, and Acka Emmanuel DICK</i>	369-383
Etude de la diversité variétale du manioc (<i>Manihot esculenta</i> Crantz) dans trois bassins de culture en Côte d'Ivoire <i>Thiémélé Deless Edmond Fulgence, Daramcoum Wentoin Alimata Marie Pierre, and Sékongo Kofori</i>	384-392
Les inondations pluviales à Boma et Kinshasa, aléas naturels dus aux vulnérabilités environnementales <i>Mvumbi Sylvain Mavinga, Lankwese Niaty Sylvain, Mananga Mananga Placide, and Shuku Onema Nicola</i>	393-400
Africans and the challenges of corruption: An analysis of Achebe's <i>The Trouble with Nigeria</i> <i>Maina Ouarodima and Idi Bahari Hamza</i>	401-412
EVALUATION DU NIVEAU DE CONNAISSANCE DES MARAICHERS SUR LES BONNES PRATIQUES AGRICOLES DE LA TOMATE DANS LA VILLE DE KORHOGO <i>N'Goran-Bla Ahou Régine, Sekongo Kifori, Ouattara Fatoumata, Ki Aboudramane Yacouba, Kouakou Tanoh Hilaire, and Kone Daouda</i>	413-423
QUALITE ET POTABILITE DES EAUX SOUTERRAINES DES SYSTEMES AQUIFERES DU BASSIN SEDIMENTAIRE DE KANDI (BENIN, AFRIQUE DE L'OUEST) <i>Alowakinnou Sonya, F. Avahounlin Ringo, C. Kéloré Nelly, Jcouthika Brunelle, and Expédit W. VISSIN</i>	424-433
Analyse de l'occurrence des extrêmes climatiques et cartographie des risques hydro climatiques dans la zone agro écologique 4 du Bénin <i>Quinakonhan Médard, F. Avahounlin Ringo, and Expédit W. VISSIN</i>	434-446
Caractérisation physico-chimique et mécanique d'un composite à base de particule de tiges de cotonnier et de poudre d'écorce de <i>Grewia Venusta</i> <i>Lokossou Melon, Osseni Sabiath, Vodounou Edmond, Osseni Sèmiyou, and Ahouannou Clément</i>	447-462
Distribution des concentrations des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les sédiments de la baie estuarienne de Koumassi (lagune Ebrié)	463-469

Bi Trazie Jean-Gael Irié, Idi Karimou Laouali, Waris Kewouyemi Chouti, Aoua Sougo Coulibaly, and Mondé Sylvain

Évaluation du niveau d'application de l'approche par les situations (APS) en apprentissage des sciences dans les écoles secondaires pilotes de MBUJIMAYI 470-480

MUYA MULUMBA Sammy, Mpungwe Kazadi Simon, Kasenga Kasenga Charles, Tshilongo Mbemba Betsaleel, and Muamba Mpoyi Samuel

Les petites et moyennes entreprises des zones semi-arides ouest africaines face au changement climatique: Cas du Sénégal 481-492

Mamadou Diop

Considérations de l'environnement en tant qu'approche transversale dans le vécu quotidien des ménages: Aperçu sur la gestion, la protection et l'éducation environnementale dans la commune rurale d'Aru, au Nord-Est de la RD Congo 493-505

John Kisembo Katabuka and Amuda Baba Dieu-Merci

Dimensionnement et optimisation des architectures de réseaux: Revue de la littérature 506-521

MALOBA MBUYA FIRMIN, Kaseraka Selain, Fyama Mwepu Blaise, Kalombo Nshimba Daily, and Kasoro Mulenda Nathanael

Facteurs associés à la Faible Implication des Partenaires Masculins au Service de Prévention de la Transmission Mère-Enfant (PTME) dans la Zone de Santé de Bunia, Province de l'Ituri, République Démocratique du Congo 522-528

Consolée Kyomuhendo and Amuda Baba Dieu-Merci

Apport de la statistique descriptive à l'étude de la productivité des forages d'eau en milieu de socle: Cas de la région du N'Zi-Comoe en Côte d'Ivoire 529-537

Assoue Kouakou Sylvestre KOUADIO, Zahibo Oscar ONETIE, Yao Salomon Kouakou, and Assa Fabrice YAPI

Déterminants de l'Hygiène de Transport en Commun dans la Ville d'Isiro, Province de Haut-Uélé, RD Congo 538-542

Bulupiy Wowo Innocent and Amuda Baba Dieu-Merci

Statistiques non gaussiennes des vitesses de surface à partir des données de drifters dans le Golfe de Guinée 543-554

Hilaire Amemou, Hermann Yapo, Michel Tchiekre, and Mamadou Koné

Caractérisation biochimique, microbiologique et sensorielle de trois sous-produits de fonio en Guinée 555-562

Lanciné Sangaré, Agnès Sakama Mansaré, Vamougné Kourouma, Oumou Barry, and Ubad Polycarp Tougan

Implication of low intensity rain spectra ($R \leq 1 \text{ mm/h}$) in the variability of Z-R relationship linked to the microphysical processes of precipitation: Size-controlled, number-controlled and mixed control of drops 563-582

Bakary Bamba, Augustin Kadjo Koffi, Koné Brahima, Modeste Kacou, Ibrahima Bamba, Eric-Pascal Zahiri, and Abé Delfin Ochou

Explainable Diabetes Risk Assessment Using Optimized Stacked Machine Learning: XGBoost-MLP-Random Forest Ensemble with Cross-Cohort Validation 583-595

Adlès Francis Kouassi, Tanon Lambert Kadjo, K. Yablé Didier, and Olivier Asseu

Effet de trois biofertilisants à base de Azolla filiculoides, Tithonia diversifolia et fiente de Galus galus sur la productivité de l'aubergine (Solanum melongena) à Daloa (Côte d'Ivoire) 596-610

GROGA Noël, Yao Bertin KOUAKOU, Gore bi Boh Nestor, and Dogniméton Soro

Étude de l'incidence du conflit Teke-Yaka sur le vécu des familles d'accueil de la ville de Kenge dans la province de Kwango en République Démocratique du Congo 611-619

Jules Kapay Mangumbu, Crispin Muhelo Mayoyo, Mado Mayamba Mungwelo, Gisèle Zunzu Makiese, Esperance Mitondo Mayimona, Bernadette Kukuluka Bisaka, and Jean Baptiste Mvunzi Nzundu

Detection of antibiotic-resistant Escherichia coli and Salmonella spp. in wastewater from a former slaughterhouse in Ivory Coast 620-628

Ibourahema Coulibaly, Condé Fatoumata, Kalpy Julien Coulibaly, Konaté Ibrahim, and Daouda Koné

Proposition d'un répertoire opérationnel des métiers du sport au Sénégal

[Proposal for an Operational Directory of Sports Professions in Senegal]

Amadou Moctar NDIOUCK, Djibril DIOUF, and Mouhamed Dit Momar Talla Ndongo

Department of Socio-Educational Activities, National Higher Institute of Popular Education and Sport, Senegal

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In the economic and social crisis that affects the world and in particular the countries of the South, unemployment is considered to be the most disastrous consequence that weighs on young people by plunging them into desperate poverty. Consequently, the sectors of public life, including sport, contribute to providing structural responses. This study identifies operational professions and offers their training.

KEYWORDS: unemployment, youth, poverty, sports professions, vocational training.

RESUME: Dans la crise économique et sociale qui affecte le monde et en particulier les pays du Sud, le chômage passe pour être la conséquence la plus désastreuse qui pèse sur la jeunesse en l'enfonçant dans une pauvreté désespérée. Dès lors les secteurs de la vie publique y compris le sport concourent à apporter des réponses structurelles. Cette étude identifie des métiers opérationnels et propose leur formation.

MOTS-CLEFS: chômage, jeunesse, pauvreté, métiers du sport, formation professionnelle.

1 INTRODUCTION

La crise internationale multiforme, avec son corollaire de mutations économiques, ainsi que le poids démographique de la jeunesse, ont fini de soumettre les pays du sud au crucial défi du chômage et de la pauvreté. C'est ainsi que depuis plus d'une décennie, plusieurs Etats ont réalisé des progrès notables dans l'atteinte des Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD). Toutefois, la reprise amorcée n'a pas eu d'effets significatifs sur la croissance de l'emploi, moyen le plus efficace pour combattre la pauvreté et l'exclusion.

Un tiers des 1,8 milliard de jeunes dans le monde n'a actuellement pas d'emploi et ne suit ni études ni formation. Sur le milliard de jeunes supplémentaires qui vont arriver sur le marché du travail au cours des dix prochaines années, seuls 40 pour cent devraient pouvoir trouver un emploi qui existe aujourd'hui. L'économie mondiale devra créer 600 millions d'emplois au cours des dix prochaines années – cinq millions d'emplois par mois – rien que pour garder le rythme prévu des taux d'emploi des jeunes. Mettre fin à la crise de l'emploi des jeunes est une priorité absolue et le coût socio-économique de l'inaction est lourd, indique un nouveau rapport [1].

Aujourd'hui plus que jamais, la réduction de la pauvreté est au cœur des politiques publiques et des budgets mis en œuvre afin de répondre aux besoins réels des acteurs sociaux sensibles comme les jeunes et les femmes.

Au Sénégal 60% de la population a moins de 24 ans et les jeunes en âge de travailler représentent plus de la moitié de la population active. Chaque année on enregistre entre 100 000 et 260 000 jeunes demandeurs sur le marché du travail et la pandémie de COVID-19 n'a pas manqué d'exacerber le chômage qui frappe les jeunes en particulier.

L'Ambassadeur de l'UE au Sénégal a déclaré « la jeunesse est la force de l'Afrique et du Sénégal: soutenir la jeunesse sénégalaise, lui offrir des opportunités d'emploi et de formation professionnelle, est aujourd'hui au cœur de notre partenariat avec le Sénégal » [2].

Au Sénégal depuis Avril 2021, les autorités publiques ont entrepris un vaste programme « xeyu ndaw gni » (emploi des jeunes) dans la perspective de faire émerger une nouvelle génération de jeunesse qualifiée, productive et entreprenante avec des emplois décents à l'horizon 2023. Il est question de la mise en place d'un vaste programme de recrutement notamment dans les secteurs de l'éducation, du reboisement, du service civique national, de la sécurité et du nettoyage dans les quatorze (14) régions du pays.

Doté d'une enveloppe triennale d'un montant global de 450 milliards de FCFA, le programme table sur 65 000 emplois directs par le truchement de recrutements spéciaux, de projets publics d'intérêt communautaire et emplois-aidés lesquels sont adossés à une convention Etat-Employeur subventionnée à hauteur de 15 milliards de FCFA.

La mutation des pratiques de sport a développé divers métiers connexes qui constituent aujourd'hui une opportunité d'emploi pour plusieurs jeunes. Les métiers dans le secteur du sport, sont à la fois un facteur de développement économique et un moyen de cohésion sociale. Ils peuvent être porteurs de valeurs ajoutées en termes de qualification des jeunes dans leurs propres collectivités locales.

Le gouvernement du Sénégal a fait du sport une priorité emblématique de ses politiques publiques au bénéfice de la jeunesse et les partenaires techniques et financiers impliqués autour de la thématique « sport et développement », se sont engagés à ses côtés pour soutenir cette priorité.

Quels sont les métiers du sport opérationnels ? C'est-à-dire qu'on pourrait offrir à cette jeunesse désorientée et affolée par le désespoir, et qui lui sont immédiatement praticables dans le contexte des organisations sportives au Sénégal. L'autre pendant de cette première question est de savoir comment y accéder, autrement comment acquérir les compétences exigibles pour exercer ces métiers ?

2 LES MÉTIERS DU SPORT DANS LE CONTEXTE SÉNÉGALAIS

Le métier désigne « *un travail déterminé, reconnu par la société, qui exige un apprentissage spécialisé et procure des moyens d'existence* » [3].

Pour qui veut travailler dans le sport, la palette des activités est large. Sachant que le plus souvent, il n'est pas nécessaire de pratiquer à haut niveau ou d'exceller dans une discipline sportive pour rejoindre ce secteur.

« *Plus limité dans sa nature distractive, le sport se déploie également en une nouvelle filière de recrutement et d'émergence d'emploi dits « nouveaux* » [4] (De Lescure 2015)

Emblématique de la compétition, les sportifs de haut niveau et les sportifs professionnels constituent une minorité d'élus dans chaque discipline. Autour d'eux gravitent différents spécialistes qui contribuent à leur performance, à leur santé et à leur notoriété: agents, arbitres, commentateurs sportifs, médecins du sport, préparateurs physiques, etc. Ces métiers exigent une très grande disponibilité, le sens des responsabilités et souvent une bonne résistance au stress [5].

Les moniteurs et les éducateurs sont dans la transmission d'une discipline sportive, de ses règles et de ses valeurs auprès de publics variés (enfants, adultes, seniors, personnes en situation de handicap, etc.). Que ce soit pour enseigner l'équitation, la natation, le fitness ou le tennis, ils allient technicité, pédagogie et sécurité.

Les professeurs d'EPS (éducation physique et sportive), les techniciens animateurs qui eux, enseignent et encadrent la pratique sportive.

Enfin, il y a tous ceux qui s'occupent de gérer et de promouvoir la pratique sportive professionnelle ou amateur: agents de développement sportif, journalistes sportifs, responsables événementiels, directeurs de structure, etc. Sans oublier les professionnels qui s'attachent à vendre le matériel ou à l'adapter pour gagner en confort, en sécurité ou en esthétique: vendeurs d'articles de sport, ergonomes, directeurs de magasin, etc [6].

3 MÉTHODOLOGIE

La méthodologie est intervenue à deux niveaux, d'abord dans l'enquête sur les métiers dans les organisations sportives par un questionnaire et ensuite pour la formation au métier où par une approche par les compétences, nous avons projeté le

référentiel de compétences sur le référentiel de formation. Une façon de caler le champ pédagogique sur le champ professionnel.

En réalité il s'est agi de l'application de la méthode ETED (emploi-type étudié dans sa dynamique) fondée sur une analyse du travail et de l'emploi situés dans l'organisation productive. Son originalité consiste à partir des activités exigibles sur un poste de travail en tenant en compte de l'environnement et des caractéristiques des personnes. Elaborée par N. Mandon, la méthode se situe dans le prolongement du répertoire français des emplois (RFE) conçu par le CEREQ.

4 RAPPORT DE L'ENQUÊTE STRUCTURE

4.1 IDENTIFICATION DES ORGANISATIONS

4.1.1.1 CLASSIFICATION DES ORGANISATIONS

Les structures enquêtées sont constituées principalement par les administrations (19,57%), les fédérations (17,39%), les clubs professionnels (13,04%), les salles de maintenance et de musculation (8,70%), les centres de formations (8,70%), les collectivités locales (8,70%), les magasins de vente d'articles sportifs (6,52%), etc.

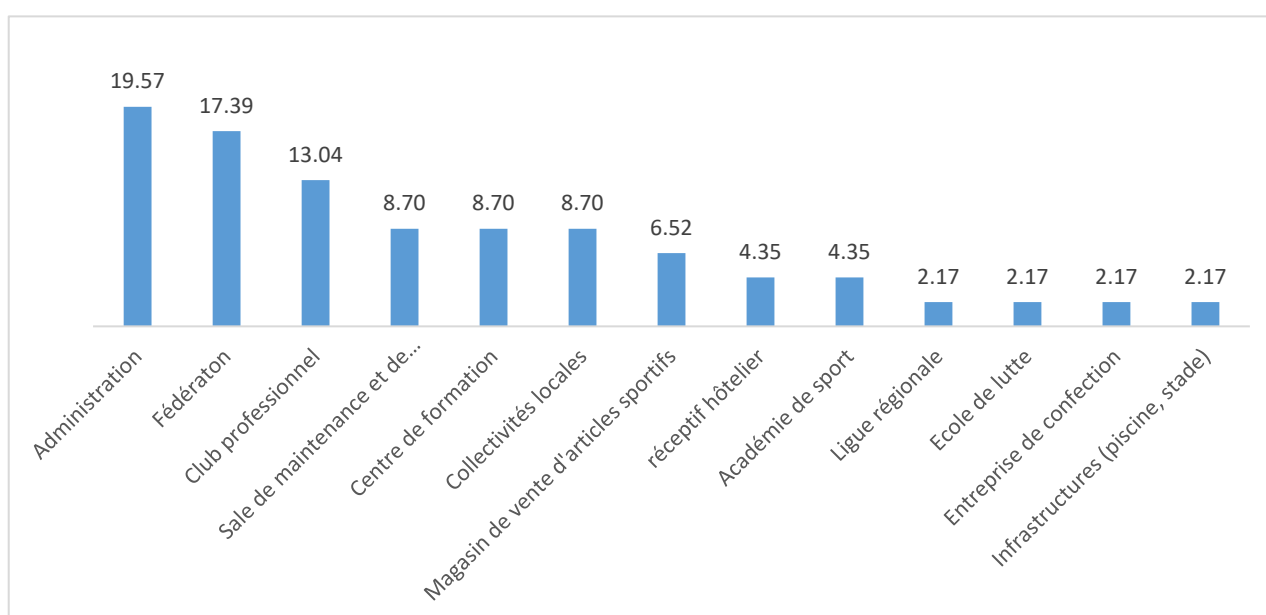


Fig. 1. Classification des organisations enquêtées (en %)

Source: Enquête structure

Les domaines sportifs les plus couramment identifiés au niveau des structures de sport sont le football (36,96%), le basketball (15,22%), l'athlétisme et le taekwondo (6,52%), le rugby, le judo, le Karaté et la lutte (4,35%).

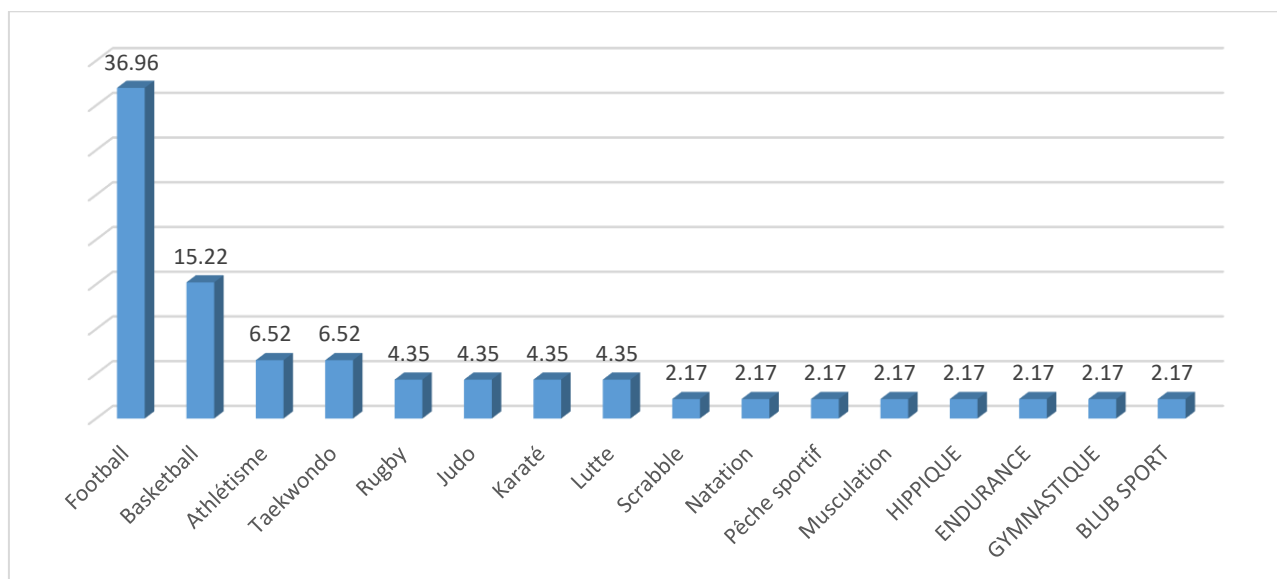


Fig. 2. Domaine sportif des organisations enquêtées (en %)

Source: Enquête structure

4.2 EMPLOI DANS LE SPORT

4.2.1 RÉPARTITION DES EMPLOIS PAR SEXE

L'analyse de la répartition par sexe des emplois dans le sport a permis de relever une forte représentativité des hommes qui représente 84,28% par rapport aux femmes qui ne comptent que pour 15,72%.

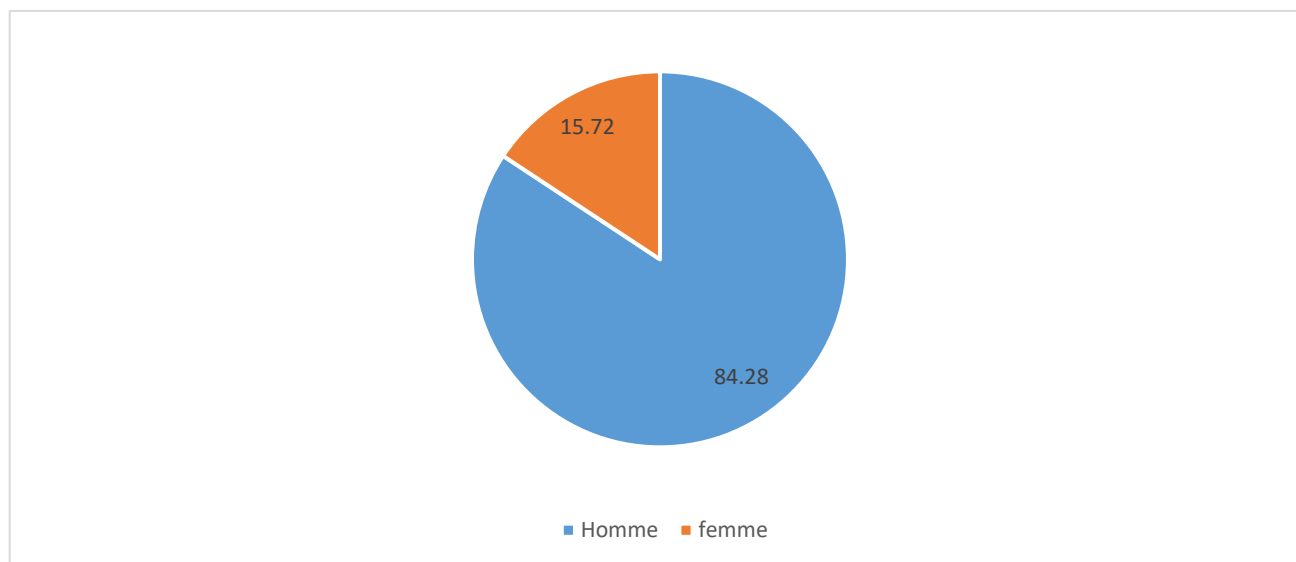


Fig. 3. Répartition des emplois selon le sexe

Source: Enquête structure

4.2.2 APPELLATION DES EMPLOIS DANS LE SPORT

Les acteurs du sport peuvent être des pratiquants amateurs, pratiquants professionnels ou des entraîneurs. Concernant des métiers liés au sport, on y retrouve des acteurs en charge de l'entretien des pelouses et de la gestion des infrastructures.

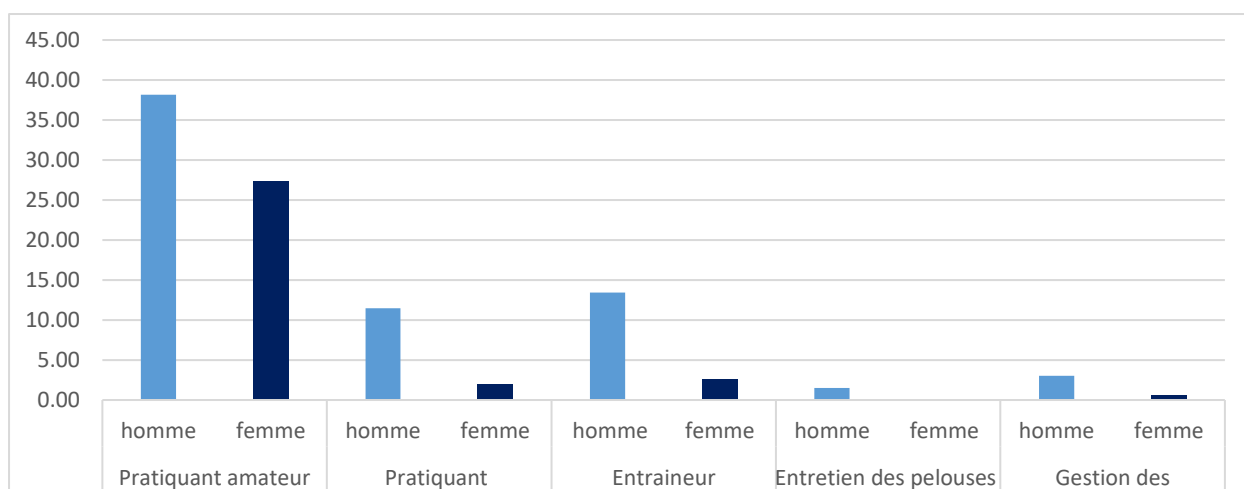


Fig. 4. Répartition des appellations des emplois selon le sexe

Source: Enquête structure

4.2.3 SITUATION DU RECRUTEMENT

Au cours des trois (03) dernières années, 45,65% des structures ont procédé à des recrutements. Ces recrutements ont trait à des aides magasiniers, des chauffeurs, des entraîneurs pour la formation, des footballeurs, des personnes en charge de la gestion des infrastructures, des moniteurs, des pratiquants professionnels et techniciens modélistes

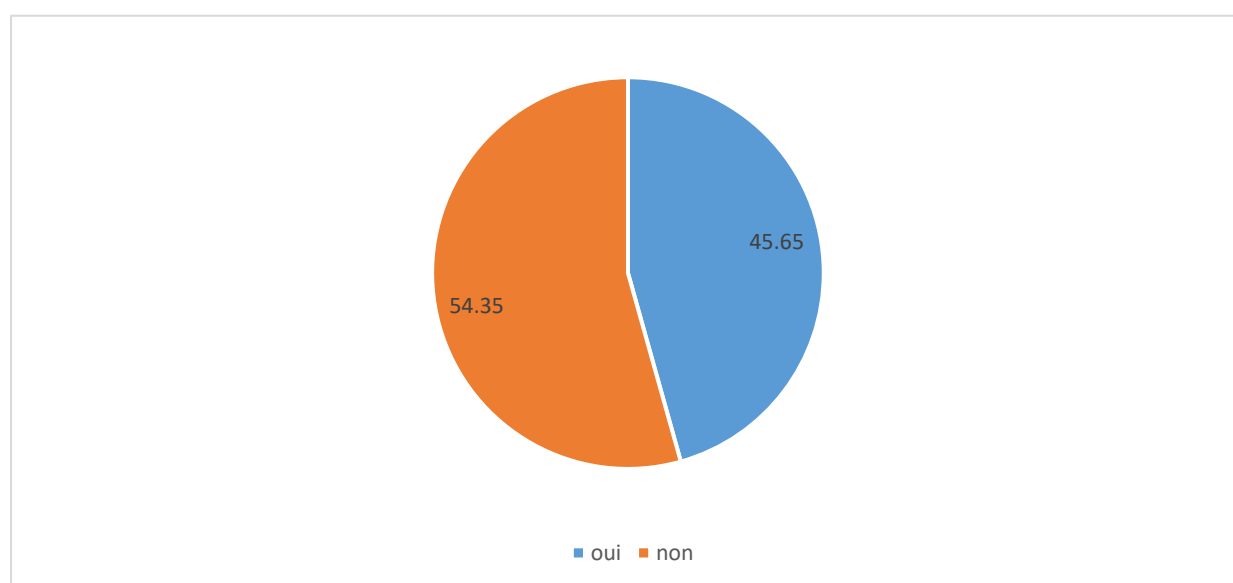


Fig. 5. Situation du recrutement au cours des trois dernières années (%)

Source: Enquête structure

Néanmoins, 43,48% des structures envisagent de recruter dans les trois prochaines années.

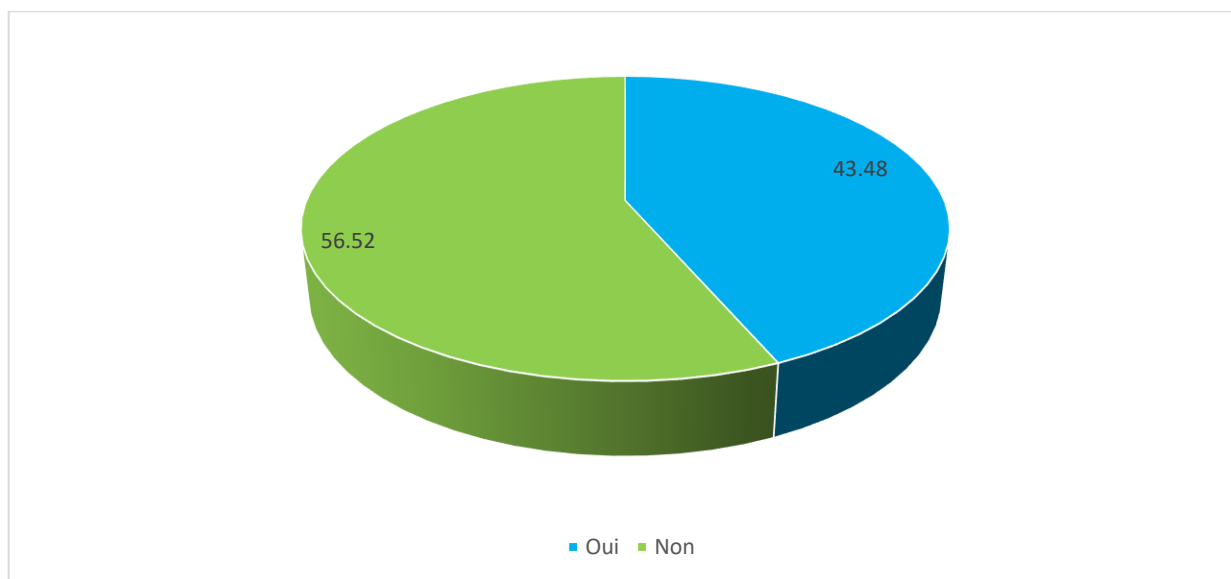


Fig. 6. Intention de recrutement dans les trois prochaines années des structures (en %)

Source: Enquête structure

Il convient également de noter que 28,26% des structures envisagent des reconversions, des réorientations ou des reclassements.

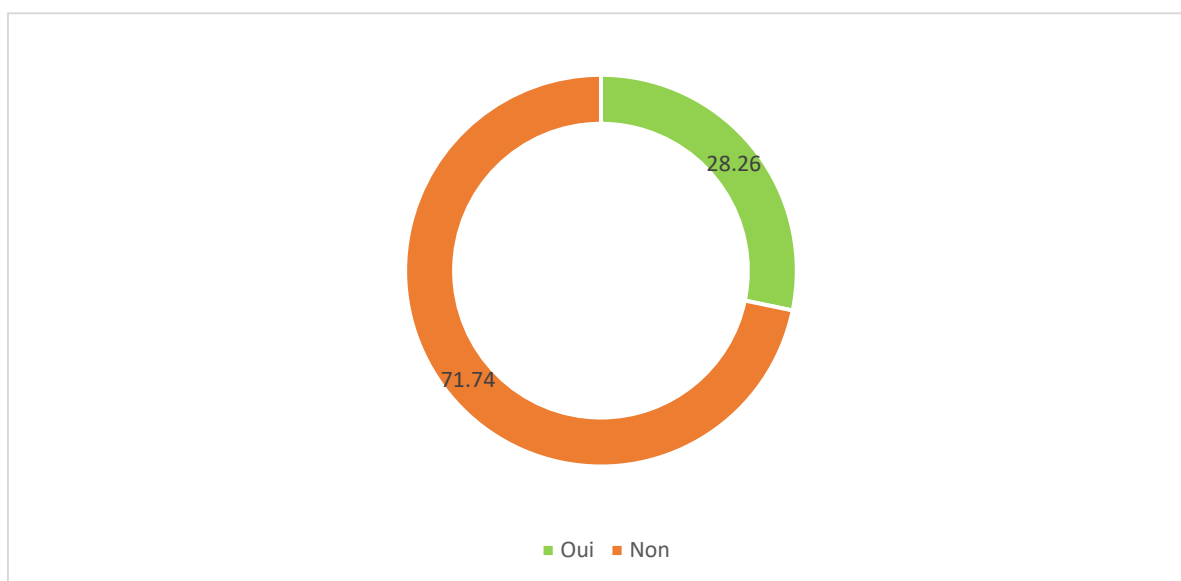


Fig. 7. Répartitions des structures ayant envisagé des reconversions, des réorientations ou des reclassements (en %)

Source: Enquête structure

4.2.4 DIFFICULTÉS DANS LE FONCTIONNEMENT DE LA STRUCTURE

Au niveau des structures de sport, les difficultés ne manquent pas. En effet, la majorité des structures (78,26%) sont confrontées à des difficultés dans leur fonctionnement actuel. Cependant 21,74% d'entre elles prétendent le contraire.

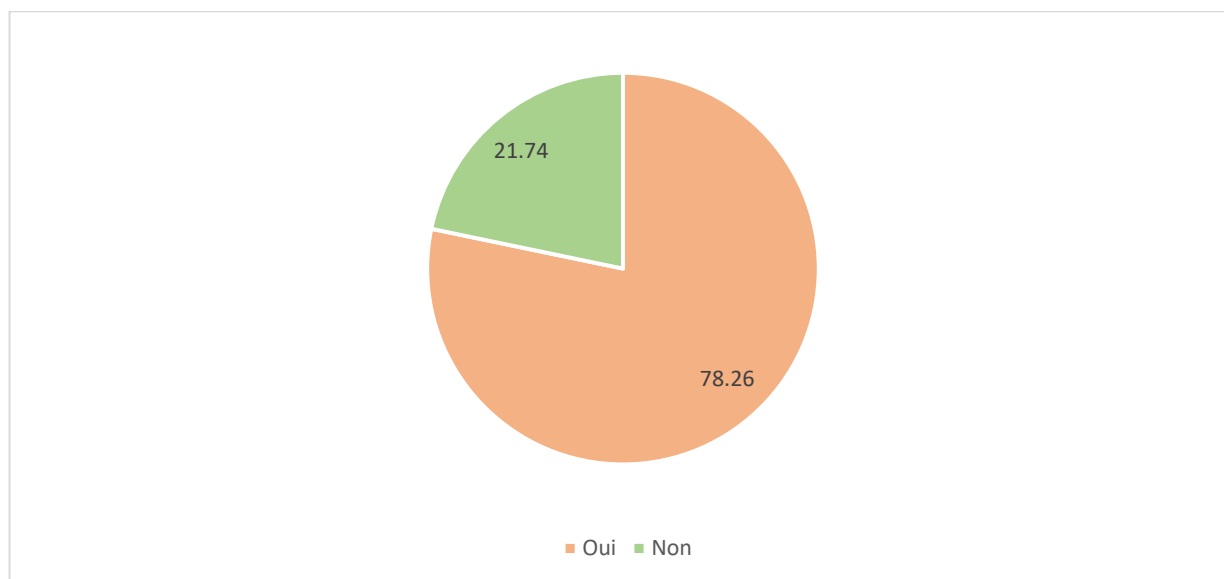


Fig. 8. Répartitions des structures ayant rencontré des difficultés dans le fonctionnement actuel de la structure (en %)

Source: Enquête structure

Dans la plupart des cas, les difficultés sont d'ordre opérationnel selon 58,70% des structures. Par contre 21,74% d'entre elles éprouvent des difficultés techniques. Les difficultés d'ordre relationnel touchent 10,87% des structures alors 8,70% évoquent des problèmes d'adaptabilité.

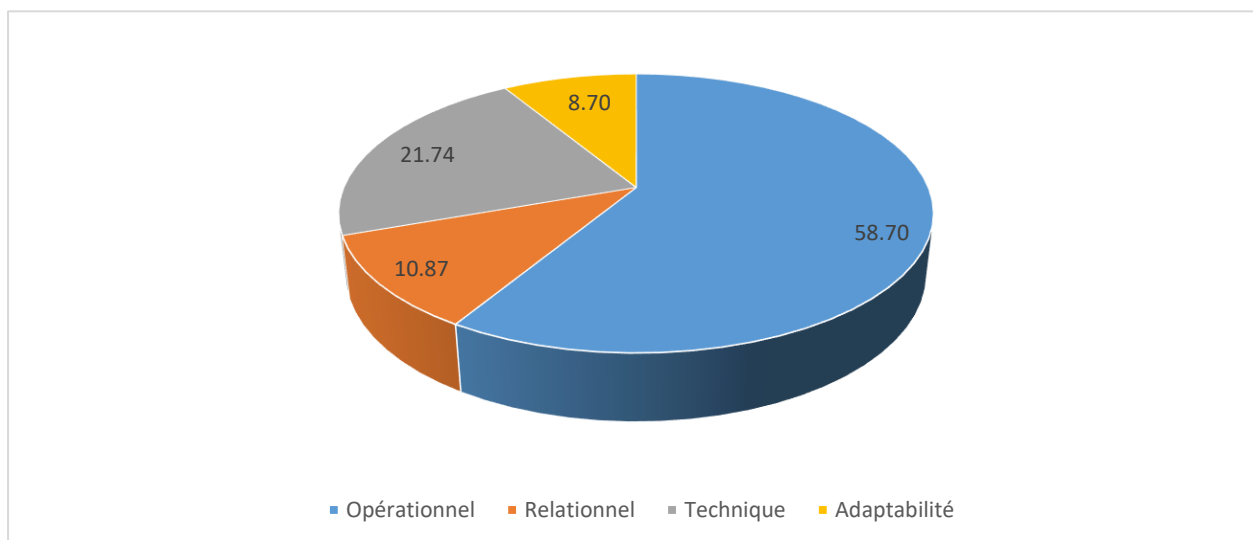


Fig. 9. Répartitions des structures selon le niveau de difficultés rencontrées dans le fonctionnement actuel de la structure (en %)

Source: Enquête structure

4.2.5 ADÉQUATION ENTRE L'OFFRE ET LA DEMANDE

Au niveau des structures du sport, il a été constaté une inadéquation entre les compétences requises et celles qui sont mobilisées par les agents. Ces cas ont été relevés au niveau de 28,26% des organisations du sport. Ainsi, les compétences exigibles pour la satisfaction de leurs besoins sont principalement les compétences administratives, les connaissances sportives et en comptabilité, les compétences en gestion des infrastructures, en management et en technique de la pêche ainsi que pour la formation des joueurs pour le cas des clubs.

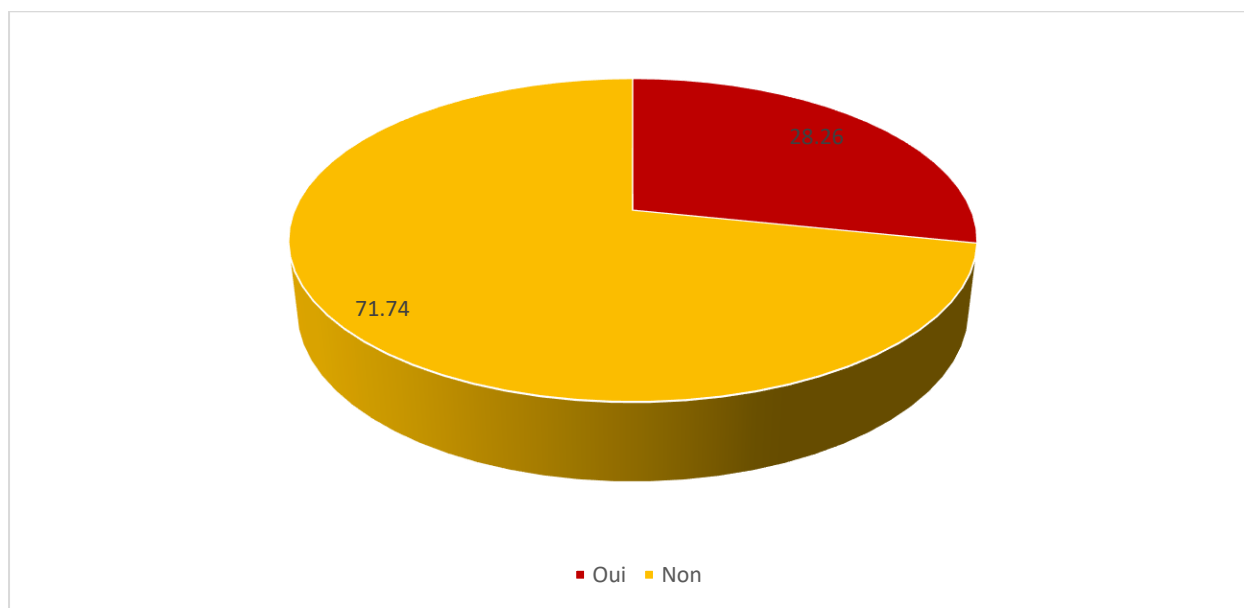


Fig. 10. Répartition des structures ayant constaté un décalage entre les compétences requises le poste occupé

Source: Enquête structure

5 QUESTIONNAIRE POSTE

5.1 DOMAINES SPORTIF DES ACTEURS DU SPORT

Les métiers les plus fréquemment rencontrés dans le cadre de cette enquête sont dans le football (43,84%), le basketball (15,79%), l'hippisme (8,77%), la natation et la lutte (5,26%), l'athlétisme et la musculation (3,51%).

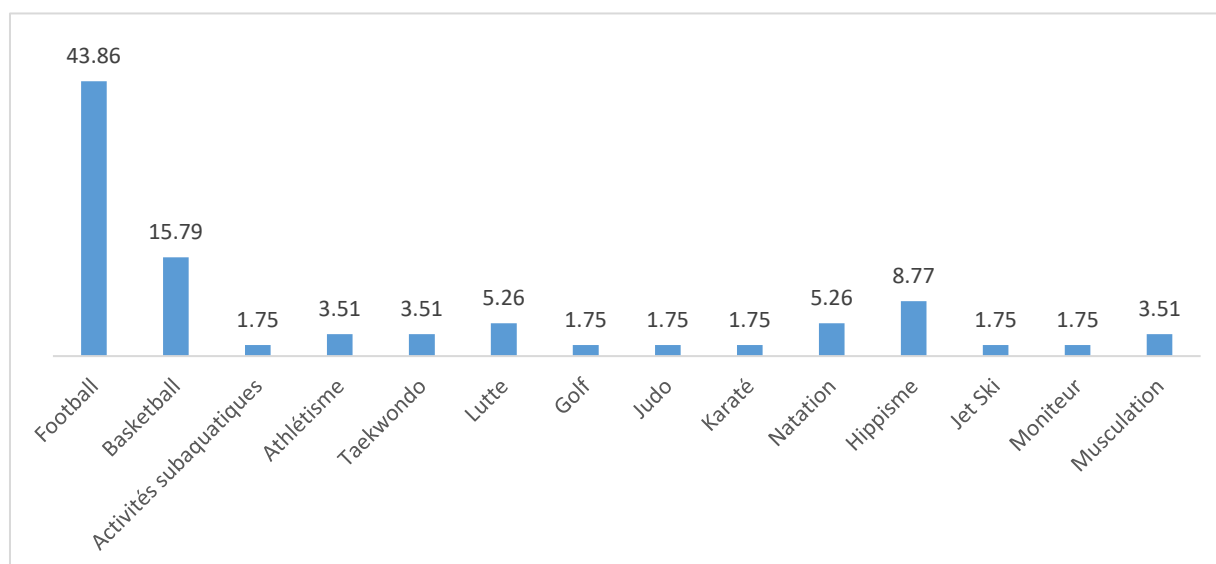


Fig. 11. Répartition des acteurs selon le domaine sportif

Source: Enquête sur les métiers du sport

5.2 SITUATION DE L'EMPLOI

Plus de la moitié des acteurs du sport, rencontrés ont un contrat de travail (56,63%) contre 47,37% qui ont déclaré n'avoir pas de contrat de travail.

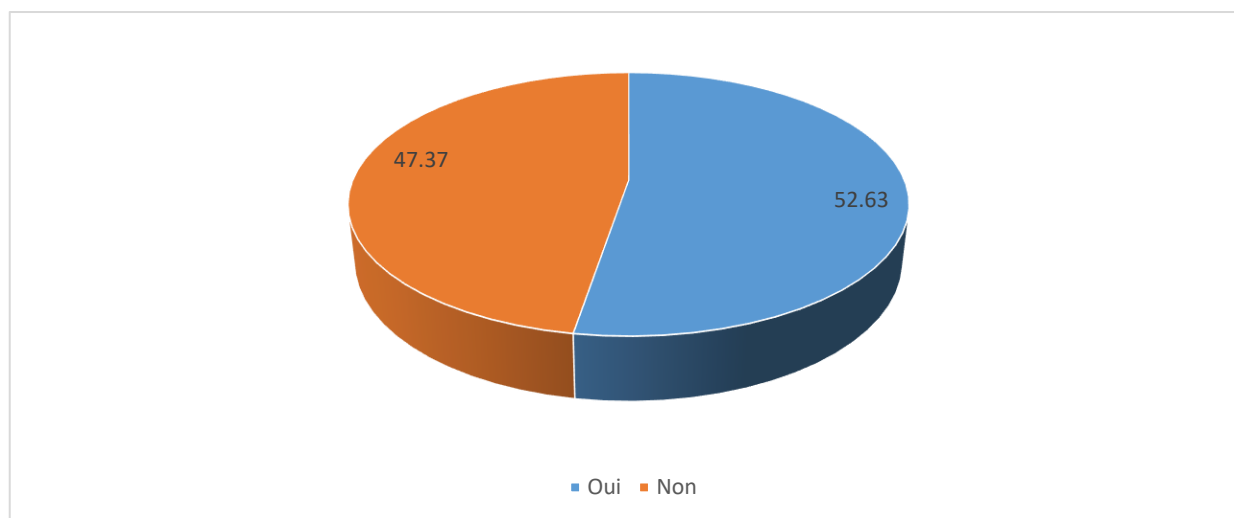


Fig. 12. Répartition des acteurs du sport ayant un contrat de travail (en %)

Source: Enquête sur les métiers du sport

Même si la majorité des acteurs ont un contrat de prestation (36,84%), il faut noter que 29,82% d'entre eux bénéficient d'un CDI. En revanche, 17,54% des acteurs s'activent dans le bénévolat contre 15,79% qui ont des CDD.

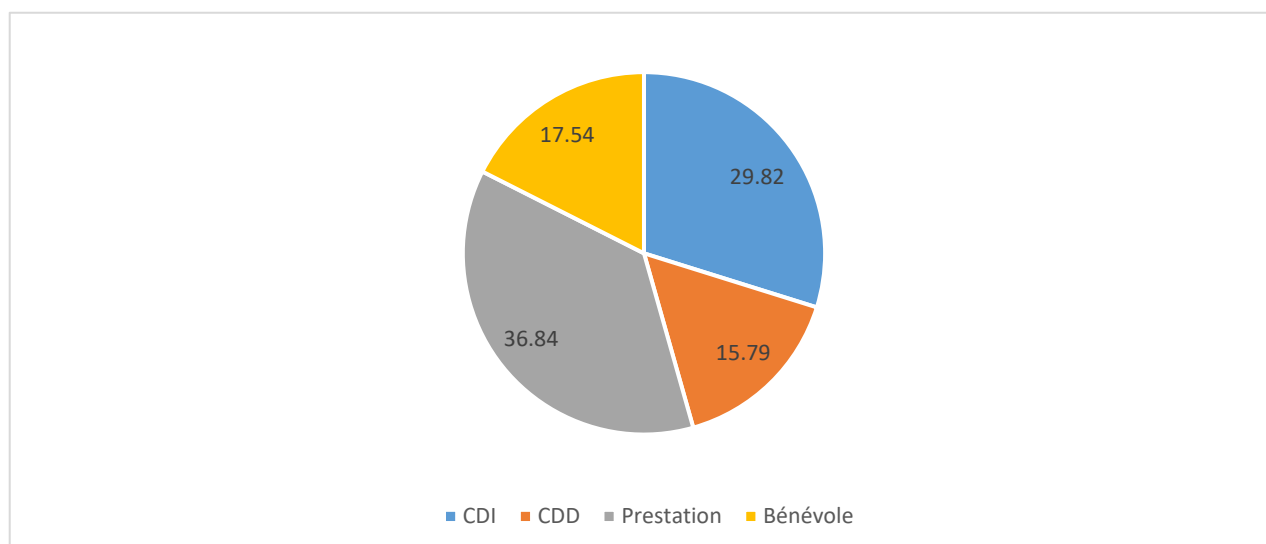


Fig. 13. Répartition des acteurs selon le type de contrat

5.2.1 RÉPARTITION DES ACTEURS AYANT CONTRACTÉ DES DIFFICULTÉS

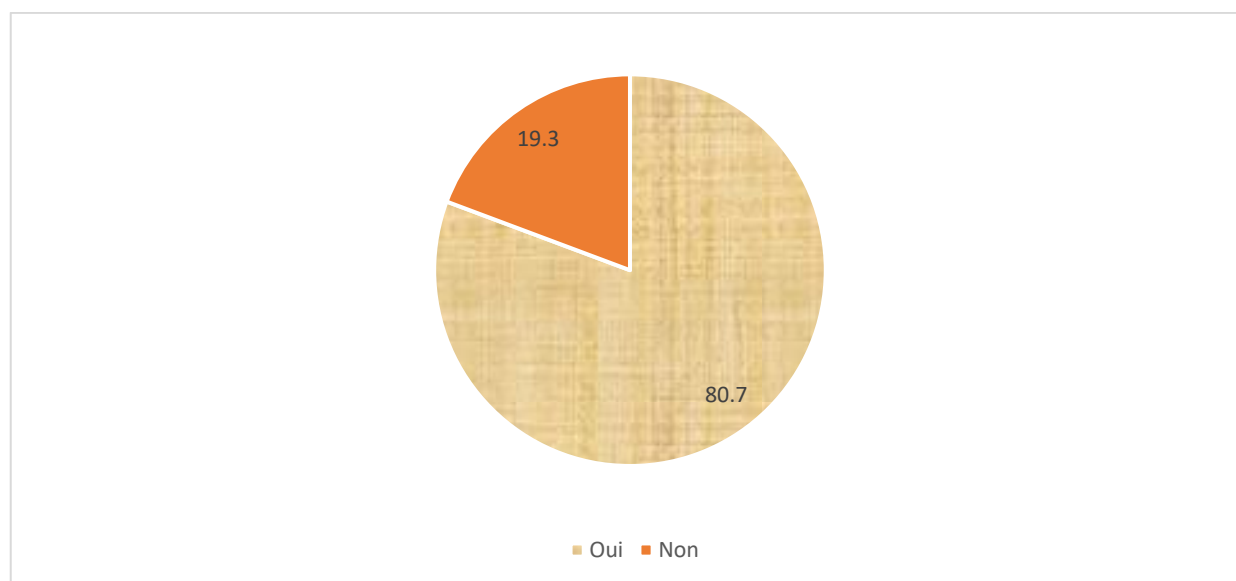


Fig. 14. Répartition des acteurs ayant contracté des difficultés

Source: Enquête sur les métiers du sport

La majorité (35,09%) des acteurs sont confrontés à des difficultés d'ordre opérationnel alors que 21,05% d'entre eux évoquent des difficultés techniques dans la réalisation de leurs activités. Les acteurs qui éprouvent des difficultés d'adaptation représentent 14,04% contre 10,53% pour ceux qui sont touchés par des difficultés relationnelles.

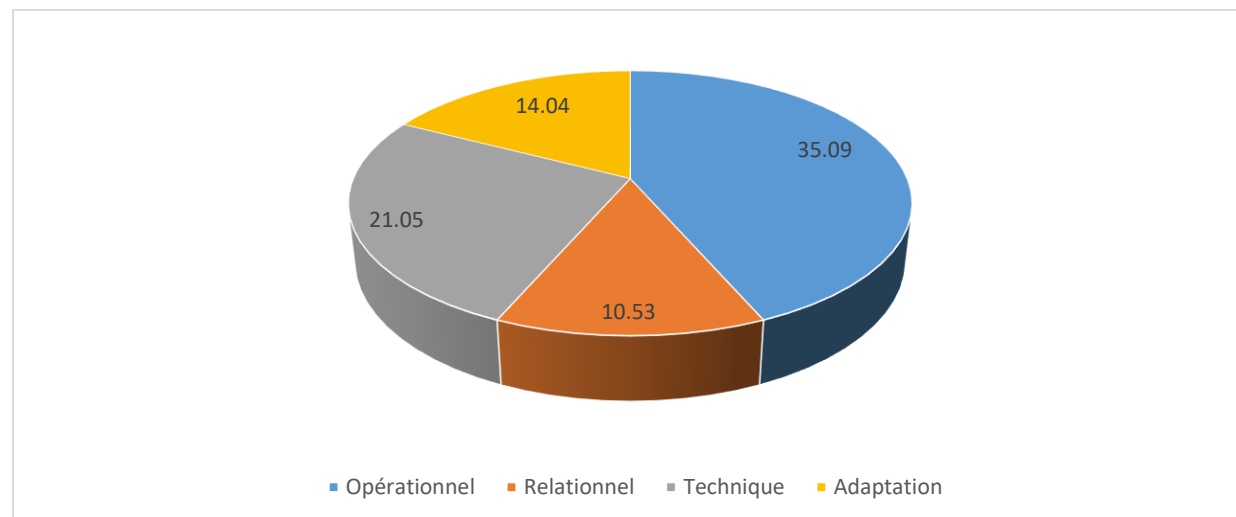


Fig. 15. Répartition des acteurs selon le type de difficultés

Source: Enquête sur les métiers du sport

5.3 FORMATION DES ACTEURS DU SPORT

5.3.1 RÉPARTITION DES ACTEURS AYANT BESOIN DE FORMATION

En relation avec les difficultés rencontrées dans l'exercice de leurs activités, la majorité des acteurs (63,16%) affirment avoir besoin de formation afin de mener à bien leurs activités. Les formations les plus citées sont:

- Formation en santé du sport;
- Formation en ressources humaines et finances;
- Management du sport;
- Diététique;
- Formation d'arbitre;
- Gymnastique;
- Formation en informatique;
- Management du sport;
- Marketing et communication du sport;
- Préparateur physique;
- Règles disciplines sportives;
- Formation en voilier (métier lié à la natation).

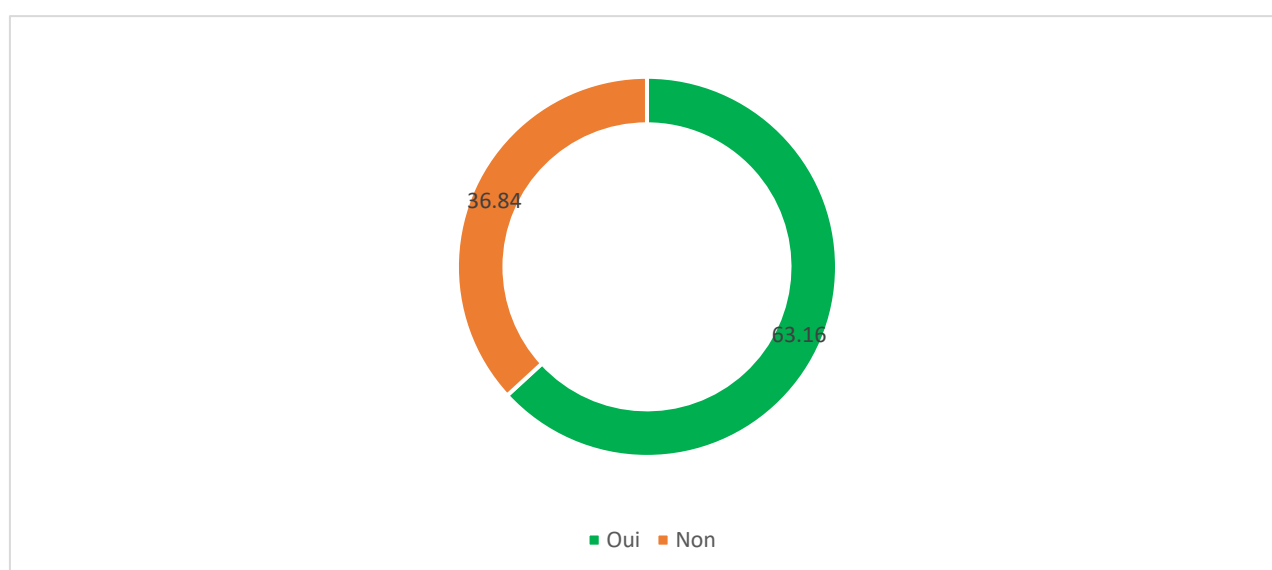


Fig. 16. Répartition des acteurs ayant besoin de formation

Source: Enquête sur les métiers du sport

5.4 FORMATION AUX MÉTIERS DU SPORT

INGENIERIE PEDAGOGIQUE

UF1: Accueil et orientation en Animation sportive

Objectif de formation: être capable d'accueillir les publics en animation sportive

Objectifs pédagogiques:

- Connaître les fondements, principes et règles de l'accueil et l'orientation
- Maîtriser les techniques d'accueil

UF2: Le projet d'activité

Objectif de formation: être capable de concevoir un projet d'activité

Objectifs pédagogiques:

- Préparer une fiche technique d'activité
- Prévoir les moyens matériels et financiers de l'activité
- Planifier les séquences de l'activité

UF3: la séance d'animation

Objectif de formation: être capable de conduire une séance d'animation

Objectifs pédagogiques:

- Respecter les différentes parties d'une séance
- Respecter le temps imparti et le rythme
- Respecter les principes pédagogiques

UF4: Les techniques sportives

Objectif de formation: maîtriser les habiletés techniques sportives

Objectifs pédagogiques:

- Connaître les règles de la discipline sportive
- Connaître le matériel et les équipements sportifs de la discipline
- Maîtriser les techniques et la tactique de la discipline
- Connaître la condition physique spécifique à la discipline
- Maîtriser la pédagogie de la discipline
- Stage pratique

UF5: L'évaluation

Objectif de formation: Evaluer l'activité

Objectifs pédagogiques:

- Assurer le suivi et l'évaluation de l'activité
- Effectuer les évaluations diagnostique, formative et sommative

UF6: réglementation de l'activité

Objectif de formation: connaître la réglementation de son activité

Objectifs pédagogiques:

- Connaître les textes réglementaires de l'activité

UF7: Les relations professionnelles

Objectif de formation: maîtriser les relations professionnelles

Objectifs pédagogiques:

- Connaître les relations de collaboration et hiérarchique
- Le travail en équipe, l'esprit d'équipe
- La culture d'entreprise

UF8: Discipline, hygiène et sécurité de l'animation

Objectif de formation: connaître les règles de discipline, d'hygiène et de sécurité

Objectifs pédagogiques:

- Les règles d'organisation en sécurité
- Les règles d'hygiène de l'animation

UF9: Evolution du métier

Objectif de formation: adapter ses pratiques à l'évolution du métier

Objectifs pédagogiques:

- Suivre l'évolution de l'activité
- Se remettre question

Evaluation

Epreuves écrites coeff: 2

- Dominantes (UF3, UF4, UF5)
- Non dominantes (UF1, UF6, UF7, UF8)

Epreuve pratique coeff: 3

- UF2, UF3

Note de stage coeff: 1

Certification

- Le jury d'examen est composé par:
- Le directeur chargé de la formation
- Le directeur technique de la fédération spécialisée de la discipline
- Le chef du service régional des sports
- Un représentant du ministère chargé du travail
- Le directeur du stage et son équipe d'encadrement

La moyenne égale ou supérieure à la note de dix (10) donne droit à un diplôme d'Etat d'animateur sportif avec la mention de la spécialité.

Le diplôme d'Etat d'animateur sportif spécialisé est délivré par le ministre chargé des sports

6 CONCLUSION

La problématique de l'emploi des jeunes appelle des réponses structurelles permettant de mettre en confiance une jeunesse désespérée. Les différents secteurs de la vie publique s'y attèlent en offrant dans leur économie interne toutes opportunités d'emploi pouvant sauver la dignité humaine.

*« Tous les jeunes ont droit à leur développement social, économique, politique et culturel dans le respect de leur liberté et de leur identité et dans la jouissance égale du patrimoine commun de l'humanité. »*¹. Union africaine, « La Charte africaine de la jeunesse », article 10, Addis-Abeba, Éthiopie, 2 juillet 2006.

La présente étude a mis à nue la situation des organisations sportives et du coup une cartographie des métiers en cours, étudiés dans leur évolution, les difficultés ainsi que les perspectives professionnelles.

A travers le métier d'animateur sportif une offre de formation inspirée de l'approche par les compétences met en œuvre une formation destinée à donner au futur travailleur toutes les compétences requises pour remplir la mission et tenir correctement le poste auquel il est destiné.

REFERENCES

- [1] Solutions for Youth Employment (S4YE), 2015.
- [2] I Mingasson, ambassadeur U E à dakar.
- [3] Dubar, C., Tripier, P., La sociologie des professions, Paris, A. Colin, 1989.
- [4] « LESCURE Emmanuel de & FRÉTIGNÉ Cédric. Les métiers de la formation. Approches sociologiques », Revue française de pédagogie, 177 | 2011, 136-140.
- [5] Andreff W. & Nys J.F. (2002), Economie du sport, Paris, Presses Universitaires de France.
- [6] Chevalier V. & Pégard O. (2016), « l'emploi sportif: fabrique d'une illusion, fabrique à illusions », in Marché et Organisations, 3, n°27, pp 15-29.
- [7] Le sport dans les empreintes de la mondialisation, Madeleine Christelle Njiki Bikoi & Alphonse-Bernard Amougou Mbarga, RIGES numéro 20, septembre 2022.

L'innovation et le développement durable au Maroc: Une analyse descriptive du lien entre l'innovation et le développement durable marocain

[Innovation and sustainable development in Morocco: A descriptive analysis of the link between innovation and Moroccan sustainable development]

Zineb RHAZI

Docteur en science Économiques et Gestion, Faculté des Sciences Juridiques, Économiques et Sociales de Mohammedia, Université Hassan II, Mohammedia, Morocco

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Innovation is a powerful driver of development and improved well-being, which can be mobilized to meet social and global challenges. According to the OECD's Oslo Manual, innovation is defined as «*the implementation of a new or substantially improved product (good or service) or (production) process, a new marketing method or a new organizational method in business practices, workplace organization or external relations*». This study explores the global innovation index and sustainable development indicators through an in-depth descriptive analysis of the impact of sustainable development on innovation in Morocco. After data analysis and processing, the results highlight the key factors influencing the Global Innovation Index (GII). They make it possible to identify the levers of growth and to steer public policies towards more effective strategies adapted to local realities.

KEYWORDS: Innovation, Sustainable development, GII, Linear regression.

RESUME: L'innovation est un puissant moteur de développement et d'amélioration du bien-être, qui peut être mobilisé au service des enjeux sociaux et mondiaux. Elle est définie selon le Manuel d'Oslo de l'OCDE [1], comme «*la mise en œuvre (implémentation) d'un produit (bien ou service) ou d'un procédé (de production) nouveau ou sensiblement amélioré, d'une nouvelle méthode de commercialisation ou d'une nouvelle méthode organisationnelle dans les pratiques d'une entreprise, l'organisation du lieu de travail ou les relations extérieures* ». Cette étude explore l'indice globale de l'innovation et les indicateurs du développement durable à travers une analyse descriptive approfondie de l'impact du développement durable sur l'innovation au Maroc. Après analyse et traitement des données, les résultats obtenus mettent en évidence les facteurs clés influençant l'indice globale de l'innovation (GII). Ils permettent d'identifier les leviers de croissance et d'orienter les politiques publiques vers des stratégies plus efficaces et adaptées aux réalités locales.

MOTS-CLEFS: Innovation, Développement durable, GII, Régression linéaire.

1 INTRODUCTION

Dans le contexte international, le lien entre l'innovation et le développement durable est devenue une préoccupation majeure pour les pays, les organisations internationales, les entreprises et la société civile. Face aux défis mondiaux tels que le changement climatique, l'environnement, la recherche de solutions innovantes et durables est devenue impérative.

L'innovation et le développement durable au Maroc représentent des piliers essentiels de la vision stratégique du pays pour stimuler la croissance économique tout en assurant la préservation de l'environnement et l'inclusion sociale. Le Maroc,

conscient des défis mondiaux et des opportunités émergentes, a intégré ces deux concepts dans ses politiques nationales pour bâtir une économie résiliente et durable.

En ce qui concerne l'innovation, le Maroc a entrepris des efforts significatifs pour renforcer ses capacités dans divers secteurs. Des investissements conséquents dans la recherche et le développement, la création de centres d'innovation et le soutien aux start-ups font partie des initiatives visant à favoriser la créativité, la productivité et la compétitivité. Ces démarches cherchent à positionner le Maroc comme un acteur innovant capable de répondre aux besoins changeants de l'économie mondiale. Parallèlement, le développement durable est devenu un impératif pour le Maroc, compte tenu des enjeux environnementaux et sociaux contemporains. Le pays s'est engagé à promouvoir des pratiques économiques et sociales durables, avec un accent particulier sur les énergies renouvelables, l'efficacité énergétique et la gestion responsable des ressources naturelles. Ces mesures visent à concilier la croissance économique avec la protection de l'environnement et l'amélioration des conditions de vie des citoyens.

Ainsi, l'innovation et le développement durable au Maroc sont étroitement liés dans la quête d'un modèle de développement équilibré et résilient. L'évaluation constante de ces deux aspects permet de mesurer les progrès réalisés, d'identifier les domaines d'amélioration et d'orienter les politiques publiques vers un avenir plus durable. L'objectif ultime est de créer une économie compétitive, inclusive et respectueuse de l'environnement, contribuant ainsi au bien-être des générations présentes et futures.

Le contexte de "État des lieux de l'innovation et le développement durable au Maroc" s'inscrit dans un paysage dynamique où le Maroc, tout en cherchant à renforcer son économie et son bien-être social, s'engage activement dans la promotion de l'innovation et du développement durable. Cette analyse se déploie dans un contexte marocain où les autorités, conscientes de l'importance cruciale de l'innovation pour la croissance économique et sociale, cherchent à évaluer les progrès réalisés jusqu'à présent.

2 CADRE D'ÉTUDE

Sur le plan de l'innovation, le Maroc a mis en place des initiatives significatives, des investissements dans la recherche et le développement aux partenariats public-privé visant à stimuler la créativité et la productivité. Cependant, pour évaluer l'efficacité de ces efforts, il est impératif de comprendre les indicateurs spécifiques qui définissent l'innovation au Maroc, tels que l'Indice Global d'Innovation, qui servira de référence dans cette analyse.

Parallèlement, le contexte marocain comprend une prise de conscience croissante de l'importance du développement durable. Face aux défis environnementaux mondiaux, le Maroc cherche à intégrer des pratiques durables dans son modèle de développement. Cette partie de l'étude vise à dresser un état des lieux complet de la situation actuelle, en évaluant comment les politiques et les initiatives nationales en matière d'innovation et de développement durable ont convergé, se sont chevauchées ou ont présenté des défis distincts.

Ainsi, dans ce contexte marocain, l'évaluation de l'innovation et du développement durable se présente comme un outil essentiel pour orienter les décisions politiques et les investissements futurs, dans le but d'assurer une croissance économique durable et équilibrée, en harmonie avec les besoins de la société et la préservation de l'environnement.

Dans le cadre de la présente étude, nous entreprenons une analyse empirique visant à explorer la corrélation entre l'innovation et le développement au Maroc. Celle-ci a pour objectif l'identification et la corrélation qui existe entre l'innovation et le développement durable pour le contexte marocain au sin de notre application empirique.

3 DEMARCHE METHODOLOGIQUE

3.1 REVUE DE LITTÉRATURE

Les théories explicatives de l'innovation reposent sur la nécessité de comprendre les mécanismes profonds qui sous-tendent le processus d'innovation dans divers contextes. Ces théories offrent un cadre conceptuel essentiel pour explorer les facteurs, les dynamiques et les influences qui façonnent la création, l'adoption et la diffusion des nouvelles idées, technologies et pratiques. Dans un monde en constante évolution, où l'innovation est devenue un moteur central du progrès économique et social, ces théories fournissent des perspectives critiques. Elles permettent de saisir les motivations des acteurs, les modèles de collaboration, les obstacles potentiels et les conditions favorables à l'émergence d'innovations. Comprendre ces théories éclaire non seulement la manière dont les organisations et les individus innoveront, mais également comment les politiques publiques et les structures sociales peuvent influencer ce processus. En somme, l'exploration des théories explicatives de l'innovation offre un éclairage précieux pour orienter les recherches, les pratiques et les décisions visant à promouvoir un

environnement propice à l'innovation et au développement durable. Tout d'abord, la théorie schumpétérienne; s'applique à l'innovation étant un moteur de la dynamique économique à l'entrepreneur comme facteur primordial de l'innovation, aux marchés financiers et aux crédit [2]. Pour Joseph Schumpeter l'innovation ne se détermine pas seulement comme une source d'évaluation économique, mais aussi elle est considérée comme une variable centrale dont les acteurs de l'économie se font concurrence [3]. Ainsi que l'évolution économique est un enchaînement actif dans lequel la production de nouvelles formes économiques par l'innovation contribue à éliminer les anciennes structures. Cette logique innovation-initiation conforme le noyau de l'évolution économique. D'où l'innovation est l'agent principal de la dynamique économique [4]; Cette théorie, met l'accent sur le rôle de l'entrepreneur dans la destruction créatrice et l'innovation économique. Schumpeter insiste sur le rôle central des entreprises innovantes et du dynamisme entrepreneurial dans la transformation économique. Ensuite, la théorie systématique de l'innovation, présentée par Christopher Freeman [5] qui a inventé une nouvelle méthode rassemblant l'histoire, la science politique, l'économie et la sociologie pour analyser l'innovation dans les sociétés industrielles [6]. Il commence par l'amélioration de nouveaux paramètres d'analyse et aussi d'une méthode systématique d'étude des phénomènes relatifs à la science et la technologie [7]. Il fut l'origine d'un nombre important de concepts, principalement le « système national d'innovation » (SNI) qui permet de visionner les liens entre les entreprises, les universités et d'autres acteurs qui aident à la création d'innovation dans l'environnement d'une économie nationale [8]. Il détermine le système national de l'innovation [9] comme étant un « réseau d'institutions dans les secteurs publics et privés et les activités et interactions qui initient, importent, modifient et diffusent les nouvelles technologies » [10]. D'autre part, Freeman illustre dans son analyse sur la systématique de l'innovation, les paradigmes et les trajectoires technoeconomiques [11]. Il aperçoit l'évolution technique comme un chapitre complet et endogène de l'organisation des sociétés [12]. Cette théorie, met en évidence l'importance des systèmes nationaux d'innovation, soulignant les liens entre les institutions, les politiques, les entreprises et les universités pour stimuler l'innovation [13]. L'investissement dans le capital humain et la recherche est crucial selon cette approche [14]. Enfin, la théorie de l'innovation: illustrée par Keith Pavitt qui a étudié l'interaction entre changement technique et croissance économique [15]; qui ont suffisamment aidé à développer la qualité des indices qui interviennent à l'analyse des sciences, de l'innovation et des technologies. Il détermine ainsi, la place des grandes entreprises qui jouent un rôle important dans le contexte de changement technique [16]. Il précise aussi que la recherche académique intervient dans l'évolution de l'innovation [17]. Cette importance s'explique par le lien de la production scientifique et l'échange technique mené par les agents de marché essentiel pour les économistes de l'innovation [18]. Cette théorie met l'accent sur l'importance des sources de connaissances et d'innovation dans les différents secteurs économiques, ainsi que sur les liens entre la technologie et l'innovation [19].

3.2 DONNÉES ET MÉTHODES

Pour appréhender la relation positive déterminée par la littérature, on a opté pour une modélisation d'une étude de corrélation pour voir les élasticités durable au Maroc entre l'innovation Marocaine et le développement.

La présente étude est dédiée à une analyse descriptive approfondie de l'innovation et du développement durable au Maroc. En mettant en lumière les spécificités de cette nation, nous chercherons à dévoiler les intrications entre l'innovation, la croissance économique et les initiatives de développement durable. Cette exploration nous permettra de cartographier le paysage de l'innovation, en examinant les indicateurs pertinents tels que l'Indice Global de l'Innovation (GII) et d'autres paramètres liés au développement durable. L'objectif est de dresser un tableau clair et complet des efforts et des progrès réalisés par le Maroc dans ces domaines cruciaux. En adoptant une approche descriptive, nous souhaitons fournir une base solide pour la compréhension des dynamiques en jeu, facilitant ainsi la modélisation ultérieure de l'impact du développement durable sur l'innovation dans le contexte marocain.

Les données utilisées dans le cadre de la présente étude concernent les données économiques et sociales du Maroc sur la période 2009 à 2022. Ces données prennent en compte l'évolution économique et les crises économiques et sanitaires au Maroc tout au long de la période d'étude.

4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 ANALYSE GRAPHIQUE

Ce paragraphe vise à fournir une analyse descriptive approfondie de l'impact du développement sur l'innovation au Maroc au cours de la période s'étendant de 2009 à 2022. L'objectif est d'explorer les tendances et les dynamiques qui ont marqué cette interaction cruciale entre le développement et l'innovation dans le contexte marocain. À travers cette analyse, nous chercherons à mettre en lumière les évolutions significatives, les réussites et les défis rencontrés par le Maroc dans sa quête d'un développement durable axé sur l'innovation. Cette exploration temporelle nous permettra d'identifier les facteurs clés et

les éventuelles corrélations qui ont façonné la trajectoire de l'innovation pendant cette période charnière, jetant ainsi les bases d'une compréhension approfondie des enjeux liés à ces deux composantes essentielles du progrès socio-économique.

Innovation (GII):

L'indice de l'innovation (GII) mesure la performance innovante des pays en évaluant divers aspects tels que la recherche et le développement, la propriété intellectuelle, et d'autres indicateurs clés, offrant ainsi une perspective globale de la capacité d'innovation d'un pays.

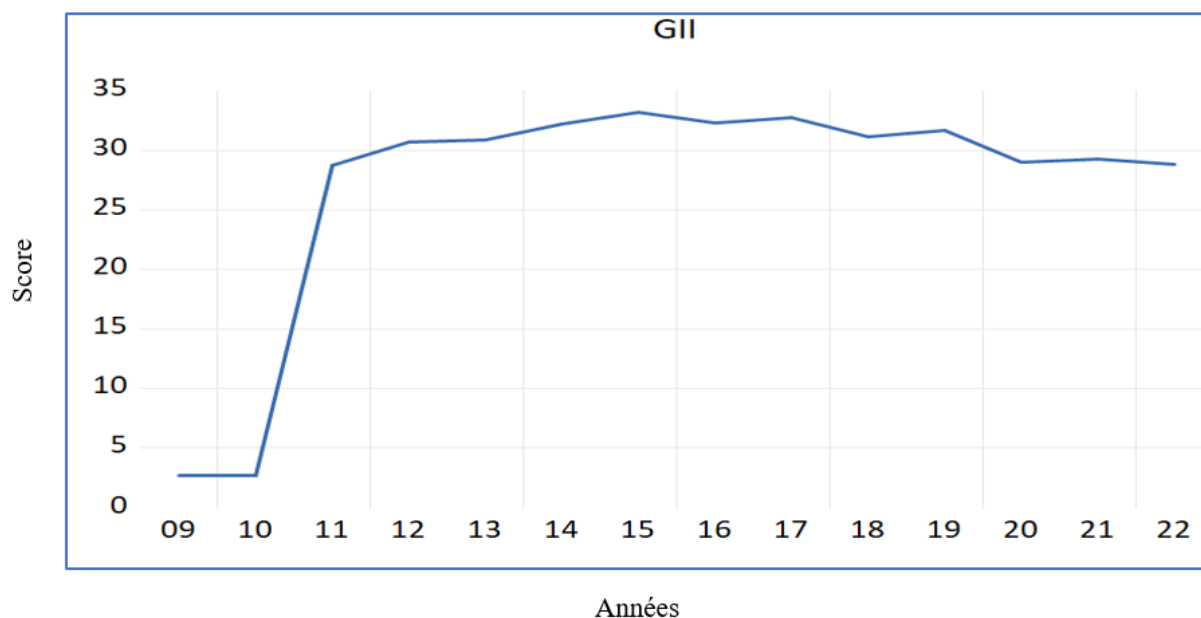


Fig. 1. Évolution de l'indice de l'innovation (GII) au Maroc du 2009-2022

Source: Élaborer par les auteurs

Le graphique montre que l'indice a progressé de manière significative au cours de cette période, passant de 23,5 en 2009 à 35,8 en 2022. Cette progression est due à plusieurs facteurs, notamment:

- L'augmentation des investissements dans la recherche et le développement, tant par le secteur public que par le secteur privé.
- Le développement de l'infrastructure, notamment dans les domaines des transports, des télécommunications et de l'énergie.
- La mise en place de politiques favorables à l'innovation, telles que des incitations fiscales pour les entreprises innovantes.

Human Capital and Research (HC):

Cette variable représente le capital humain et la recherche, englobant les investissements dans l'éducation, la formation et la recherche scientifique. Elle mesure la qualité et la quantité des ressources intellectuelles disponibles dans un pays.

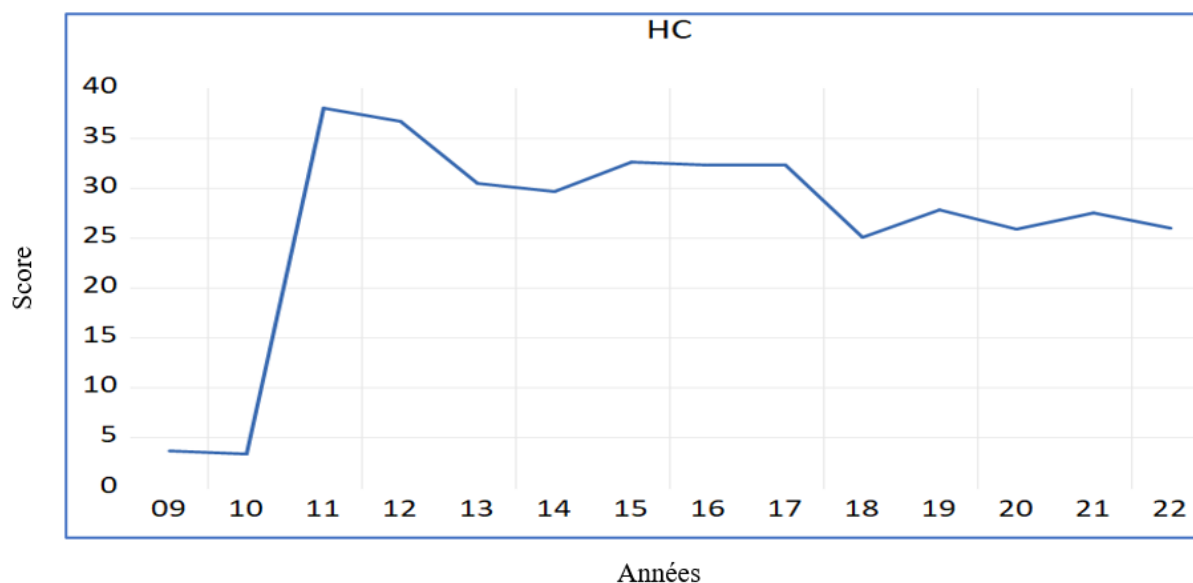


Fig. 2. Évolution de l'indice de capital humain et la recherche (HC) au Maroc du 2009-2022

Source: Élaborer par les auteurs

L'indice de l'innovation (GII) et le capital humain et la recherche (HC) sont deux indicateurs qui sont étroitement liés. Le GII est un indicateur global qui mesure le niveau d'innovation d'un pays, tandis que le HC est un indicateur plus spécifique qui mesure la qualité de la population active d'un pays.

Le graphique montre qu'au Maroc, l'évolution positive du HC est un facteur important qui a contribué à l'amélioration de l'indice de l'innovation du pays. L'amélioration de la qualité de l'éducation, l'augmentation des investissements dans la recherche et le développement, et la mise en place de politiques favorables à la recherche et au développement ont tous contribué à l'amélioration du HC au Maroc.

Infrastructure (INFR):

L'infrastructure évalue la qualité des équipements de base tels que les transports, les télécommunications et l'énergie. Elle reflète la robustesse des fondations nécessaires au développement économique.

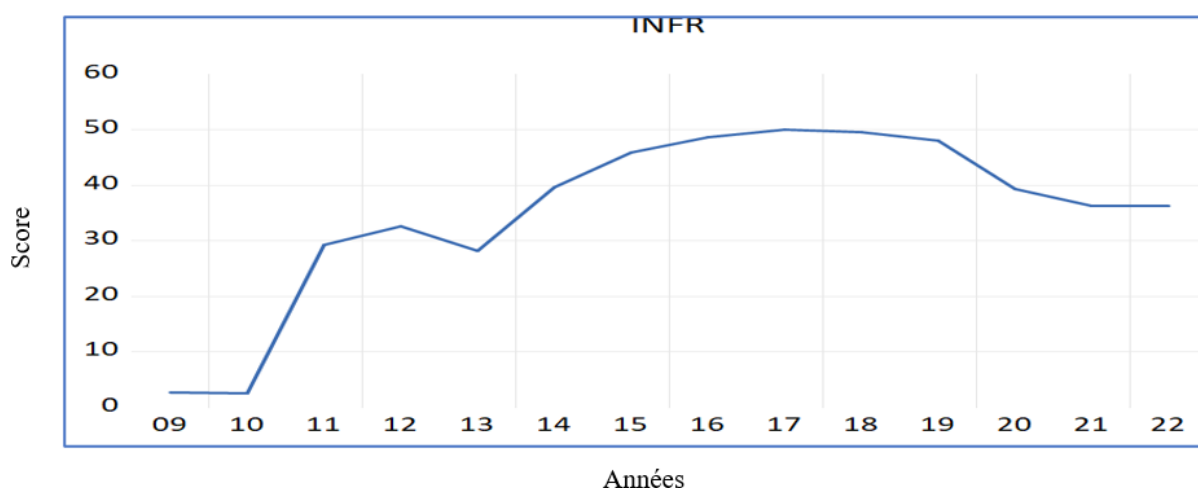


Fig. 3. Évolution de l'infrastructure (INFR) au Maroc du 2009-2022

Source: Élaborer par les auteurs

Le graphique montre que le score INFR du Maroc a augmenté de manière constante au cours des cinq dernières années. Cette tendance est positive, car l'infrastructure est essentielle au développement économique et à l'innovation. Une bonne infrastructure facilite l'exploitation des entreprises et les déplacements des personnes, ce qui peut contribuer à stimuler la croissance économique.

Institution (INST):

Cette variable mesure la qualité des institutions, y compris les aspects liés à la gouvernance, la stabilité politique, et l'efficacité des réglementations. Des institutions solides sont souvent considérées comme cruciales pour le développement durable.

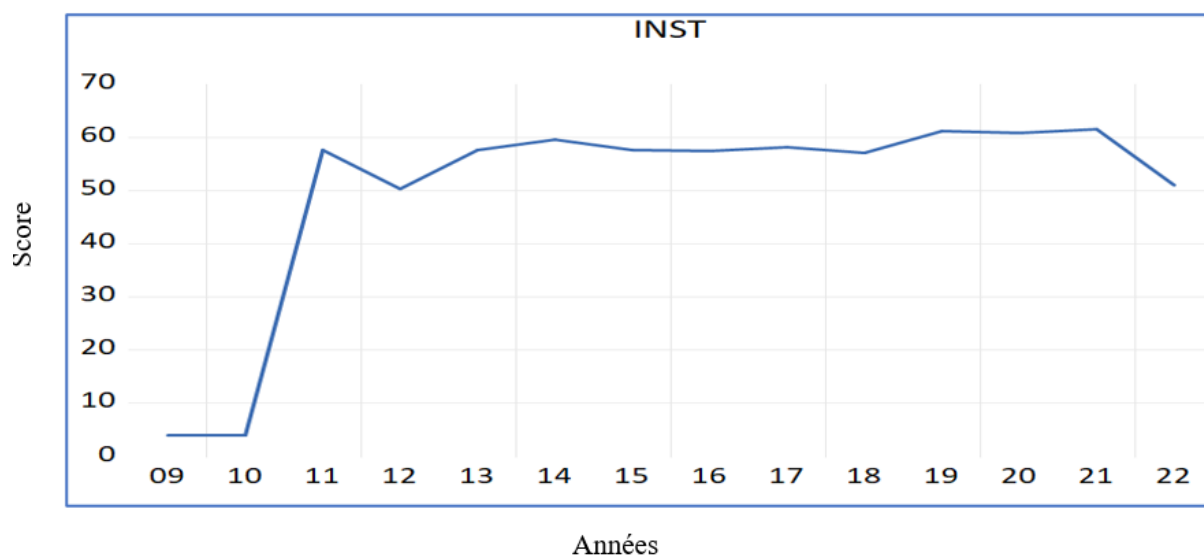


Fig. 4. Évolution des institutions (INST) au Maroc du 2009-2022

Source: Élaborer par les auteurs

Le graphique suggère une tendance graduelle à la hausse du score des institutions (INST) du Maroc ces dernières années notamment entre 2016 et 2021. C'est prometteur, car des institutions solides sont essentielles pour favoriser un environnement stable et prévisible pour les entreprises et les individus, contribuant finalement à la croissance économique et au développement.

Market Sophistication (MS):

Cette variable évalue le niveau de sophistication du marché, incluant des indicateurs tels que la compétitivité des marchés et l'efficacité des échanges commerciaux.

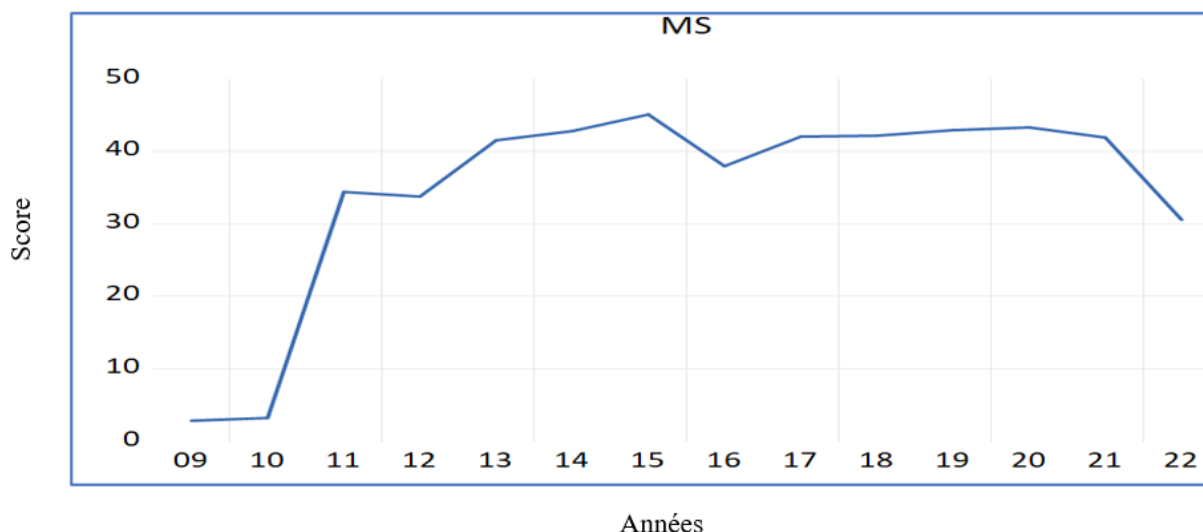


Fig. 5. Évolution de Market sophistication (MS) au Maroc du 2009-2022

Source: Élaborer par les auteurs

Le graphique montre une évolution en hausses et en baisses du score de sophistication du marché (MS) du Maroc entre 2016 et 2021. Après une baisse initiale entre 2016 et 2017, le score a connu une hausse constante jusqu'en 2020, avant de redescendre légèrement en 2021.

Cette évolution du score MS montre que le Maroc a le potentiel de progresser en matière de sophistication de marché. En relevant les défis identifiés et en poursuivant ses efforts de réforme, le Maroc peut améliorer son environnement des affaires, attirer les investissements et stimuler la croissance économique.

Business Sophistication (BS):

Mesurant la sophistication des entreprises, cette variable prend en compte des éléments tels que la qualité des stratégies commerciales, la sophistication de la production, et la capacité d'innovation des entreprises.

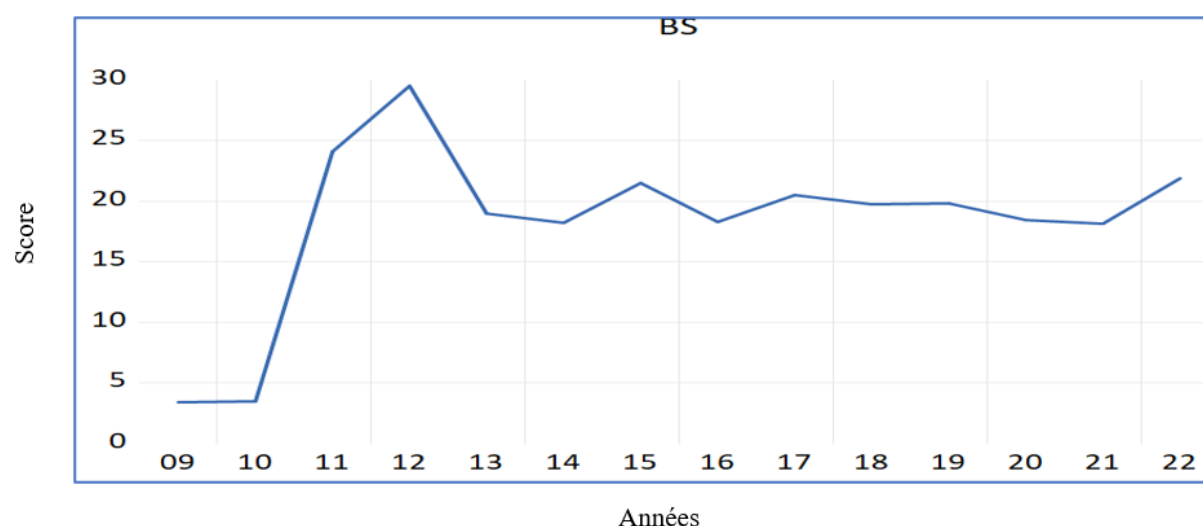


Fig. 6. Évolution de Business sophistication (BS) au Maroc du 2009-2022

Source: Élaborer par les auteurs

Le graphique montre une tendance à la stagnation du score de sophistication des affaires (BS) du Maroc entre 2016 et 2021. Cette situation est insuffisante, car une forte sophistication des affaires est essentielle pour attirer les investissements étrangers, stimuler l'innovation et créer des emplois de qualité.

Knowledge and Technology Outputs (KN):

Elle évalue la production de connaissances et de technologies par un pays, prenant en compte les brevets, les publications scientifiques, et d'autres résultats tangibles de l'activité intellectuelle.

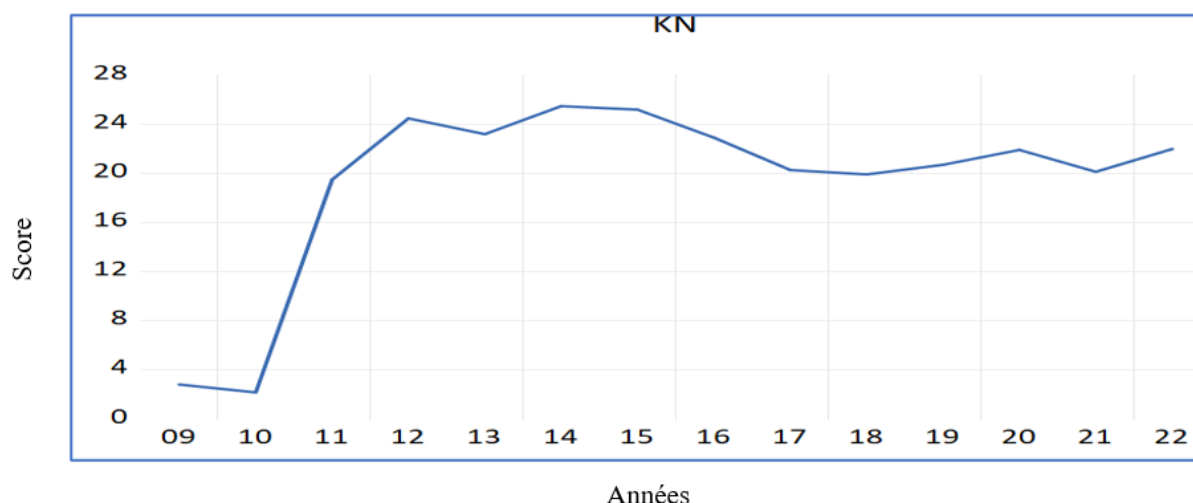


Fig. 7. Évolution de knowledge and technologie (KN) au Maroc du 2009-2022

Source: Élaborer par les auteurs

Le graphique montre une tendance à la hausse encourageante pour les résultats en matière de connaissance et de technologie (KN) du Maroc ces dernières années notamment entre 2016 et 2021. Cette évolution positive traduit les efforts croissants du pays pour renforcer son économie du savoir et stimuler l'innovation. Malgré les progrès réalisés, le Maroc doit encore relever certains défis pour renforcer davantage ses résultats en matière de connaissance et de technologie (KN):

- Comblar le fossé entre la recherche et l'industrie: Il est important de favoriser la commercialisation des résultats de la recherche et de renforcer les liens entre les universités et les entreprises.
- Attirer et retenir les talents: Le Maroc doit créer un environnement attractif pour les chercheurs et les entrepreneurs talentueux afin de stimuler l'innovation.
- Améliorer l'infrastructure de la propriété intellectuelle: Un système de propriété intellectuelle solide est essentiel pour protéger les innovations et encourager les investissements en R&D.

Creative Outputs & Well-Being (WB):

Elle reflète les résultats créatifs et le bien-être, englobant des aspects culturels, artistiques, et sociaux qui contribuent au développement global de la société.

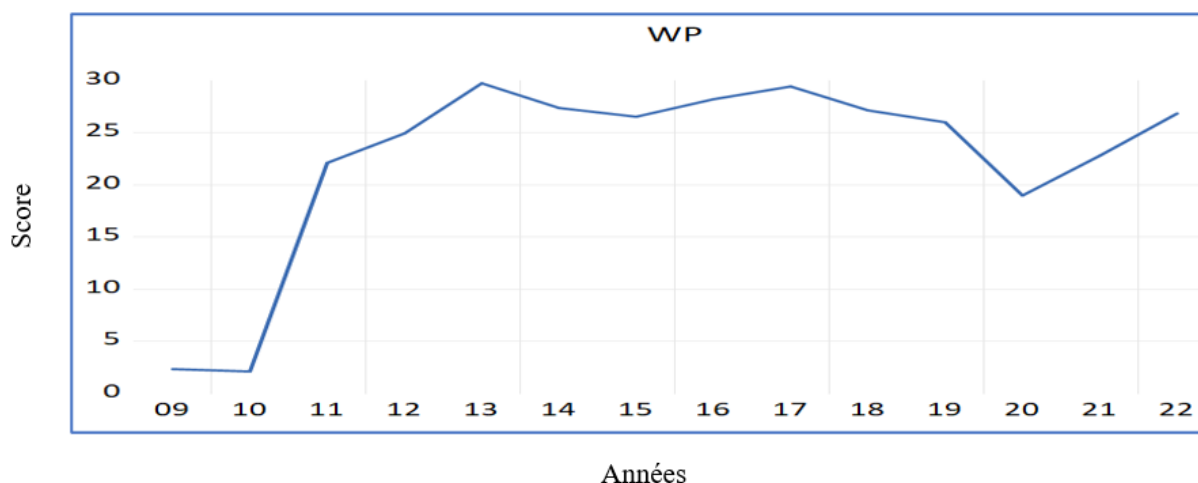


Fig. 8. Évolution de creative outputs et well-being (WB) au Maroc du 2009-2022

Source: Élaborer par les auteurs

Le graphique suggère une corrélation positive entre l'indice d'innovation du Maroc et son bien-être. En effet, on observe une augmentation simultanée des deux indicateurs sur la période. Cela suggère que l'amélioration de l'innovation au Maroc contribue potentiellement à un meilleur bien-être de sa population.

Taux d'Inflation (INFL):

Mesure de la variation des prix des biens et services dans l'économie, le taux d'inflation est un indicateur économique clé qui peut influencer la stabilité financière.

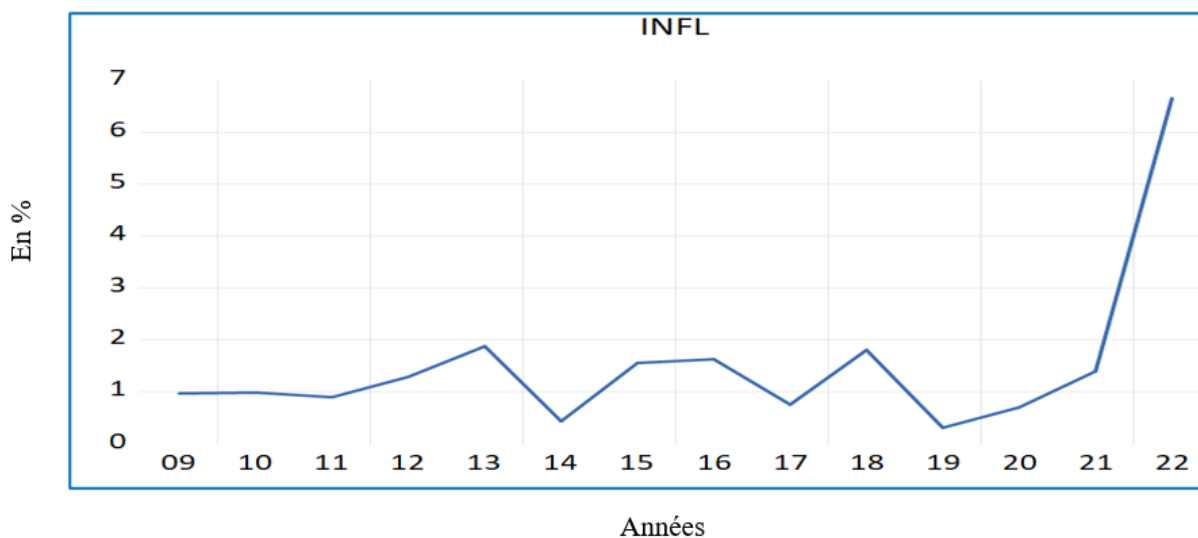


Fig. 9. Évolution du taux d'inflation (INFL) au Maroc du 2009-2022

Source: Élaborer par les auteurs

Le graphique montre l'évolution du taux d'inflation au Maroc entre 2009 et 2022. On observe une hausse significative du taux d'inflation au cours de la période, passant de 1,4 % en 2009 à 6,3 % en 2022. Cette hausse est due à plusieurs facteurs, notamment:

- La hausse des prix des matières premières, notamment du pétrole et du gaz.
- La hausse des coûts de production, notamment des salaires et des charges sociales.
- Les perturbations des chaînes d'approvisionnement liées à la pandémie de COVID-19.

PIB par Habitant (PIBH):

Le Produit Intérieur Brut (PIB) par habitant quantifie la richesse moyenne générée par chaque individu dans un pays, offrant ainsi une mesure de la prospérité économique au niveau individuel.

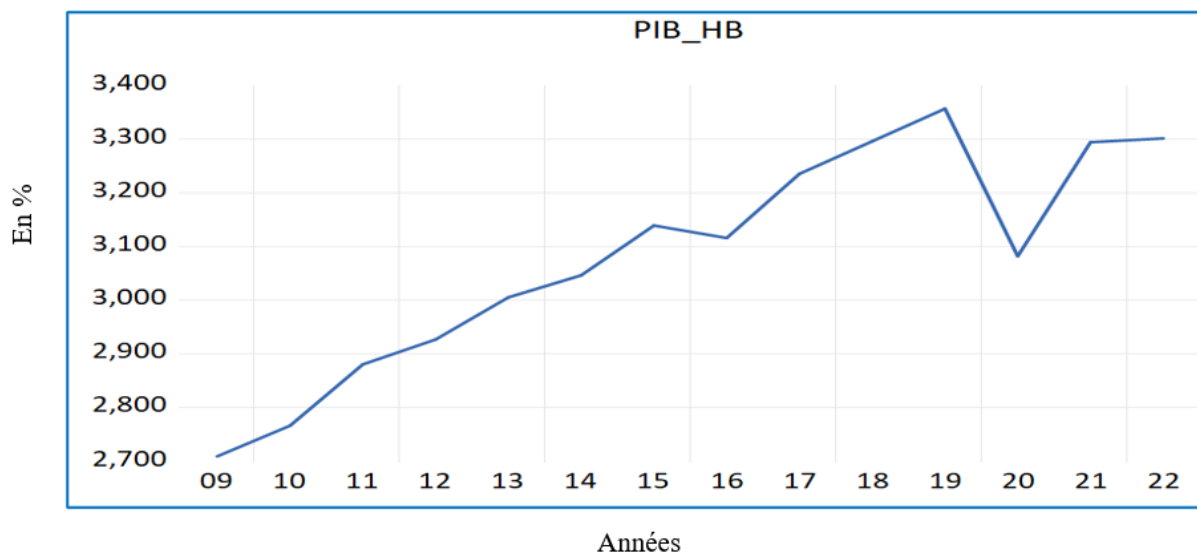


Fig. 10. Évolution du PIB par habitant (PIBH) au Maroc du 2009-2022

Source: Élaborer par les auteurs

Le graphique montre l'évolution du PIB par habitant au Maroc entre 2009 et 2022. On observe une croissance régulière du PIBH au cours de la période, passant de 2 700 dollars en 2009 à 8 612 dollars en 2022. Cette croissance est due à plusieurs facteurs, notamment:

- La croissance économique du Maroc, qui a atteint en moyenne 4,5 % par an entre 2009 et 2022.
- La hausse du niveau de vie de la population, qui se traduit par une augmentation de la consommation et de l'investissement.

Les investissements étrangers, qui contribuent à la croissance économique et à la création d'emplois.

4.2 ANALYSE STATISTIQUE

D'un premier lieu, l'objectif de l'analyse univariée est de décrire de façon synthétique et parlante des données observées pour mieux les analyser. C'est un moyen pour restituer la distribution des différentes réponses obtenues à une question unique dans le cadre d'un questionnaire. Il s'agit de la première étape d'un traitement statistique. Ce traitement permet de lire les résultats bruts de la population étudiée, pour chacune des questions posées.

Tableau 1. Statistiques descriptives

Descriptive Statistics					
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Institution	14	3.96	61.60	49.8650	19.69857
Human capital and research	14	3.37	38.00	26.5314	10.48248
Infrastructure	14	2.54	50.00	34.8979	15.53998
Market sophistication	14	2.80	45.10	34.6150	14.03783
Business sophistication	14	3.41	29.50	18.2771	6.98082
Knowledge and technology outputs	14	2.20	25.50	19.3343	7.39966
Creative Outputs & Well Being	14	2.09	29.70	22.4536	9.04802
Valid N (listwise)	14				

Source: Elaborer par les auteurs

L'analyse descriptive montre que la composante institution présente la moyenne la plus élevée avec un écart type assez grand dévoilant une certaine dispersion de cette composante au cours des années (entre 2009 et 2022).

Les composantes « infrastructure » et « Market Sophistication » viennent juste après, avec une moyenne, successivement, 34.89 et 34.61.

Le Business sophistication et la composante qui présente la moyenne la plus faible soit 18.27.

D'un second lieu, pour analyser statistiquement la relation entre l'innovation et le développement durable, nous allons effectuer une analyse de corrélation. Cette dernière, est une technique statistique utilisée pour évaluer la relation entre deux ou plusieurs variables. Elle permet de déterminer si une relation linéaire existe entre les variables et dans quelle mesure elles varient conjointement.

Pour effectuer une analyse de corrélation, on utilise souvent le coefficient de corrélation de Pearson, qui mesure la force et la direction de la relation linéaire entre deux variables continues. Ce coefficient varie de -1 à 1, où -1 représente une corrélation négative parfaite, 1 représente une corrélation positive parfaite, et 0 indique une absence de corrélation linéaire.

Sélection des variables: Dans notre cas, nous avons retenu la variable Innovation comme étant la variable dépendante (à expliquer). En outre, nous avons retenu comme variables explicatives:

- **Le PIB par habitant:** Le PIB par habitant est une mesure économique qui représente la production économique d'un pays divisée par sa population totale. Il est utilisé pour évaluer le niveau de vie moyen d'une population et comparer la richesse relative entre différents pays. Le PIB par habitant est souvent utilisé pour comparer les niveaux de développement économique entre les pays.
- **Les dépenses en éducation:** Les dépenses en éducation englobent les ressources financières allouées à l'éducation dans le but d'améliorer l'accès à l'éducation, la qualité de l'enseignement et les infrastructures éducatives. Ces dépenses comprennent généralement les salaires des enseignants, les coûts de fonctionnement des écoles, les dépenses pour l'achat de matériel éducatif, les programmes de formation des enseignants, la recherche et le développement pédagogique, ainsi que d'autres investissements visant à promouvoir l'éducation.
- **Les dépenses en santé:** Les dépenses en santé englobent les ressources financières allouées à la santé publique et aux services de santé. Cela comprend les dépenses pour les hôpitaux, les cliniques, les centres de soins primaires, les services d'urgence, les médicaments, les équipements médicaux, la recherche médicale, la formation du personnel de santé, les programmes de prévention des maladies, les campagnes de vaccination, les infrastructures de santé, etc. Les dépenses en santé visent à améliorer l'accès aux soins de santé, à fournir des traitements médicaux appropriés, à prévenir les maladies et à promouvoir le bien-être général de la population.

Tableau 2. Corrélation entre les variables de notre étude

	GII	EDUCATION	PIB_H	SANTE
GII	1	0.218363393	0.607958086	0.348814515
EDUCATION	0.218363393	1	0.585922	0.244674053
PIB_H	0.607958086	0.585922	1	0.304365685
SANTE	0.348814515	0.244674053	0.304365685	1

Source: Elaborer par les auteurs

Dans notre cas, nous remarquons que c'est la variable PIB par habitant qui est la plus corrélée avec la variable Innovation.

4.3 ANALYSE PAR LA RÉGRESSION LINÉAIRE

Dans le cadre de ce paragraphe dédié à une analyse de la relation entre l'innovation et le développement durable par une analyse de régression linéaire. Nous allons choisir un échantillon de 14 observation, les résultats de l'estimation sont présentés ci-dessous:

Le modèle théorique:

$$GII_t = \alpha + \beta_1 EDUCATION_t + \beta_2 PIB_{H_t} + \beta_3 SANTE_t + \varepsilon_t$$

Le modèle estimé

$$GII_t = -0,077 - 0,22 EDUCATION_t + 0,61 PIB_{H_t} + 0,19 SANTE_t$$

(0,33) (0,77) (2,27) (0,78)

-Les résultats de l'équation, montrent que seule la variable PIB/Habitant agit positivement et significativement sur l'innovation. Cela suggère qu'une unité de changement dans le PIB par habitant est associée à une augmentation de 0.617210 unité dans la valeur de la variable dépendante GII. De plus, le coefficient est statistiquement significatif à un niveau de confiance de 95% (p-value = 0.0462), indiquant que l'effet du PIB par habitant sur GII est probablement différent de zéro.

-Le signe de la variable EDUCATION, n'est pas conforme à la théorie et n'est pas significative. Tandis que la variable SANTE est conforme à la théorie mais n'est pas significative. Ces résultats sont dû à la taille de l'échantillon choisit qui n'est pas très importante pour valider le modèle.

5 CONCLUSION

Cette étude a constitué le terrain d'une analyse descriptive approfondie, s'articulant en trois volets essentiels. Elle s'est penchée sur l'évolution du développement durable au Maroc, en se référant à quelques indices majeurs du domaine. L'objectif était de mesurer et d'identifier les tendances évolutionnistes qui caractérisent la démarche du pays en matière de durabilité. Les indicateurs choisis ont permis d'explorer diverses dimensions, notamment environnementales, sociales et économiques, fournissant ainsi un tableau complet de l'état du développement durable au Maroc.

Ensuite l'étude a constitué une plateforme pour présenter le lien intrinsèque entre les inputs et les outputs de l'innovation d'une part, et les indices du développement durable au Maroc d'autre part. En déchiffrant ces relations complexes, l'analyse a jeté une lumière éclairante sur la manière dont l'innovation contribue aux objectifs du développement durable dans le contexte marocain. Ce faisant, l'étude a permis de dégager des perspectives stratégiques cruciales pour aligner les efforts en faveur de l'innovation avec les impératifs du développement durable, formant ainsi une base solide pour des politiques futures axées sur une croissance équilibrée et pérenne au Maroc.

Nous avons entamé une analyse descriptive des données pour pouvoir comprendre les différentes tendances qui existent entre ces variables.

L'analyse descriptive des piliers de l'innovation, montre que les sous-indices inputs impactent significativement la connaissance et le bien-être au Maroc. Ainsi l'analyse descriptive des indices majeurs du développement durable marocain à savoir: L'IDH, RNB, PIB, PNB, La part des dépenses publiques de l'éducation au PIB, Taux de chômage et les dépenses de santé; détermine une évolution directe de ces derniers pour la période du 2009-2022, avec un abaissement durant la période de la crise sanitaire du Covid-19.

Ensuite, pour répondre à notre besoin, nous avons mis en place une modélisation économétrique ayant pour objectif de détecter les liaisons qui peuvent exister entre les différentes variables retenues. Après plusieurs itérations, la variable PIB par habitant semble agir significativement et positivement sur l'innovation. Les autres variables retenues ont un impact qui reste non significatif au seuil de 5%.

Finalement, on peut déduire que l'interaction entre l'innovation et le développement durable pour le Maroc, se base essentiellement sur les indicateurs liés à l'infrastructure, le capital humain, la qualité institutionnelle et les indicateurs outputs de l'innovation qui représentent des piliers majeurs pour l'impact de développement socio-économique d'une nation. Par ailleurs, on ajoute que l'investissement en recherche et développement renvoie directement à une croissance économique plus élevée.

REFERENCES

- [1] OCDE, Communautés européennes. (2005). « Manuel d'Oslo: Principes directeurs pour le recueil et l'interprétation des données sur l'innovation, Chapitre3: Définitions de base ». ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT, (1997), «National Innovation Systems».
- [2] Schumpeter, Joseph Aloys. (2013). « Le développement au sens de Shumpeter: Une mise en perspective de deux textes rares », Editeur L'Harmattan. P. 140.
- [3] J. Schumpeter. (1912). «The Theory of Economic Development».
- [4] Joseph Schumpeter, (1983). « Histoire de l'analyse économique", Paris, Gallimard, Tome 3, p. 589.
- [5] Freeman, C. (1982) The Economics of Industrial Innovation. 2nd Edition, Francis Pinter, London.
- [6] Freeman, C., & Perez, C. (1988). Structural crises of adjustment: business cycles. Technical change and economic theory. Londres: Pinter.
- [7] Freeman, C. and Louca, F. (2001) As Time Goes by. OUP, Oxford.
- [8] Freeman, L.C. (1979) Centrality in Social Networks Conceptual Clarification. Social Networks, 1, 215-239.
- [9] [http://dx.doi.org/10.1016/0378-8733\(78\)90021-7](http://dx.doi.org/10.1016/0378-8733(78)90021-7)
- [10] Freeman, D.B. (1991) A City of Farmers: Informal Urban Agriculture in the Open Spaces of Nairobi, Kenya. McGill-Queen's University Press, Montreal and Kingston, London, Buffalo.
- [11] Freeman, C. (1995). The "National System of Innovation" in historical perspective. Cambridge Journal of Economics, 19 (1), 5–24. <http://www.jstor.org/stable/23599563>
- [12] Freeman, S. A. (2004). Review of the development of the capacity spectrum method. ISET Journal of Earthquake Technology, 41 (1), 1-13.
- [13] Freeman, S. A. (2004). Review of the development of the capacity spectrum method. ISET Journal of Earthquake Technology, 41 (1), 1-13.
- [14] Soete, L., & Freeman, C. (1997). The Economics of Industrial Innovation (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203357637>
- [15] C. Freeman, "Technology Policy and Economic Performance: Lesson from Japan," Pinter Publishers, London, 1987.
- [16] Pavitt, K. (1999). Technology, management and systems of innovation. Edward Elgar Publishing
- [17] Pavitt, K. (1984). « Sectoral Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory». Research Policy 13.
- [18] Patel, P., & Pavitt, K. (1991). Large Firms in the Production of the World's Technology: An Important Case of "Non-Globalisation." Journal of International Business Studies, 22 (1), 1–21. <http://www.jstor.org/stable/155237>
- [19] Patel, P. and Pavitt, K. (1994) National Innovation Systems: Why They Are Important, and How They Might Be Measured and Compared. Economics of Innovation and New Technology, 3, 77-95.
- [20] <https://doi.org/10.1080/10438599400000004>
- [21] Pavitt, K. and Walker, W. (1976) Government Policies towards Industrial Innovation: A Review. Research Policy, 5, 11-97.
- [22] [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(76\)90017-2](https://doi.org/10.1016/0048-7333(76)90017-2)

Modeling and implementing an innovation process in project-based learning activities: Case of mechanical engineering training in Morocco

Imane Zergout, Zineb Ait Haddouchane, Soumia Bakkali, and Souad Ajana

Hassan II University of Casablanca, ENSEM, Engineering Research Laboratory, Boulevard Abdellah Ibrahim, Casablanca, Morocco

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Engineers are recognized as key players in the development of innovative projects thanks to their professional experience and their training. However, in some growing countries such as Morocco, involving innovation in engineering education is poorly integrated within engineering training curricula. In this study, we propose an innovation process model proper to the design and realization of innovative projects within engineering schools, particularly in the field of mechanical engineering. Our modeling approach is based on systems engineering. Experiments were conducted in the mechanical engineering department of an engineering school in Morocco to implement the proposed model in student projects. The students were guided to implement the proposed process and deploy innovative methods, then a quantitative assessment that considered their innovativeness and adherence to the innovation process was led. The innovativeness of the projects was assessed based on international patterning criteria, and an assessment system was used to analyze the level of compliance of the demonstration projects with the steps and support means and methods of the model's process. The findings of the study enabled us to improve our model of the innovation process by including methodologies and instruments personalized to the environment of engineering schools and based on a technological approach that emphasizes interdisciplinary theoretical and methodological contributions. The current study enabled us to confirm that an innovative project carried out within an environment characterized by the interaction and management of a set of material and human resources and methods and engineering skills can help to boost innovation in engineering education.

KEYWORDS: action research, creativity, project based learning, modeling, innovation.

1 INTRODUCTION

In the era of technological and digital revolutions, innovation has become a central theme in government strategies and plans aimed at driving technical, socioeconomic, and scientific advancement. It serves as a key lever for wealth creation, especially in emerging economies such as Morocco, and is essential for addressing the challenges of globalization. These challenges include the internationalization of markets, intense global competition, the accelerating pace of digital transformation, and the rapid transfer of technology and information.

The roles of engineers and other innovation actors have evolved to meet the increasing complexity of today's problems. Engineers now contribute to organizational competitiveness through various means: developing new products, creatively combining existing technologies, optimizing project management, and delivering targeted technical solutions within research and development [1]. In Morocco, engineers play a crucial role in driving innovation and ensuring the success and continuous improvement of large-scale development initiatives across all socioeconomic and scientific sectors [2], [3], [4].

These demands have intensified the need to reassess and prioritize the skills and competencies required for innovation [5]. Engineers are increasingly viewed as agents of progress, with a core responsibility to introduce technological advances that enhance societal well-being [3]. This raises important questions about the role of engineering education—particularly in Morocco—in cultivating the capacities that enable innovation [6].

Our research focuses on the complexity of fostering creativity within a project-based learning (PBL) framework in mechanical engineering education. We specifically address industrial innovation, which encompasses both product and process innovation, and its application in student engineering projects. We conceptualize innovation as a complex system—a process structured in defined stages,

involving multiple stakeholders and integrating diverse domains of knowledge and expertise, such as technology, science, and management [7], [8]. Using a systemic approach, we aim to analyze and model how this innovation system operates.

This leads us to explore whether the early-stage project work of engineering students could be professionalized through the adoption of a structured innovation process. Such an approach may result in tangible innovations eligible for intellectual property protection and potentially generate revenue for educational institutions.

In this study, we seek to bridge project-based learning in engineering education with the creative methods employed in industrial settings. Our goal is to design and apply a model for an innovation process that can enhance the innovation capacity of mechanical engineering students. Drawing inspiration from industrial management practices that boost performance and goal attainment, we investigate whether engineering schools should similarly adopt structured innovation methodologies to foster successful innovation projects.

Building on our previous research that assessed the state of innovation within engineering schools [9], [10], [11], we have identified the stages, tools, and strategies necessary to support students and faculty in managing and guiding innovative projects. This paper advances that work by proposing a systemic model of the innovation process in mechanical engineering education. We then evaluate its implementation in student projects to test its relevance, identify challenges, and refine the model for greater effectiveness.

2 LITERATURE REVIEW

2.1 THE INNOVATION PROCESS

It is difficult to give a single and precise definition for this concept, as each study perceives innovation from a different point of view. However, our work needs to frame the definition of innovation to be able to design tools to judge a project as innovative or non-innovative.

Different authors, among others; [12], [13], [14], [16], [6], and [17] highlight three main criteria for talking about innovation: the creation of a novelty (whether it is a concrete object such as a product, a machine, a technology, a process or an abstract one such as a service, a procedure, an organizational or commercial form), the added value, in particular, the response to a need expressed by actors at different levels (individuals, organizations, society, etc.), and the dissemination which is translated in economic terms into marketing.

We have identified the common characteristics included in the definitions of the different authors. We can define the concept of innovation as a complex system allowing the improvement or creation of a new solution (in the form of a product, service, process, etc.), likely to generate economic, environmental, or societal value, by following a multidisciplinary process involving different types of factors.

In our work, we are particularly interested in industrial innovation, which concerns only products or processes developed by the industrial sector. Our choice is mainly justified by our scientific positioning related to the field of mechanical engineering. We consolidate our choice by the results of the study carried out by [18] on innovation in engineering education, which showed that the field of innovation with a business (or even entrepreneurial) orientation is dominated by the discipline of industrial engineering, while the production of innovative tools and equipment allowing the development of new products, is dominated by mechanical and electrical engineering. We focus on incremental innovation, which consists of the improvement or creation of new features of products, services, or processes in the marketplace, following creative problem-solving approaches. On the one hand, the latter does not require large investments or rare and sophisticated equipment for its development, which corresponds to the context of engineering schools with limited financial and material resources. We support our choice by the interdependence between incremental innovation and the cooperation between several actors in an innovation project that characterizes our model of the innovation process [19].

There are different works in the literature proposing models of the innovation process (among others, [20], [21], [14], [22], [23], and [24]. Although the titles of the different stages constituting the innovation process may differ from one model to another, the meaning and content of these stages are common. Among the stages that are repeated in most models are creativity, idea generation, development, realization, and diffusion or commercialization. These stages are organized in a chronological sequence and link several resources and information. Additional steps can be added to the main process, such as feedback, continuous process improvement, and knowledge management [25].

Several authors have proposed and tested systemic modeling based on different methods in industrial companies. After a deep study of these several models, a comparative analysis unveiled that the more adequate model of the innovation process that we are studying could be similar to the model proposed by [24].

The modeling approach in [24] begins the process of innovative new product design as a set of operational, sequenced, and continuous steps and places the designer at the center. This reflects the importance of the capabilities and competencies of the main actor of an innovation process in its progress and their impacts on the results. In our work, we also try to highlight this dependence of the innovation process on the capabilities and competencies of its main actors, which in our case are the young future engineers.

Contemporary research on innovation processes proposes models of open innovation. In this case, we cite the work of [23] where they propose a systemic model of the open innovation process using the Business Process Management formalism.

All of the previous models break down the process of creating and developing innovations into a set of interacting steps, which can be broken down into activities, tasks, and procedures. Ensuring that these steps are carried out and that the desired results are achieved, is conditioned by the mobilization of a set of mechanisms and centered on the stakeholders in the process, which differ from one model to another.

2.2 TRAINING ENGINEERS TO BE FUTURE INNOVATORS

The roles performed by engineers within companies evolve according to the challenges and changes of each area and territory. Today, the technological revolution has influenced the characteristics of markets and the behavior of customers (organizations or individuals) through the opening up of international markets and the almost continuous connection to social networks. Thus, the successful marketing of innovative products requires the presence of varied and highly qualified knowledge and skills. In addition, information technology (IT) has become the primary driver of innovation in industrial companies in the new era of Industry 4.0. These latter increasingly require young engineers to have IT skills and knowledge for production. Faced with all these facts, the young engineer is expected not only to be able to design and manage the process leading to innovations (production, quality, logistics...) but also to be agile and aware of the economic, social, and environmental properties of the market [3], [26], [27].

Engineers' training in innovation is now an inevitable challenge for engineering schools especially in our Moroccan context. These institutions are increasingly making efforts to strengthen innovation among future engineers by integrating innovation concepts into curricula and encouraging various active learning methods, in particular projects.

A study by [27] distinguishes three main approaches that encompass the different forms of innovation training and serve as foundations for designing educational systems that can strengthen innovation in engineering schools:

- Training in global engineering, oriented toward responding to societal needs
- Training in research, focused on the production of knowledge
- Training in technological development, aimed at producing objects or services through different types of projects carried out inside or outside the educational institutions.

In this research, we are particularly focused on the third type of innovation due to the technical nature of mechanical engineering education.

Accordingly, our attention has been placed on project-based learning activities, which encourage the development of innovations. These activities enable the transformation of basic technical and transversal skills into innovation skills by engaging students in complex and real-world situations. Project-based learning activities enhance students' desire to learn and allow for the integration of theoretical knowledge through practice [27]. They are an effective strategy for increasing student participation in their learning environment, encouraging and developing creativity, discovering new concepts and experiences, and the frequent use of technological and digital tools [28].

Several authors have shown the vital role played by student projects in their schools or during internships in companies in the development of a set of skills that enhance the capacity of innovation and creativity in engineering education such as [29], [30], [31] and [31].

The capacity to innovate is based on the combination of a set of skills and abilities. It is defined as the set of skills, knowledge, and abilities that make an individual able to think and act innovatively in the field in which he or she works and masters. These competencies consist mainly of a combination of technical and non-technical skills [3]. The Commission of engineer's grade (CTI) is increasingly interested in the issues of innovation, creativity, and entrepreneurship in its reference frameworks and documents. The competencies targeted by engineering education for innovation from the CTI perspective [32] can be classified under four families:

- Scientific and technical skills: designing an innovative business project;
- Relational and managerial skills: anticipating and deciding in situations of uncertainty
- Cognitive skills: creative problem solving, inventing, innovating;
- Cross-cutting knowledge: entrepreneurship, intellectual property.

These competencies can be reinforced by pedagogical and extracurricular activities that allow students to carry out personal or collective business creation projects based on listening to needs, creativity, experimentation, and the development of business plans [32].

In conclusion, it appears that innovation is treated in training in two ways, innovation as an individual's ability to produce a novel and inventive solution, and innovation as a result obtained through the completion of a project. On the other hand, few works present an overall organization of the innovation system within engineering education institutions and in particular in Morocco, and highlight the

approaches followed for the production of innovations, the resources put into service for this purpose, and the actors who contributed to these activities.

The present work makes it possible to establish a bridge between the concept of the innovation process and engineering education. This may lead to an introduction of innovation engineering into knowledge-producing bodies such as higher education institutions, and in particular engineering schools. Therefore, we propose to adopt it within mechanical engineering education as a learning and teaching approach to carry out innovation projects. The objective of its adoption goes beyond the promotion of the acquisition of skills necessary for innovation in future engineers, to the fact of living a real professional experience that can lead, in the case of availability of resources and expertise, to the realization of innovations and even to the production of intellectual property.

3 METHOD

3.1 SYSTEMIC MODELLING AND ACTION RESEARCH

To give meaningful answers to our aims, we proposed a holistic method to understanding and studying the phenomena of innovation within engineering education, followed by modeling it. Systemic modeling is an important methodological framework in our study. All of the data acquired, processed, and interpreted using the previously stated research methodologies is being used to build a comprehensive model of the innovation process.

The systemic model has been extensively used as a consequence of scholars' interest in comprehending complexity and approaching a system's linkages and evolution [33]. The construction and development of a model in the form of diagrams or schemas, utilizing symbols to explain and communicate the many components of a complex system and their interactions, is referred to as modeling [34].

In previous studies [7], [8], [9], we have carried out in-depth case studies of the current state of innovation in engineering education in different institutions, particularly in the case of mechanical projects. This stage allowed us to collect data on various projects through observations and interviews, to deduce their constituents, strengths, and weaknesses, as well as the place of innovation in the studied area. This first step corresponds to the analysis phase of the systemic approach. Then, we deployed process modeling methods used in engineering sciences to represent and characterize the resulting innovation process. The last step of the systemic approach is the simulation of the system, which refers to the realization of a cycle of experiments that allowed us to put into practice and test the validity of our model, which requires an action research approach allowing a round trip between practice and theory. These experiments were conducted in the mechanical engineering department at the National High School of Electricity and Mechanics in Morocco (ENSEM).

The model's implementation and verification require a presence in the field as well as suitable methodologies and techniques from theory to apply and assess its efficacy and validity in real scenarios. This back and forth between theory and practice is entirely consistent with the logic of action research. It stresses the researcher's active engagement in the action [35].

As a result, the experimenter is no longer impartial, but rather engages in action with the actors who are the subjects of the research. Action research is described as a participatory approach based on a strategy of practical studies used to investigate the features and behaviors of a phenomena while incorporating the human factor. Its primary instruments are action, contemplation, and active involvement, all of which are used to generate practical answers [36]. Action research may be visualized as a cycle with a series of steps. The first phase is to characterize the problem using data from field observations and papers, which are then evaluated to produce an action plan for the stated problem [35]. The next step is the implementation and analysis of the action through the evaluation of its results. This analysis is used to modify and improve the action plan.

3.2 SYSTEMIC MODELLING OF INNOVATIVE PROJECTS' PROCESS IN MECHANICAL ENGINEERING TRAINING

We express the dynamism of the capacity of innovation in future engineers through the process of an innovative project. Our process aims not only at the realization of an innovative project but also at inculcating in the student engineer, who is the central actor of the process, certain knowledge, and skills related to innovation.

At the beginning of the process, the future engineer already has skills and knowledge that he or she may have acquired before and during his or her enrolment in engineering school, which may be technical (writing specifications, sizing, modeling, drawing, using design software, choosing materials, etc.), or non-technical (analyzing, associating, communicating, imagining, etc.) These skills can be acquired in different ways during the future engineer's training, but also reinforced through extracurricular activities within the school (school clubs), by joining external associations, or through personal initiative projects. At each stage of the innovation process, each engineering student involved in the project can call upon various skills and knowledge that differ according to the nature of the project, the means available, but also their personal qualities.

The application of these skills, in reality, allows them to be reinforced and can lead to the creation of new skills and competencies in the student engineer. We can summarize them in the ability to innovate or "innovation skills" representing a new output of the

innovation process. Otherwise, the use of certain technical methods and the use of certain equipment requires the possession of certain skills and know-how in the field of mechanics. We propose the mechanical engineering education's process as a parallel process to the whole process because it allows future engineers to acquire technical and transversal competencies necessary for the support and realization of the different stages of the innovation process.

Thus, our mapping differs from the classic mapping of the process approach through the addition of an extra process, which is the training process constituting a basis and a reinforcement for the realization process. In Figure 1 we show our innovation process map, where we have added the training process, and we have mentioned innovation training as a main activity of the management process.

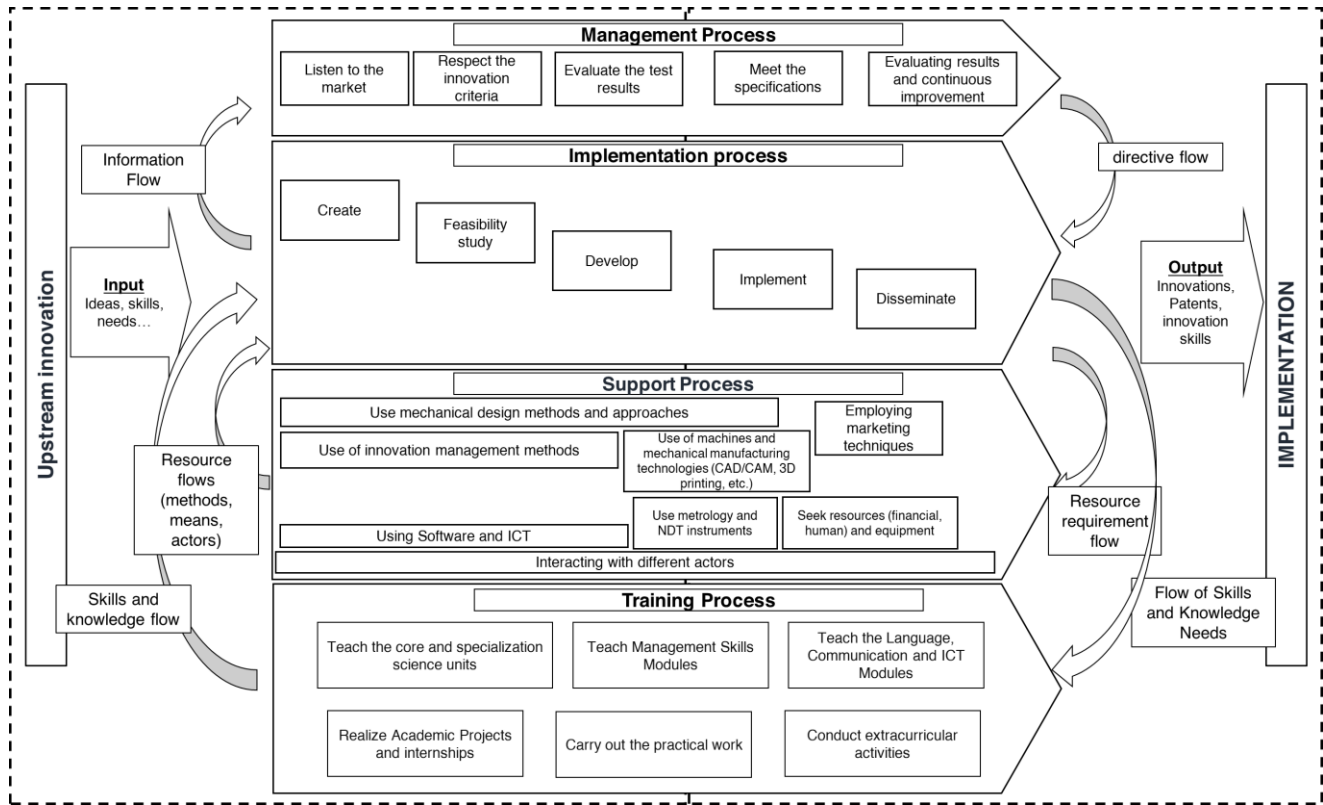


Fig. 1. Systemic model of the Innovation Process in mechanical engineering training

We have also highlighted the different interactions between the four processes. These interactions are represented as flows of different natures exchanged between the different processes, which we detail in Table 1.

Table 1. Nature and characteristics of innovation process flows

Nature of the flow	Sending process	Receiving process	Characteristics
Information flow	Realization process	Management process	-Feedback -Results of the steps -Problems to be solved
Directive's flow	Management process	Realization process	-Standards and criteria to be respected (documents, procedures, and reference systems) -Main objectives -Customer and market requirements
Information flow	Realization process	Support process	-Needs to be expressed for each stage in terms of methods, materials, and human and financial resources.
Resource flow	Support process	Realization process	-Methods, materials, and human and financial resources.
Skills needs flow	Realization process	Training process	-Needs to be expressed for each stage in terms of technical and transversal skills
Skills and knowledge flow	Training process	Implementation process	- Technical and cross-cutting skills

From this model and based on the findings of the synthesis of the state of the art and the inventory of innovation projects in engineering schools in Morocco, we put forward the following general hypothesis: “An innovative project approach carried out within an environment characterized by the interaction and management of a set of material and human resources, methods and technical and managerial skills, could boost innovation in the context of engineering education”.

To verify this general hypothesis, which represents the result of our theoretical modeling, we propose to break it down into secondary hypotheses, each of which focuses on one of the main elements of our environment (skills, resources, methods, actors).

The hypotheses of our model are formulated as follows:

- H1. A project respecting the proposed steps of the innovation process can lead to innovative solutions.
- H2. A support process providing the project actors with technical and managerial means and methods could improve the capacity to produce innovative solutions among engineering students.
- H3. A support process that brings together different actors could improve the capacity of engineering students to produce innovative solutions.
- H4. A management process that ensures that each stage of the implementation process is monitored and adhered to would improve the ability of engineering students to produce innovative solutions.

4 FINDINGS

4.1 IMPLEMENTATION OF THE INNOVATION PROCESS MODEL IN MECHANICAL ENGINEERING PROJECTS

The experiments of our model are carried out within the mechanical engineering department of the ENSEM, they take the form of projects of various types achieved by engineering students. These projects aim at solving complex and varied problems: quality management, mechanical design, environmental management, and sustainable development. The complexity of these projects lies in their diversity but also in their richness in terms of interaction with different actors, the use of problem-solving tools, the development of technical and soft skills, etc.

We attended and contributed to coaching sessions and innovation workshops throughout the course of various projects (graduation projects, and projects carried out as part of a course). During the first experimentation, we participated in the accompaniment and the animation of coaching sessions for the graduation projects of mechanical engineering students and the establishment of comparative studies with control projects. In the second experiment, we integrated innovation workshops into an environmental management course intending to generate innovative projects at the end. The objective of this experimentation, which was conducted as a set of projects parallel to a course, was to generate ideas for innovations in the field of environmental management.

4.1.1 PROCESS OF THE FIRST EXPERIMENT

The sample is six final year projects carried out by 10 students in the 3rd year of mechanical engineering at ENSEM in different industrial companies.

We participated in the supervision of the first three projects with the academic supervisor and the industrial supervisor, where we ensured the application of the steps of the proposed process and the respect of its components. We considered them as demonstration projects.

In parallel, we selected three projects that were considered to be classic and that took place under standard conditions, to compare the results. It is important to note that the demonstration projects and the classic projects were carried out under similar conditions (study program, the company where the internship takes place, students' fields of study, supervising professors belonging to the same department of mechanical engineering), the only difference is the approach to the supervision and implementation of the project, which influences the steering and management of the project. The details of the projects studied are explained in Table 2.

Table 2. *Characteristics of the sample of graduation projects subject of the experiment*

Reference	Project themes	Project area or business sector	Project nature	Number of students in the project	Project type
P1	Design of a micro-hydropower system	Energy	Design of a mechanical system	2	Demonstration project
P2	Solving technical problems to prepare for ISO 9001 and ISO 14001 certification	Agriculture and food industry	Quality management	2	Demonstration project
P3	Improving the quality of deliverables of an automotive design project	Automotive	Quality management	1	Demonstration project
P4	Maintenance of public lighting structures.	Energy	Maintenance of mechanical systems	2	Classic project
P5	Improvement of the maintenance engineering of sugar manufacturing machines	Food and drink	Maintenance of mechanical systems	1	Classic project
P6	Study and design of a car bonnet	Automotive	Mechanical system design	2	Classic project

These graduation projects last on average 4 months. Weekly meetings are held between the academic supervisors and the engineering students. In addition, the students meet regularly with their industrial supervisor in the company hosting the project.

We organized the coaching sessions according to the objectives and expected results of each phase of the innovation process. In the first phase of the project, we focused on creativity and the generation of innovative ideas. After having carried out an inventory and an analytical study of the various problems in the field, the engineering students are led to use the tools of the creative problem-solving approach to generate innovative ideas, based on a technological watch to be up to date with the novelties in the field of their project. We also worked with the students on innovation engineering methods that are not included in the curriculum of all courses, such as design thinking.

Next, decision-making methods (including multi-criteria matrices) are used to select the most appropriate solution. This phase ends with the technical solution that will be developed in the following stages.

The second phase consists of the preliminary study of the feasibility of the project. In this phase, the students drew up sketches and kinematic diagrams of the proposed solution to examine the technical coherence, as well as a preliminary estimate of the project costs. This phase provided a blueprint for the management of the entire project and ended with the preparation of a project portfolio which is fed in parallel with the progress of the project. The third phase, the technical development of the innovative solution, represents the core of the project, where the engineering students apply the different technical knowledge and skills they have acquired during their years of training in mechanical engineering. They used methods of design, dimensioning, technical drawing, and calculation, and they used computer-aided design and simulation software. This phase ends with the prototyping and testing of the developed solution.

In the last phase, the students are encouraged to look for funding, materials to implement their solutions, and all the documents and guides needed for its implementation. Then, the future engineers are encouraged to try to start the complete or partial realization of their solution in case the resources and means allow it.

Finally, the dissemination of the results of the project can take different forms: firstly, a presentation of the project's results to the managers of the company where the internship took place, and secondly, a presentation of the project in the school to an evaluation board made up of professors and industrialists. If the result of the innovation process is a new product, this could be marketed by the company itself or by some other means.

At the end of the process, we obtain not only innovative solutions developed by the students but also feedback that the teachers can use to improve the conditions for future projects and the engineering curriculum in general.

4.1.2 PROCESS OF THE SECOND EXPERIMENT

Our sample is composed of 10 projects carried out by 49 students belonging to two consecutive classes in the third year of the Quality Maintenance and Industrial Safety course. These projects are integrated into an environmental management system (EMS) course. The students were asked to work on solving technical problems related to compliance with environmental standards in various areas of their school (boarding school, practical workshops, grounds, green spaces, restaurants, and classrooms) by proposing innovative solutions integrating the dimension of smart cities.

The five projects carried out in the first year of the experiment are considered to be classic projects and are carried out by 25 students divided into five groups. In this case, we asked the students to propose and develop innovative solutions to the project's problem without guiding them towards following the innovation process related to our model. They worked on an autonomous, freeway and by deploying classical problem-solving approaches.

The five projects carried out in the second year of the experiment are considered to be demonstration projects and are carried out by 24 students divided into five groups. In this case, we applied the guidelines of the innovation process that we have modelled. The first two sessions of the course were devoted to the theoretical notions related to the subject matter. Then we devoted one 4 hours' session per week to the first three stages of the process: creation, feasibility study, and development. A final session was dedicated to the evaluation and presentation of project results. These sessions took place in the form of workshops in which we participated in the facilitation and supervision in the presence of the professor in charge of the course.

The conduct and supervision of the workshops were similar to Experimentation 1, and we ensured the implementation of active teaching methods and the integration of digital technology to help students develop the skills necessary for innovation. At the end of the course, the groups formed by the engineering students presented a detailed report with steps and results and gave an oral presentation of the results of their work. Table 3 shows the subject projects of Experiment 2.

Table 3. Characteristics of the sample of projects integrated within the EMS course subject of experiment 2

Reference	Project themes	Number of students in the project	Project Type
P7	Intelligent shower water recycling system	4	Demonstration project
P8	Waste sorting with the help of the Smart Bin for automatic waste separation and sorting	5	Demonstration project
P9	Innovative redesign of the mechanical workshop	5	Demonstration project
P10	Change management in the school restaurant using industrial engineering management	5	Demonstration project
P11	Intelligent watering system for green areas	5	Demonstration project
P12	Proposal of innovative solutions to solve environmental problems in the students' residence	5	Classic project
P13	Proposal of innovative solutions to solve environmental problems in the practical workshops in mechanics at ENSEM	5	Classic project
P14	Proposal of innovative solutions to solve environmental problems in the ENSEM classrooms	5	Classic project
P15	Proposal of innovative solutions to solve environmental problems in the ENSEM restaurant	5	Classic project
P16	Proposal of innovative solutions to solve environmental problems in the grounds and green spaces of ENSEM	5	Classic project

4.1.3 PROJECTS ASSESSMENT

Although the different experiments took place during different periods, we carried out the same assessment method.

An evaluation board consisting of 3 professors and 2 doctoral engineers evaluated all these projects. They first judged the innovative character of the different projects using the innovation criteria used by international organism to assess the patentability of inventive proposals: novelty, industrial applicability, and inventiveness.

According to these organisms an invention must meet a set of conditions in order to be protected by a patent. These conditions are as follows [37], [38]:

- The project must describe a specific, substantial, and credible utility that can be achieved within the industry.
- The project must be novel, meaning it is not already known or described in an existent "state of the art." The state of the art includes all information and data that are publicly available through patents, oral presentations (such as lectures or seminars), exhibitions (such as trade shows), or written publications (such as prior patent applications, commercial brochures, scientific or technological journals, articles, or press releases).

- The project must involve inventive activity (i.e., it is not obvious). A skilled person in the relevant field can determine whether this condition is met by analyzing three main characteristics of the invention: the problem that the invention seeks to solve, the ingenuity of the proposed solution and its adequacy to the existing problem, and the novelty and advantages offered by the invention compared to products (or services, processes, etc.) already defined by the state of the art.

Then, the evaluation board assessed for each project the level of compliance with the various components of the proposed innovation process, namely: the stages of implementation, the methods, and means deployed, as well as the project management mode (control or classic).

This evaluation is based on the analysis of the content of the reports and documents representing the deliverables of each project including the technical file and the business plan using an evaluation grid constructed from the modeling and its assumptions. Table 4 develops all the criteria relating to the stages of the innovation process, their sub-stages, and the supporting elements (methods and means).

Table 4. Project assessment criteria

Analysis criteria		Observed Elements
Implementation steps	C1. Create	C1.1. Analyze the need C1.2. Carry out a survey C1.3. Generate creative ideas C1.4. Evaluating and selecting a creative idea
	C2. Study the feasibility	C2.1. Carry out the preliminary technical study C2.2. Carry out a preliminary financial analysis C2.3. Define a business plan C2.4. Create a provisional schedule
	C3. Develop	C3.1. Define the technical specifications C3.2. Study the technical risks C3.3. Design and dimension the product components C3.4. Choose the material C3.5. Detailing the product assembly C3.6. Carry out the complete design on software (CAD) C3.7. Produce a prototype C3.8. Test and validate
	C4. Realize	C4.1. Choosing suppliers C4.2. Search for funding C4.3. Produce a sample C4.4. User testing C4.5. Industrialize
	C5. Diffuse	C5.1. Market prospect, Advertising and Marketing
Supporting elements	C6. Support methods	C6.1. Quality tools C6.2. Innovation engineering tools C6.3. Innovative mechanical design tools C6.4. Project management tools, operational research C6.5. Studies and calculations of structures and mechanical characteristics C6.6. Assembly methods and manufacturing processes C6.7. Mechanical test analysis and metrology C6.8. Marketing, sales and finance techniques
	C7. Support means	C7.1. Various software C7.2. Automated machinery and CAD/CAM C7.3. Manufacturing, measuring and testing machines and equipment C7.4. Marketing and communication tools Databases C7.5. Guides and reference documents

The weighting of the criteria in the analysis table is based on a qualitative binary scale. If the criterion representing the sub-step is present in the work, then it is scored 1, otherwise, it is scored 0.

4.1.4 INNOVATIVENESS OF THE PROJECTS

During the assessment, each member of the evaluation board has attributed a grade for every innovativeness 'criterion to each project according to its response to the criteria description detailed in the table 5. If the project meet the description it was marked 1 unless then 0. To be considered as innovative, a project must meet all the innovation criteria.

Projects that were judged as innovated are the projects which met the three innovativeness criteria that were described in the section project assessment. The assessment was led by the evaluation board. Table 5 summarizes the results obtained on the innovative character of the graduation projects.

Table 5. Results on the innovative character of graduation projects

Projects	Innovativeness criteria			Innovativeness
	New	Being industrially applicable	Involving inventive activity	
P1	1	1	1	Innovative
P2	1	1	1	Innovative
P3	0	1	0	Not innovative
P4	0	1	0	Not innovative
P5	0	1	0	Not innovative
P6	0	1	0	Not innovative

Of the three projects to which we applied the innovation process, two projects succeeded in proposing and developing innovative solutions that met all the criteria. For the classical projects, it turned out that none of the projects are innovative. These results also allow us to touch qualitatively on the influence of the supervision and guidelines we proposed to the students to pilot a project on the production of innovative solutions.

These results show the positive impact of project management according to the proposed innovation process model on the innovative character of projects.

We proceeded in the same way for the analysis of the results of the second experimentation. Table 6 shows the innovative character of the projects carried out by the engineering students.

Table 6. Results of the innovative character of the projects integrated into the EMS course

Projects	Innovation criteria			Innovativeness
	New	Being industrially applicable	Involving inventive activity	
P7	1	1	1	Innovative
P8	1	1	1	Innovative
P9	1	1	1	Innovative
P10	0	1	0	Non- innovative
P11	0	1	0	Non- innovative
P12	0	1	0	Non-innovative
P13	1	1	1	Innovative
P14	1	1	0	Non- innovative
P15	0	1	0	Non-innovative
P16	0	0	0	Non-innovative

According to these results, we ended up with three innovative projects out of five for the case of the demonstration projects. For the classical projects, only one of the five projects was found to be innovative. Among the three non-innovative projects, we obtained an extreme case that did not meet any innovation criteria.

These results support those we found for the graduation projects. Indeed, the supervision of the projects by respecting the approach resulting from our model of the innovation process contributed to the improvement of the innovative character of the projects.

4.1.5 RESULTS OF THE LEVEL OF COMPLIANCE WITH THE INNOVATION PROCESS

The following table details the qualitative assessment of the respect of the realization process steps that we proposed in our modeling within the demonstration projects studied during the two experiments 1 and 2. Only in the supervised projects where students were led to implement our proposed model. The assessment criteria used in the table below were explained in the section 4.1.3, table 4.

Table 7. The innovation process assessment system for the demonstration project

Project	Innovation process																			
	Create				Study the feasibility				Develop								Realize			Diffuse
	C1.1	C1.2	C1.3	C1.4	C2.1	C2.2	C2.3	C2.4	C3.1	C3.2	C3.3	C3.4	C3.5	C3.6	C3.7	C3.8	C4.1	C4.2	C4.3	C5.1
P1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0
P2	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0
P3	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
P7	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0
P8	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
P9	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0
P10	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P11	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

To analyze the contribution of the compliance with the implementation process that we proposed in our modeling on the demonstration projects, we used the previous data in table 7 to calculate the rate of compliance with this process using the indicator expressed by the following formula.

The formula used to calculate the compliance of projects with the implementation process

$$\text{Rate of compliance with the implementation process} = \frac{\sum \text{total scores for the step}}{\text{total number of sub - steps}} \times 100$$

The formula used to calculate the overall rate of compliance with the process steps

$$\text{The overall rate of compliance with process steps} = \frac{\sum \text{scores obtained in all steps}}{\text{total number of all sub - steps}} \times 100$$

Table 8 shows the rates of compliance with the different stages of the innovation process that we have calculated using the previous formulae. We cross-reference these results with the innovative character of each project in the same to deduce the correlation between them.

Table 8. Rate of compliance of graduation projects with the stages of our innovation process model

Projects	Rates for the steps of the Innovation Process					Overall rate	Innovativeness
	Create	Study the feasibility	Develop	Realize	Diffuse		
P1	100%	75%	75%	60%	0%	79,1%	Innovative
P2	100%	75%	62,5%	40%	0%	58,33%	Innovative
P3	75%	75%	25%	20%	0%	37,5%	Non-innovative

We note that P1 and P2 having respected the creation phase which represents the basis for generating and proposing an innovative and creative solution, we're able to develop innovative solutions, unlike the third project which respected just 75% of this phase.

All projects met the feasibility study phase to the same degree.

The compliance rates for the innovative solution development phase are different. Indeed, the first project, whose main objective was the design of a mechanical system expressed from the beginning by the host company, was able to give more time and interest to the details of the technical development of the innovative solution. This was in contrast to the second project, where the company's need was to implement quality and environmental management systems. In addition, the engineering students were under pressure to meet the needs of the company on the one hand and to respect the approach we proposed on the other. Although they proposed an

innovative solution, they were not able to realize and test a prototype for it, as the nature of their project required them to focus more on audit and quality management procedures.

The realization phase was 60% completed by the P1 project, 40% by the P2 project and 20% by the P3 project. The low rates are due to a combination of factors including lack of time and resources.

The last phase of project dissemination as described in our innovation process is the most critical, as none of the projects managed to accomplish this stage due to a certain time and resource constraints. Indeed, the previous stage of realization has not been completed, so, logically, one cannot disseminate or market a product that is not yet realized. This phase was replaced during the experimentation process by an evaluation of the project within the company on the one hand, and at ENSEM on the other.

For the second experimentation, the results analysis follows the same procedure. Table 9 shows the compliance rates of the five demonstration projects of the second experimentation with the phases of the innovation process.

Table 9. Compliance rate of the projects integrated into the EMS course with the steps of our innovation process model

Projects	Rates for the steps of the Innovation Process					Overall rate	Innovativeness
	Create	Study the feasibility	Develop	Realize	Diffuse		
P7	100%	75%	75%	20%	0%	58,33%	Innovative
P8	100%	75%	100%	40%	0%	66,66%	Innovative
P9	100%	75%	62,5%	20%	0%	58,33%	Innovative
P10	50%	25%	12,5%	0%	0%	16,66%	Not Innovative
P11	50%	25%	12,5%	0%	0%	16,66%	Not Innovative

These results confirm the results of the previous experimentation. Indeed, the projects qualified as innovative completed the entire creation and generation phase of the innovative idea. On the other hand, the two non-innovative projects only completed 50% of the sub-stages of the creation phase.

Regarding the feasibility study, 75% of the innovative projects and 25% of the non-innovative projects completed it.

For the development of the innovative solution stage, the P8 project completed the entire stage. This project is the only one in the sample that managed to produce a prototype of the innovative solution and test it. This solution consists of the realization of an intelligent waste bin that sorts and shreds waste.

The other two innovative projects met the development stage with rates of 75% for P7 and 62.5% for P9, but they only carried out the design and study of the technical specifications of the solution. As for the non-innovative projects, they complied with only 12.5% of the development stage.

The realization and dissemination of innovative projects are critical stages in this second experiment, as they were in the first, and none of the projects was able to meet all the requirements. In the case of this experimentation, the main factors are the lack of time and financial means to implement innovative solutions.

4.1.6 RESULTS OF THE RESPECT OF THE SUPPORT PROCESS

We proceeded in the same way to analyze the results related to the respect for the support process in the different projects studied. According to the proposed model, the support process is mainly based on the methods and tools of innovation engineering, innovative design and project management, as well as the means and resources necessary for the deployment of the project. Table 10 details the assessment system used by the evaluation board. It shows the different marks given to the demonstration projects of both experiments according to each criterion of the means and support process (Section 4.1.3, table 4).

Table 10. The respect of the proposed support means and methods assessment system for the demonstration project

	Support means								Support method					
	C6.1	C6.2	C6.3	C6.4	C6.5	C6.6	C6.7	C6.8	C7.1	C7.2	C7.3	C7.4	C7.5	C7.6
P1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1
P2	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1
P3	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1
P7	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1
P8	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1
P9	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1
P10	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
P11	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1

To verify the influence of the proposed support process on the level of innovation, we studied the rate of deployment of the methods and means we proposed through the innovation process, only in the supervised projects where students were led to implement our proposed model.

We calculated the rate of methods and means deployed according to table 11 and using the following indicators.

The formulas used to calculate the rate of compliance with the support process

$$\text{Rate of methods deployed} = \frac{\sum \text{notes of the methods} - \text{deployed}}{\text{total number of methods deployed}} \times 100$$

$$\text{Rate of means deployed} = \frac{\sum \text{notes of means deployed}}{\text{a total number of means deployed}} \times 100$$

Table 11 shows the rates of methods and means deployed in graduation projects, as well as the innovative character of the projects.

Table 11. Rates of methods and means deployed in graduation projects according to the innovative character of the projects

Projects	Rate of methods deployed	Rate of means deployed	Projects innovativeness
P1	75%	50%	Innovative
P2	50%	50%	Innovative
P3	37,5%	50%	Not innovative

These results show that the rate of methods deployed by the innovative project is higher than that of the non-innovative projects. This shows the importance of the use of different methods in the support process for the generation and development of innovative solutions.

Indeed, the P1 project employed the highest rate of methods from our innovation process, in particular the tools of innovation management and innovative mechanical design (brainstorming, design thinking, FAST creativity, methods of calculating the characteristics of mechanical structures, etc.).

On the other hand, the tools and approaches of quality assurance and project management are applied to all projects. This reflects the knowledge and technical skills that the engineering students have acquired during their training in mechanical engineering at ENSEM. This training is characterized by a curriculum rich in basic technical and management courses, but which remain classical and do not allow students to implement new engineering tools for innovative and creative design projects, products or mechanical processes.

Concerning the deployment of support resources, the all projects in Experimentation 1 used half of the proposed resources.

For the second experiment, the results are shown in the Table 12 below.

Table 12. Rate of methods and means deployed in the EMS course projects according to the innovative character of the projects

Projects	Rate of methods deployed	Rate of means deployed	Projects innovativeness
P7	62,5%	50%	Innovative
P8	87,5%	66,66%	Innovative
P9	50%	66,66%	Innovative
P10	25%	50%	Non-innovative
P11	25%	50%	Non-innovative

These results show that the three innovative projects achieved a high rate of deployment of the methods we proposed, up to 87.5%. This is in contrast to the non-innovative projects which did not exceed 25%.

We also notice that the projects: P7 which is an innovative project, and P10 and P11 which are non-innovative projects have deployed 50% of the proposed means while the two projects P8 and P9 which are innovative have deployed 66.66% of the means. These results show that the availability of methods and resources is important for the development and implementation of innovative solutions.

5 DISCUSSION

We have calculated the average compliance rate for all innovative and non-innovative projects respecting our innovation process specifications. The aim is to highlight the impact of our model on the innovative character of the projects at the end of the experiments and to verify the modeling hypotheses.

We summaries all the results obtained previously and classify them according to the nature of the project: innovative or non-innovative. We then calculate the average of the rates calculated previously by dividing the sum of the rates obtained for all projects of the same nature (innovative or non-innovative) by the number of these projects. According to the results of the two experiments, the control projects to which we applied our innovation process are divided into 5 innovative projects and 3 non-innovative projects.

- **Verification of modeling assumptions**

Table 13 shows the compliance rates for all components of the proposed innovation process and the average compliance rates for the innovative projects.

Table 13. Summary of compliance of innovative projects with the proposed innovation process

Projects	Compliance with process steps	Compliance with the proposed methods	Compliance with the proposed means
P1	79,1%	75%	50%
P2	58,33%	50%	50%
P7	58,33%	62,5%	50%
P8	66,66%	87,5%	66,66%
P9	58,33%	50%	66,66%
Average	64,15%	65%	56,66%

In Table 14, we present the results for the non-innovative projects.

Table 14. Summary of compliance of non-innovative projects with the proposed innovation process

Projects	Compliance with process steps	Compliance with the proposed methods	Compliance with the proposed means
P3	37,5%	37,55%	50%
P10	16,66%	25%	50%
P11	16,66%	25%	50%
Average	23,6%	29,16%	50%

- We note that the innovative projects complied with 64.15% of the stages proposed in our model, unlike the non-innovative projects, which complied with only 23.6%. This reflects the positive impact of the structuring of the project implementation process on the

valorization of innovation in the projects carried out by the engineering students. This result allows us to confirm hypothesis H1. We can say that a project that respects the proposed stages of the innovation process can lead to innovative solutions.

- Concerning the deployment of the methods proposed in our model, it was respected by 65% of the innovative projects and only 29.16% by the non-innovative projects. Similarly, the exploitation of the means necessary to carry out the projects was respected by 56.66% of the innovative projects and by 50% of the non-innovative projects. This result confirms hypothesis H2. The deployment of a set of support elements consisting of the technical and managerial resources and methods necessary for the project to be carried out improves the ability of engineering students to produce innovative solutions.

- Concerning the interactions with the stakeholders of our process, the graduation projects allowed the students to meet different actors during the internships carried out within industrial companies. Indeed, during each phase of their project, they were accompanied by professionals, in particular engineers, department heads, and administrative staff. The latter helped to provide the students with the information and data necessary to describe and analyze the problem of their subject, dimension their mechanical system according to the field data, and prepare the administrative documents necessary at each stage. Other actors who differed from project to project, such as experts in materials, or mechanical manufacturing processes, facilitated certain activities in the process, particularly in the development phase.

In the academic environment, the engineering students were able to benefit from the supervision of research professors and doctoral students, which enriched their work on the theoretical level. However, the richness in terms of relations with professional actors and experts was missing in the case of the projects integrated into the environmental management course. They indeed had relationships with different people within the school, such as the administration staff, the department heads, the heads of the mechanical workshops or the boarding school, the PhD students and the professors, but the links with external institutions and individuals were very limited. From the analysis of these observations, we deduce that hypothesis H3 is confirmed. We can say that putting engineering students interact with different actors in the innovation process improves their ability to innovate.

The results of the experiments have shown that the innovation project management process, which in our case is implemented by the supervisors, makes it possible to propagate the culture and spirit of innovation among the engineering students. The proposed management approach encouraged the students to be creative and motivated them throughout the project to respect the innovation criteria and generate innovative ideas. This confirms that the act of innovating among students is not intuitive and automatic, but requires guidance and support. Thus, we can say that hypothesis H4 is confirmed. A management process that ensures that the guidelines for each stage of the realization process are followed, improves the ability of engineering students to produce innovative solutions.

Otherwise, even though the demonstration projects were supervised and were led to implement all the guidelines of our innovative process, not all the projects were innovative due to many constraints. According to the first experiment, we observed that despite the presence of resources and interaction with different actors, not all projects are innovative. This is due to several problems that we were not able to address in our study, such as personal factors and company policy and fear of risk and lack of time and resources. During Experiment 1, certain steps such as problem analysis, design, and sizing were blocked due to problems related to flow fluidity and management inside the companies where the projects are deployed within the process. Indeed, expressing needs in terms of resources and data collection sometimes proved to be a difficult task for some students. Exhaustive procedures can also hinder data collection or the acquisition of certain equipment, which can prevent the completion of the project.

For the second experiment, we identified the following problems: time and resource constraints, and the high cost of solutions deployment. We noticed that the means used by the projects in our experiment are often software or basic means existing in laboratories or mechanical manufacturing workshops. These means do not require significant or additional funding. However, the realization of some innovative projects requires high-tech machines and equipment that were lacking in the school (such as CAD/CAM machines, 3D printers, or full and professional versions of certain mechanical design and analysis software). This is mainly due to a lack of budget dedicated to this type of projects.

Regarding the application of new innovation engineering tools, we found that most of the mechanical engineering students in our sample encountered several difficulties. Although we proposed several innovation engineering tools, the students were only able to use basic and classical innovation tools. This is partly due to the duration of the projects, which prevents them from learning new tools, and to the basic training. In fact, by examining the different mechanical engineering student training programs, we noticed the absence of a course on innovative design tools or innovation engineering.

6 CONCLUSION

This paper describes the construction of innovation process model in mechanical engineering projects carried out in an engineering school. Its framework and principles refer to tools of systemic modeling of complex systems used in the field of mechanical and industrial engineering. We then provided details to characterize our innovation process and deduced hypotheses to verify it.

The hypotheses relating to the model of the innovation process were confirmed through a set of experiments within the academic context of the mechanical engineering department of ENSEM through the supervision of projects of different natures, which leads to the

validation of the following general modeling hypothesis: An innovative project approach carried out within an environment characterized by the interaction and management of a set of material and human resources, methods and technical and managerial skills can help to boost innovation in the context of engineering education.

The systemic approach that we have adopted has enabled us to identify the phenomenon of innovation in the context of mechanical engineering in a global manner. Thus, we have highlighted the tangibility of interactions within an innovation system and its complex character. Our modeling had double objective of describing the innovation process on the one hand, and on the other hand, implementing it in order to test and improve its functioning.

The action research carried out to implement our innovation process allowed us to test and analyze the modeling hypotheses through tools and performance indicators. We designed tools and indicators to measure the innovation process specific to our study. We have tried to transform the results of qualitative observation into a set of quantitative rates and indicators. The analysis of these indicators allows at the same time to measure and analyze the performance of our innovation process and to verify the modeling assumptions.

We have tried to introduce the concept of innovation in engineering schools through different aspects. In particular, we find:

- The integration and implementation of an innovation process within project-based learning activities;
- The use of innovation and creativity management tools and approaches;
- The involvement of actors from within and outside the engineering school;
- The experience of giving engineering students' projects a broader and professional dimension and the ambition to file patents.

This research work is only the first step of a more global project on innovation engineering. We intend to build on the present results and develop them for new research objectives, especially after the major changes that have occurred in the Moroccan context recently. Indeed, with the health crisis due to the outbreak of the COVID-19 virus, the terrain in Morocco has become more fertile and welcoming for innovation initiatives. The new Moroccan strategy encourages the production of innovations through the facilitation of procedures and project financing. All these facts encourage us to deepen our work in the field of engineering and management of innovative projects through extending the experiments to other specialties (electrical, computer science, civil engineering, etc.) within different engineering schools and universities in Morocco. These studies will help to make our model more global and flexible, and to draw a generalizable canonical form of it. We will also have the opportunity to integrate new forms of innovation such as disruptive innovation, or the creation of start-ups, which are more common in the field of computer and industrial engineering. In the future, we aim to implement and adapt our innovation process model to scientific and technical research centers and laboratories.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to acknowledge the support of ENSEM, the engineering school where the experiments were conducted. We extend our gratitude to the faculty and staff for providing us with the resources necessary to carry out this research.

REFERENCES

- [1] J. A. H. Pérez, C. Geldes, M. H. Kunc, & A. Flores, «A new approach to the innovation process in emerging economies: The manufacturing sector case in Chile and Peru», *Technovation*, vol.79, pp.35-55, 2019.
- [2] Gardelle and Gil, Note de synthèse sur les modèles de formation d'ingénieurs en Europe et dans quelques pays émergents, 2015.
- [3] Kövesi, K., and Csizmadia, P., Compétences et capacités des innovateurs: nouvelles priorités et nouvelles exigences pour les diplômés en ingénierie, In: D. Lemaître (Ed.), *Formation des ingénieurs à l'innovation*, London: Isté Editions, pp. 75–98, 2018.
- [4] Gil, E. C., Gardelle, L., and Tabas, B., De l'innovation technologique à l'innovation « située »: pour une meilleure adaptation des formations d'ingénieurs aux défis sociétaux du XXI^e siècle, In: D. Lemaître (Ed.), *Formation des ingénieurs à l'innovation*, London: Isté Editions, pp. 19-34, 2018.
- [5] Alter, *L'innovation ordinaire*, Presses universitaires de France, 2015.
- [6] Fernex-Walch and Romon, *Management de l'innovation de la stratégie aux projets* (Paris: Vuibert), 2013.
- [7] Zergout, S. Ajana, S. Bakkali, and C. Adam, «Systemic approach to address complexity in the training of engineers in innovation and creativity: Modeling process of implementing innovative projects,» in 2019 47th SEFI Annual Conference (Varietas Delectat: Complexity is the New Normality), pp. 1296-1327, European Society for Engineering Education (SEFI), 2019.
- [8] Zergout, S. Ajana, Z. A. Haddouchane, and S. Bakkali, «Evaluation du processus d'innovation dans les projets du génie mécanique [Assessing the innovation process in mechanical engineering projects],» *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 23, no. 4, pp. 647–660, 2018.
- [9] Zergout, S. Ajana, C. Adam, and S. Bakkali, «Modeling Approach of an Innovation Process in Engineering Education: The Case of Mechanical Engineering,» *International Journal of Higher Education*, vol. 9, no. 2, pp. 25–39, 2020.

- [10] Schumpeter, The theory of economic development Harvard University Press, Cambridge, 1934.
- [11] Kline, S.J. & Rosenberg, N., An overview of innovation, in Landau, R. & Rosenberg, N. (EDS.), The positive sum strategy: harnessing technology for economic growth, National Academies Press, Washington, D.C., pp. 275-307, 1986.
- [12] T. M. Amabile, R. Conti, H. Coon, J. Lazenby, and M. Herron, «Assessing the work environment for creativity,» *Academy of Management Journal*, vol. 39, no. 5, pp. 1154–1184, 1996.
- [13] OECD, The Measurement of Scientific and Technological Activities. Proposed Guidelines for Collecting and Interpreting Technological Innovation Data, Oslo Manual, Paris: OECD, 2005.
- [14] K. Galanakis, «Innovation process. Make sense using systems thinking,» *Technovation*, vol. 26, no. 11, pp. 1222–1232, 2006.
- [15] Morrison and B. Johnston, «Personal creativity for entrepreneurship: Teaching and learning strategies,» *Active Learning in Higher Education*, vol. 4, no. 2, pp. 145–158, 2003.
- [16] Wong, D. Tjosvold, and C. Liu, «Innovation by teams in Shanghai, China: Cooperative goals for group confidence and persistence,» *British Journal of Management*, vol. 20, no. 2, pp. 238–251, 2009.
- [17] Afnor Normalisation, FD X50-271. Management de l'innovation - Guide de mise en œuvre d'une démarche de management de l'innovation, Afnor, 2014.
- [18] S. C. Onar, A. Ustundag, Ç. Kadaifci, and B. Oztaysi, «The changing role of engineering education in industry 4.0 Era,» in *Industry 4.0: Managing the Digital Transformation*, pp. 137–151, Springer, Cham, 2018.
- [19] R. Sadgui and M. Benchekara, «Cooperation in Incremental Innovation Activities: An Empirical Analysis of Moroccan Firms,» *International Journal of Service Science, Management, Engineering, and Technology (IJSSMET)*, vol. 9, no. 3, pp. 48–61, 2018.
- [20] R. G. Cooper, «Stage-gate systems: A new tool for managing new products,» *Business Horizons*, vol. 33, no. 3, pp. 44–54, 1990.
- [21] Rothwell, R. Towards the fifth-generation innovation process. *International marketing review*, 1994.
- [22] Verworn, C. Herstatt, and A. Nagahira, «The fuzzy front end of Japanese new product development projects: Impact on success and differences between incremental and radical projects,» *R&D Management*, vol. 38, no. 1, pp. 1–19, 2008.
- [23] Zhang, Process modeling of innovative design using systems engineering (These de doctorate INSA STRASBOURG), 2014.
- [24] G. S. Banu, A. Dumitrescu, A. A. Purcărea, and S. W. Isărescu, «Defining open innovation concept using business process modeling,» *Procedia Technology*, vol. 22, pp. 1020-1027, 2016.
- [25] J. Xu, R. Houssin, E. Caillaud, and M. Gardoni, «Macro process of knowledge management for continuous innovation,» *Journal of Knowledge Management*, vol. 14, no. 4, pp. 573-591, 2010. Gardelle, L., Mohamed B., Sonia A., and Souad Ajana. «Introduction. Une recherche sur les formations d'ingénieurs au Maghreb face aux enjeux environnementaux.» In *Les formations d'ingénieurs face aux enjeux environnementaux au Maghreb*, pp. 11-24. *Champ social*, 2022.
- [26] Zergout, I., Naga, N., Ajana, S., and Benguerma, M., Chapitre 5. Apport de la collaboration entre les écoles d'ingénieurs et les entreprises dans la dynamisation de l'innovation au service de l'environnement: cas de l'Algérie et du Maroc, In: *Les formations d'ingénieurs face aux enjeux environnementaux au Maghreb*, Nantes: *Champ social*, pp. 131-156, 2022.
- [27] Lemaître, D., and Morace, C., Comment les écoles d'ingénieurs forment-elles à l'innovation ? Etude des curricula de trois écoles françaises, *Formation des ingénieurs à l'innovation*, London: Iste Editions, pp. 211-234, 2018.
- [28] V. B. Gómez-Pablos, M. M. del Pozo, and A. G. V. Muñoz-Repiso, «Project-based learning (PBL) through the incorporation of digital technologies: An evaluation based on the experience of serving teachers,» *Computers in Human Behavior*, vol. 68, pp. 501-512, 2017.
- [29] F. O. Soares, M. J. Sepúlveda, S. Monteiro, R. M. Lima, and J. Dinis-Carvalho, «An integrated project of entrepreneurship and innovation in engineering education,» *Mechatronics*, vol. 23, no. 8, pp. 987-996, 2013.
- [30] C. Alves, F. Moreira, R. Lima, R. Sousa, J. Dinis-Carvalho, D. Mesquita, and N. van Hattum-Janssen, «Project-Based Learning in the first year, the first semester of Industrial Engineering and Management: some results,» in *ASME 2012 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, pp. 111-120, 2012.
- [31] S. Bourgeois-Bougrine, S. Buisine, C. Vandendriessche, V. Glaveanu, and T. Lubart, «Engineering students' use of creativity and development tools in conceptual product design: What, when and how?,» *Thinking Skills and Creativity*, vol. 24, pp. 104-117, 2017.
- [32] CTI, Références et orientations, 2024. <https://www.cti-commission.fr/fonds-documentaire/>.
- [33] Deroussy, P. B., Bouchard, C., and Diakite Kaba, S. A systemic model of creativity to address complexity in design: the state of the art and perspectives, 2015.
- [34] Le Moigne, La modélisation des systèmes complexes, Dunod., Vol. 2, 1999.
- [35] Mullarkey, M. T., & Hevner, A. R. (2019). An elaborated action design research process model. *European Journal of Information Systems*, 28 (1), 6-20.
- [36] Dolbec, A. & Prud'homme, L., La recherche-action. Dans B. Gauthier (dir.), *Recherche sociale: de la problématique à la collecte de données*. Québec: Presses de l'Université du Québec, pp. 505- 540, 2009.
- [37] WIPO, Guide to the International Patent Classification. World Intellectual Property Organization. Switzerland. 2022, <https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo-guide-ipc-2022-en-guide-to-the-international-patent-classification-2022.pdf>
- [38] WIPO, WIPO Handbook on Intellectual Property Information and Documentation. World Intellectual Property Organization. Switzerland. 2024, <https://www.wipo.int/en/web/standards/handbook>.

Le vin, miroir des civilisations: La coupe de l'altérité entre tensions religieuses et représentations interculturelles

[Wine as a Mirror of Civilizations: The Cup of Otherness between Religious Tensions and Intercultural Representations]

Zineb Mabrouk¹ and Naoufal Gorfti²

¹Docteure en Lettres et Professeure de langue française, Lauréate de l'Université Moulay Ismail, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Meknès, Morocco

²Docteur en Lettres et Professeur de langue française, Lauréat de l'Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Dhar El Mahraz, Fès, Morocco

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This article is a study of the chapter « Les Arabes et leur rapport au vin selon les voyageurs occidentaux » by Mohammed Bernoussi, taken from the book *Introduction à l'interculturel*. It analyzes how wine, prohibited in Muslim culture yet sometimes consumed clandestinely, becomes an ambivalent symbol in Western travel accounts from the Middle Ages to the 19th century. Taking an interdisciplinary approach combining anthropology, semiotics, and history, the study highlights the tensions and contradictions that this product evokes. Through this lens, it sheds light on intercultural dynamics and representations of otherness, showing how wine crystallizes both the intriguing subtleties and the recurring stereotypes that characterize the encounter between the Muslim Orient and the Christian West.

KEYWORDS: wine, Islam, travel accounts, dietary prohibitions, interculturality, orientalism, otherness, semiotics.

RESUME: Cet article se veut une étude du chapitre « Les Arabes et leur rapport au vin selon les voyageurs occidentaux » de Mohammed Bernoussi, extrait de l'ouvrage *Introduction à l'interculturel*. Il analyse la manière dont le vin, frappé d'interdit dans la culture musulmane mais parfois consommé clandestinement, devient un symbole ambivalent dans les récits de voyage occidentaux, du Moyen Âge au XIX^e siècle. En adoptant une approche interdisciplinaire mêlant anthropologie, sémiotique et histoire, l'étude met en lumière les tensions et contradictions que ce produit suscite. À travers ce prisme, elle éclaire les dynamiques interculturelles et les représentations de l'altérité, en montrant comment le vin cristallise à la fois les fascinantes nuances et les stéréotypes récurrents qui marquent la rencontre entre l'Orient musulman et l'Occident chrétien. Cristallise à la fois les fascinantes nuances et les stéréotypes récurrents qui marquent la rencontre entre l'Orient musulman et l'Occident chrétien.

MOTS-CLEFS: vin, Islam, récits de voyage, interdictions alimentaires, interculturalité, orientalisme, altérité, sémiotique.

1 INTRODUCTION

Depuis les premières lueurs de l'humanité, le vin s'est fait tour à tour onction sacrée et ferment de discorde. S'écoulant depuis les antiques vignobles d'Iran, où l'on laissait déjà fermenter son jus dans de massives amphores, il a voyagé à travers les âges en s'invitant dans les rituels religieux, les festins des rois et les légendes populaires. Qu'on le célèbre comme un

« nectar divin¹ » ou qu'on le redoute tel un « poison mortel² »; le vin, à la fois sang de la vigne³ et sauvage poison dans l'imaginaire œcuménique, demeure une figure centrale des mythes humains. Par la complexité de ses symboles⁴, il accompagne l'histoire des civilisations, épouse leurs rituels et éclaire la part obscure de leurs tabous. Cette complexité symbolique du vin rejoint plus largement les réflexions récentes sur l'aliment comme marqueur culturel majeur, développées notamment dans les travaux réunis par Mohamed Bernoussi⁵. En effet, la sémiotique alimentaire a clairement mis en lumière que la nourriture et la boisson constituent des systèmes signifiants riches de sens, où chaque élément gastronomique devient un véritable langage, communiquant valeurs, croyances et représentations interculturelles⁶. Dans ce sillage, comprendre le vin à travers la sémiotique revient à explorer non seulement les codes symboliques des sociétés, mais aussi leurs dynamiques historiques, comme en témoignent les études sur la culture culinaire marocaine où se rencontrent influences amazighes, andalouses, juives et moyen-orientales.

Mais de quelle manière la même coupe, louée par certains comme symbole de convivialité, a-t-elle pu apparaître aux yeux de tant de voyageurs occidentaux comme l'emblème d'une « hypocrisie » sarrasine, tout en confortant la prétendue supériorité morale de l'Europe chrétienne ? Des récits médiévaux aux explorations du XIX^e siècle, le vin dépasse la simple curiosité exotique, s'imposant comme un prisme où se reflètent les angoisses, les ambitions et les fantasmes, notamment dans le regard colonial naissant. À travers l'interdit coranique et la tentation qu'il suscite, émerge une subtile partition faite d'incompréhensions mutuelles et de fascination réciproque, comme si un simple breuvage pouvait à lui seul symboliser à la fois la rigueur religieuse et la transgression absolue. Ce paradoxe, profondément ancré dans les préjugés interculturels, rejoint les travaux récents sur les représentations culinaires qui montrent comment les discours alimentaires contribuent à la formation de stéréotypes culturels. Bernoussi (2020)⁷, en s'appuyant sur Umberto Eco, rappelle que les aliments, tels que le vin dans les récits de voyage occidentaux, agissent comme des signes chargés de sens, véhiculant non seulement des jugements implicites sur l'autre mais aussi une série de mythologies culinaires révélatrices de la mentalité de l'observateur. Ainsi, le discours occidental sur le vin interdit par l'islam s'inscrit pleinement dans cette sémiotique des préjugés culturels et révèle les mécanismes par lesquels la nourriture construit ou déconstruit l'altérité. Aujourd'hui la culture du vin est étendue sur l'ensemble du territoire mondial. De nouvelles pratiques au sujet de la fabrication, la consommation, le stockage et l'échange du vin ont vu le jour⁸. Dès lors, une place de choix lui a été réservée, dans pratiquement toutes les sociétés. Celui qui excellait dans l'exercice de la production vinicole était tenu pour l'un des élus divins ayant pour vocation le maniement raffiné du fruit sacré, le raisin. Il nous convient alors de nous poser des questions sur les prétextes explicatifs de la glorification de cette liqueur spiritueuse. La réponse est bien évidemment la suivante: de toutes les boissons vitales, seul le vin est cité récurrentement dans les livres sacrés, et sous l'angle de divergents contextes.

Ces contextes sont soumis à l'examen dans le chapitre intitulé « *les arabes et leur rapport au vin selon les voyageurs occidentaux* », de l'ouvrage *Introduction à l'interculturel*⁹ de son auteur Mohammed Bernoussi, qui met en exergue l'ensemble des statuts contradictoires du vin d'un point de vue socio-religieux, tout en focalisant l'étude sur l'aspect interculturel de ce breuvage qualifié de mystérieux. Ce travail se veut une lecture modeste de ce chapitre, avec pour objectif d'en éclairer certains aspects à la lumière d'analyses complémentaires, dans une perspective sémiotique et interculturelle. En effet, nous partons de la question suivante: dans quelle mesure le vin, pourtant interdit par l'islam, est-il devenu un objet paradoxal dans les récits de voyage occidentaux ? Notre objectif est de comprendre en quoi ce paradoxe, interdiction théorique confrontée à une consommation réelle, alimente chez les voyageurs chrétiens une série de discours contradictoires sur la culture de l'autre, allant de la fascination à la condamnation. En étudiant des témoignages datés entre le Moyen Âge et le XIX^e siècle, nous

¹Poux, Mathieu, dietler, Michael (2004). *Le Vin, nectar des dieux, génie des hommes*. s.l. : Éditions Infolio.

² Binet, A. M. (2021). Le Vin et ses métamorphoses: de la nature à la culture. *Carnets. Revue électronique d'études françaises de l'APEF*, (Deuxième série-21).

³ Albert, J. P. (1988). Le symbolisme du vin dans la liturgie catholique. In *La vigne et le vin, Catalogue de l'exposition "La vigne et le vin"* (pp. 339-342). Cité des Sciences et des Techniques.

⁴ Ghernaoui, Y. (2020). La vigne et le vin, sacrés symboles, par Jean-François Blondel, Oxus, 2020, 224 pages, 18 € La chaîne d'union, 92(2), III-III. <https://doi.org/10.3917/cdu.092.0088c>.

⁵ Stano, S. (2020). La Culture Culinaire Marocaine Sémiotique, histoire et communication. *Edition Capital, Actes du Congrès V de l'Association marocaine de sémiotique textes réunis et établis par Mohamed Bernoussi*, 58-81.

⁶ Fontanille, J., & Zinna, A. (2005). *Les objets au quotidien* (Vol. 2). Presses Univ. Limoges.

⁷ Ibid.

⁸ Roger Dion. *Histoire de la vigne et du vin en France, des origines au XIX^e siècle*. Paris, chez l'auteur, 1959. In: *Annales historiques de la Révolution française*, n°165, 1961. pp. 417-418.

⁹ Bernoussi, M. (2018). Introduction à l'interculturel. *Meknès. Editions Capital Bureau*.

chercherons à montrer que l'évocation du vin, sous la plume des explorateurs et des pèlerins, révèle leur propre vision du sacré, de la moralité et de la « civilisation ». La problématique centrale est donc: dans quelle mesure ces récits construisent-ils ou déconstruisent-ils une altérité musulmane à travers la question du vin ?

L'intérêt de cette recherche est triple. D'abord, sur le plan historique, l'analyse du vin met en évidence la diversité des pratiques (production, consommation, interdiction) dans le monde arabo-musulman, malgré l'idée reçue d'un interdit monolithique. Ensuite, d'un point de vue anthropologique, le vin s'apparente à un marqueur culturel majeur: chaque société utilise la boisson, et l'aliment en général, pour se définir et se distinguer. Enfin, sur le plan interculturel, l'étude des récits de voyage permet de saisir comment l'Occident a construit un imaginaire, souvent négatif, autour de la prétendue « hypocrisie » ou « bestialité » des Sarrasins face à l'alcool. À travers cet exemple, on assiste à une forme de dialogue (ou de non-dialogue) entre deux civilisations, l'une chrétienne, l'autre musulmane, ayant chacune leur rapport au sacré et à la transgression. En effet, Les recherches anthropologiques, sémiotiques et sociologiques récemment menées sur le domaine culinaire ont révélé que l'aliment est l'un des marqueurs fondamentaux de la culture, tout comme la langue¹⁰. Il nous renseigne sur l'identité, la religion et la civilisation des peuples. Le vin « Boisson totem¹¹ » à cet égard, est parmi les aliments culturels dont l'intérêt n'est guère négligeable. Ce qui fonde sa légitimité culturelle est d'abord sa présence massive au cœur de la vie des hommes, partons du principe que là où il y a homme il y a de la culture. Certes, Les auteurs intéressés par l'évolution des sociétés n'ont pas hésité à faire du vin leur guide durant la quête de la découverte du soi et de l'autre. Rappelons que le statut du vin dans un milieu n'est point le même dans un autre¹². Cette diversité au niveau de la manière avec laquelle nous concevons cet aliment nous rappelle la question des « interstices culturelles » du penseur d'origine indienne Homi Bhabha. Il souligne, à travers sa théorie, les manifestations des dissemblances ethniques et comment sont-elles gérées par des comportements individuels ou collectifs. Véritablement, les textes qui ont pu dévoiler le rapport interculturel, dichotomique ou complémentaire, des communautés sont certainement les récits et les manuscrits du voyage. En s'appuyant sur les faits témoignés, force est de constater l'exactitude flagrante avec laquelle tous les éléments socio-culturels, même les plus insignifiants pour nous, sont-ils relatés. Ceci est illustré par l'ensemble des écrits consacrés au vin, une boisson en apparence ordinaire, mais en réalité, il s'agit d'un aliment lourdement chargé de données historiques et culturelles des sociétés. Derrière cette facette superficielle, se tapit toute une histoire mythique sur l'homme et l'humanité¹³. Les auteurs pèlerins, via leurs contes, ont réussi à dépeindre le vin comme une construction sociale ayant pour support la mémoire collective, un système de communication régi par des lois communautaires.

2 LE DISCOURS CULINAIRE ET LA CONSTRUCTION DE L'ALTÉRITÉ

Se pencher sur les textes ayant pour thèmes le discours culinaire sur l'autre émane de la volonté de mettre sous la loupe les constructions mentales et les idées véhiculées au sujet de l'usage du vin dans la culture de l'autre. Cela nous permettrait à la fin, soit à consolider soit à détruire, dans nos cerveaux, les mythes de l'ivresse entendus et en lesquels nous croyons aveuglement, surtout ceux ayant un rapport au plaisir, au corps, à la jouissance et à l'interdit. Puisque la littérature du voyage s'inspirait amplement de la littérature religieuse, autrement dit de textes sacrés. Le vin s'impose alors comme aliment religieux étant donné qu'il est évoqué alternativement dans le Coran comme dans la Bible, le premier texte le condamne et le second le glorifie. Les récits du voyage, à partir du XVI^e siècle, après les révolutions culturelles et socio-économiques déclenchées en Europe, les portes des sociétés s'ouvrent laissant ainsi entrer le vent de l'autre avec ses différences et son ambiguïté. La littérature du vin n'est pas restée indifférente, les écrivains européens ont été frappés par le statut complexe de cette boisson dans la société des Sarrasins¹⁴. Dans le même sens, l'ecclésiastique français Louis de Rochechouart relate au cours de ses écrits un épisode bien significatif:

« Au moment de l'offertoire, le père gardien nous fit de nombreuses recommandations... concernant les périls rencontrés habituellement par les pèlerins, il allait de soi que nous devions nous déplacer tous

¹⁰Stano, S., & Jean-Jacques, B. (2015). L'alimentation entre identité et altérité: Le Soi et l'Autre sous différents régimes. *Lexia*, 19, 99-115.

¹¹ Barthes, R. (2002). *Mythologies* (Oeuvre originale publiée en 1957). Dans É. Marty (Ed.), *Œuvres complètes : Livres, textes, entretiens*, 1942–1961 (Vol. 1). Paris : Seuil.

¹² Bérard, L., & Marchenay, P. (1995). *Lieux, temps et preuves. La construction sociale des produits de terroir* (No. 24, pp. 153-164). Association Terrain.

¹³ Oliveira, A. B. D., Soares, M. L., & Amarante, M. N. (2021). Éditorial. Arts du Vin: gestes d'écriture et d'alchimie. *Carnets. Revue électronique d'études françaises de l'APEF*, (Deuxième série-21).

¹⁴ Appellation donnée, durant le Moyen-Age en Europe, aux peuples de confession musulmane.

*ensemble en prenant garde à nos bourses, et que nous devons cacher notre vin, parce que les Sarrasins l'apprécient beaucoup*¹⁵.»

D'après l'auteur, les pèlerins, pendant l'une des parties de la messe¹⁶, sont guidés par « le père gardien ¹⁷ ». Ce dernier leur prodigue des conseils afin de prévenir les dangers imprévus sur leur chemin. Ils devraient notamment être prudents face aux Sarrasins qui pourraient s'emparer de leurs provisions de vin. À travers cette scène, il importe de souligner la dimension rituelle de l'offertoire, moment charnière entre l'espace sacré et la réalité concrète du voyage. Cela dit, les recommandations du père gardien ne relèvent pas seulement d'un souci de sécurité matérielle, elles traduisent aussi la circulation de récits et de peurs collectives à l'égard de l'Autre. Cependant, se déplacer en groupe apparaît, en occurrence, comme un geste protecteur, mais également comme une réponse à la perception du danger, alimentée autant par l'expérience que par la tradition orale et écrite des voyageurs chrétiens. Ce qui suscite l'intérêt des voyageurs, et les mène à s'informer sur ce fait, c'est l'action jugée inexplicable des Sarrasins. Que veulent-ils faire de cette boisson, sachant qu'ils sont punis en cas de possession ou de consommation ? La position de la confession musulmane vis-à-vis du vin est bien claire puisqu'il est strictement interdit de produire, boire, vendre ou acheter cette liqueur.

Cette perplexité suscite un véritable étonnement ethnographique, amenant les voyageurs à interroger leurs propres schémas d'interprétation et à s'interroger sur la réalité des pratiques musulmanes. La consommation de vin par les Sarrasins peut ainsi être lue comme un interstice dans l'édifice normatif religieux, un espace de tension où se révèle la complexité de la vie quotidienne face aux prescriptions doctrinales. L'ambiguïté du regard occidental se manifeste alors dans une oscillation permanente entre fascination pour la transgression et suspicion envers la sincérité de l'engagement religieux des musulmans. Effectivement, on est confronté à une situation paradoxale par excellence. Les Sarrasins ne nient en aucun cas leur dévouement à la religion, sauf que la transgression de l'une des conventions primordiales de la religion les met en question et incite les Occidentaux à se douter de leur fidélité religieuse. L'expression « l'apprécient beaucoup » souligne un détail remarquable. A vrai dire, ces Arabes ne se contentent pas seulement de ne pas se priver du vin malgré son interdiction, mais plus encore, ils affichent une vénération particulière à son égard. Pour s'en procurer, ils en viennent parfois à commettre un autre acte prohibé par la religion, considéré comme encore plus grave : le vol. Dans ce contexte, la tendance à bestialiser l'Autre paraît alors, aux yeux des voyageurs, presque justifiée, c'est dans ce sens que ce regard accusateur trouve une forme d'illustration concrète dans les propos des voyageurs :

« Les Sarrasins qui habitent en Syrie, en Egypte, en Berbérie et jusqu'à l'Asie Mineure sont des gens bestiaux. Ils servent la loi de Mahomet et le Coran. Cependant contrairement à leur loi, ils boivent du vin, j'en ai vu plusieurs le faire, quand ils n'ont pas de vin, ils font bouillir des raisins qu'ils ont en grande abondance, et avec lesquels ils font un assez bon vin. 18. »

Le regard dépréciatif que portent les Occidentaux sur les peuples de confession musulmane est tributaire ici au lien paradoxal et absurde qu'ils entretiennent avec cet aliment. Cela nourrit progressivement la curiosité des voyageurs. Alors, pour assouvir la soif du savoir, ils creusent le sillon des bibliothèques de référence orientales, en vue de trouver des explications à l'interdiction de l'aliment en question. Selon des supports antiques, le prophète Mahomet fut piégé par des moines jaloux qui décident de lui servir du vin jusqu'à l'état de l'ivresse, puis procèdent à tuer quelqu'un avec son épée. En se réveillant, il trouve l'arme ensanglantée. Convaincu d'être l'auteur du crime, il annonce la promesse de ne plus consommer le vin ainsi que ses adeptes¹⁹.

À cette fable vient s'ajouter une autre légende marquante, issue de la littérature populaire arabo-musulmane, impliquant les personnages mythiques Haruth et Maruth, deux anges chargés par Dieu d'instruire l'humanité et d'établir une morale fondée notamment sur l'interdiction du vin, du meurtre et du jugement injuste. Dans cette narration, la figure féminine occupe un rôle décisif : une femme particulièrement séduisante, confrontée à un litige conjugal, invite les deux anges à dîner, espérant obtenir leur soutien. Manipulés par sa beauté et affaiblis par l'ivresse provoquée par le vin offert, Haruth et Maruth lui révèlent

¹⁵ Louis de Rochechouart, cité par Bernoussi Mohamed dans *Introduction à l'interculturel*. Page 87.

¹⁶ Rite catholique qui commémore la mort de Jésus-Christ.

¹⁷ Dans Bernoussi, M. (2017). Le père gardien faisait à l'époque le travail d'un guide touristique de notre époque chargé de la logistique mais aussi de la sécurité des pèlerins.

¹⁸ Louis de Rochechouart, cité par Bernoussi Mohamed dans *Introduction à l'interculturel*. Page 87.

¹⁹ Voir Bernoussi, M. (2017). LE PARADOXE DU VIN SELON LES VOYAGEURS OCCIDENTAUX. *TICS*, 897.

alors imprudemment les secrets interdits de la magie noire, transgressant ainsi doublement leur mandat divin. Cette transgression entraîne un châtement immédiat, symbolisant la gravité des actes commis sous l'emprise de l'alcool.

Cette légende illustre explicitement la dimension religieuse et symbolique de l'interdit culinaire tel que conceptualisé initialement par Mary Douglas (1966). Douglas souligne en effet que les prohibitions alimentaires établissent clairement les limites symboliques entre ce qui est permis et ce qui est interdit, entre le pur et l'impur, contribuant de manière structurante à l'élaboration des identités religieuses et culturelles. Mohamed Bernoussi (2020), prolongeant cette réflexion par une approche sémiotique interculturelle, affirme que le vin, dans les récits de voyage occidentaux, ne constitue pas simplement un objet de description ethnographique ou morale, mais devient un puissant signe chargé de significations multiples et complexes. Selon Bernoussi, qui s'appuie notamment sur les travaux d'Umberto Eco, les aliments et boissons agissent comme des vecteurs sémiotiques subtils capables d'articuler tensions et paradoxes culturels. Dans ce contexte précis, le vin cristallise les conflits entre interdiction religieuse et pratique effective, entre sacré et profane, entre fascination occidentale pour l'altérité et stratégie de construction identitaire basée sur une représentation négative de l'Autre.

Cette dualité symbolique et culturelle du vin est donc centrale: tandis que dans l'islam il symbolise la transgression absolue, dans le christianisme il incarne à la fois le sacré et le rituel. Le récit de Haruth et Maruth est ainsi révélateur d'une représentation sémiotique interculturelle particulièrement riche, montrant comment les voyageurs occidentaux, à travers leur évocation du vin, participent implicitement à la définition d'une identité occidentale vertueuse en contraste avec un Orient imaginé comme ambigu, transgressif et moralement instable. Ainsi, l'interdit du vin et sa transgression racontés dans ces récits légendaires deviennent bien plus que des anecdotes moralisatrices; ils constituent de véritables dispositifs discursifs où s'opère, de manière subtile mais puissante, la construction interculturelle du Soi et de l'Autre.

De ces récits et légendes évoqués plus haut, il ressort que le vin est perçu, dans l'imaginaire arabo-musulman, comme une boisson maudite, dans le sens où, toute personne qui entrerait en contact avec lui serait en quelque sorte exclue de sa communauté religieuse. Dans cette perspective, les voyageurs occidentaux attribuent souvent à la viticulture et à la consommation de vin dans le monde arabo-musulman une connotation profondément négative, liée à l'hypocrisie, à l'excès et à la débauche. Ce jugement contraste fortement avec l'image du vin dans la tradition chrétienne, où, notamment dans la Bible, le vin occupe une place toute différente. Là où, dans le Coran, il est symbole d'interdit et de perdition, dans la Bible, le vin peut revêtir un caractère sacré, associé au culte et aux rites liturgiques, et se parer ainsi d'une aura spirituelle. Pourtant, la tradition biblique n'ignore pas pour autant les dangers que peut représenter la boisson : la célèbre mise en garde « Le vin est moqueur, la boisson forte est tumultueuse, et quiconque s'y égare n'est pas sage ²⁰ » rappelle la frontière toujours fragile entre usage sacré et dérive profane.

La question de la libation illustre bien ce paradoxe, ce rituel chrétien consiste à offrir une boisson, le plus souvent du vin, à la divinité, en versant quelques gouttes sur le sol ou sur un autel²¹. Ce geste, à la fois sacrifice et marque de dévotion, montre combien le vin, selon les contextes culturels et religieux, peut être investi de sens contradictoires, à la fois maudit et sacré, proscrit ici, célébré là. Les topos religieux révélés par les explorateurs du monde arabe cèdent la place au discours laïque. L'interdit culinaire s'avère cette fois-ci une affaire de coutumes sociétales qui ne se reporte en aucun cas à la religion, dans le sens où un aliment interdit dans la culture d'une communauté est autorisé chez une partie de la même communauté. Le cas de Jérusalem paraît un exemple pertinent. Sur la Terre sainte, le berceau de la civilisation, des gens de différentes races se sont côtoyés harmonieusement, en dépit de leur dissemblance. Leurs habitudes culinaires sont décrites ainsi:

« Les Druses²² habitent entre Rac et Beyrouth. Ils ne croient pas en Mahomet mais en l'Evangile et ne mangent pas la viande de porc; on les appelle Sarrasins. Ils ont une religion secrète sur laquelle ils ne veulent pas s'étendre. Ils boivent du vin ouvertement. ²³ »

La viticulture turque n'a pas échappé à la prospection occidentale, dont les conclusions déduites n'étaient pas soumises à un paradigme de critique objectif. A côté des commentaires, les préjugés font leur apparition. En Turquie, c'est type de Bière local appelé la « posca » qui emporte l'appréciation de la population. Ce que critique Galland²⁴ dans le cas présent c'est la contradiction inexplicable de l'attitude des Turcs qui procèdent à la préparation de la « posca », par contre, quand il s'agit du

²⁰ Rousseau, J. Le vin et la Bible.

²¹ Sorte de table où l'on célèbre la messe.

²² Une communauté religieuse musulmane habitant la montagne el Druze, en Syrie.

²³ Louis de Rochechouart, cité par Bernoussi Mohamed dans *Introduction à l'interculturel*. Page 90.

²⁴ Galland Antoine. Spécialiste français de manuscrits.

vin, ils optent pour l'importer. Ils ne sont pas gênés par sa consommation mais plutôt par sa fabrication. Suite à l'accroissement des échanges économiques entre les pays, les peuples du Moyen-Orient découvrent de nouvelles boissons « spirituelles », bénéfiques et n'engendrent aucun danger. En fait, tout l'intérêt accordé au vin fut orienté vers le café, à partir du XVII^e siècle. Le discours, face à ces conditions, subira une métamorphose radicale. Il était adapté à la critique du nouveau support. Par opposition au vin, le café est mis en valeur. Les témoignages le qualifient de « médiateur idéologique » et de « stimulus naturel ». L'une des formules efficaces contribuant à l'épanouissement des relations humanitaires, le café grâce aux occasions dans lesquelles il est servi, il devient le vecteur de certaines valeurs telles que la philanthropie, la solidarité et la tolérance.

3 LE VIN DANS LES RÉCITS DE VOYAGEURS DU XVIII^e ET XIX^e SIÈCLE

Arrivant au XVIII^e siècle, le vin revient avec force pour peupler de nouveau les manuscrits des voyageurs. William Lemprière, médecin anglais, ayant côtoyé de près les Marocains pendant son séjour au Maroc, indique du doigt leur gourmandise. Boire ou manger, ils les font avec boulimie. Le médecin ne trouve pas d'explication rationnelle à ce fait. Quant au vin, lorsqu'il est consommé avec avidité, il augmente chez eux, l'appétit sexuel. Sans éclaircir comment ou pourquoi, les deux actes, pour lui, vont de pair. Au XIX^e siècle, nous assistons à la coexistence des Juifs et des Marocains sous le drapeau du Maroc. La loi du pays autorisait aux Juifs seuls, la production et la vente du vin. Dans les cabarets de « Mellah²⁵ », se croisaient deux cultures, celle des Fassis et des Juifs. Sous l'effet de la « Maia²⁶ » ils oublient l'hétérogénéité de leurs histoires. Les voyageurs, pour décrire cette eau de vie, recourent aux périphrases « liqueur²⁷ extravagant » et « attrait mystérieux » qui illustrent son goût et sont effet fabuleux. Dans d'autres contextes, lors des soirées de diversion organisées par les Marocains, le vin était lié au libertinage, au plaisir et à l'immoralité. Les nuits animées par les danseuses traditionnelles et les breuvages alcooliques de toute sorte ne pourraient que faire de la religion de Mahomet un mythe oublié.

Si la bibliothèque reflète l'histoire d'une vie, le vin reflète l'histoire des vies. Saturé de sens, les voyageurs occidentaux décident d'en faire l'objet de leur quête. L'originalité de leurs manuscrits, au-delà des préjugés et des stéréotypes véhiculés, réside dans le raisonnement comparatif adopté pour étudier soigneusement les différents statuts du vin, selon un certain nombre de cultures, suivant les deux approches diachronique et synchronique. Il est question de découvrir le rapport interculturel des sociétés, par le biais de l'aliment. Les récits de voyage ont fait du vin un marqueur d'identité et de démarcation culturelle. Ils ont analysé scrupuleusement tous les éléments qui permettent à quiconque d'associer un tel comportement alimentaire à une telle culture ou religion, commençant par les variétés de la boisson en question (la Posca, la Bière, le Tord-boyaux ou la Maia...), passant par les milieux et les conditions de sa fabrication, pour arriver aux catégories de consommateurs. Cette dimension historique de l'aliment rejoint aussi les analyses historiographiques récentes, telles qu'exposées lors du congrès sur la culture culinaire marocaine (Bernoussi, 2020). En effet, la sémiotique historique de l'alimentation montre que les aliments et les boissons sont non seulement des témoins mais aussi des acteurs de l'histoire, capables de révéler comment certaines pratiques culinaires évoluent, disparaissent ou resurgissent à travers les époques. Dans cette perspective, l'histoire culturelle du vin, étudiée dans les récits des voyageurs européens, se comprend comme une manifestation de changements plus profonds liés à l'expansion coloniale, à la rencontre des cultures et aux dynamiques économiques. L'intérêt des voyageurs pour les pratiques vinicoles interdites en contexte musulman reflète ainsi une tentative de compréhension autant qu'une volonté de domination symbolique. Au-delà de ce constat historique et de la riche symbolique religieuse qui entoure le vin, il importe de souligner sa capacité à agir comme un révélateur d'interactions sociales et de rapports de pouvoir. En effet, la vigne et son précieux breuvage ne sont pas seulement le reflet des croyances, des coutumes ou des interdits ; ils constituent également un prisme au travers duquel peuvent se lire les hiérarchies sociales, les échanges commerciaux et les alliances politiques. De la même manière que le vin se bonifie ou se corrompt selon les procédés de vinification, les discours à son sujet se transforment, parfois jusqu'à la caricature, au gré des représentations que s'en font ceux qui le commentent ou le consomment. Ainsi, les récits de voyage occidentaux témoignent autant de curiosité sincère que de jugements hâtifs, révélant dans leur sillage une mosaïque d'opinions qui, mises bout à bout, dessinent une cartographie complexe de la rencontre interculturelle (McGovern, 2003).

Dans cette optique, il s'avère essentiel de dépasser la simple dichotomie entre interdiction coranique et fascination chrétienne pour appréhender pleinement la pluralité des pratiques et des perceptions. Le vin, objet tour à tour sacré, festif, politique ou transgressif, acquiert une puissance sémiotique particulière dès lors qu'il circule d'un espace culturel à un autre.

²⁵ Quartier juif au Maroc.

²⁶ Sorte d'eau de vie.

²⁷ Boisson spiritueuse résultant de la macération de fruits et de plantes dans l'alcool.

Les voyageurs européens, tout en soulignant l'interdit religieux que professent les sociétés arabo-musulmanes, participent malgré eux à la circulation d'images contradictoires : entre la soumission stricte à la loi coranique et les « écarts » qu'ils observent, ils construisent un discours de l'autre souvent empreint de fascination autant que d'incompréhension. Comme l'a montré Edward Said, la création d'un « Orient imaginaire » repose souvent sur des généralisations hâtives et des stéréotypes (Said, 1978). C'est cette dialectique entre attraction et réprobation, entre connaissance et stéréotype, qui fait du vin un pivot central de l'analyse interculturelle et une clé de lecture privilégiée pour comprendre les tensions et les rapprochements qui s'opèrent entre l'Orient et l'Occident.

Dans la lignée de l'approche postcoloniale, Homi Bhabha souligne d'ailleurs l'importance des « interstices culturels », ces espaces de négociation où se mêlent et se réinventent les identités (Bhabha, 1994). Le vin, dans son statut ambigu de boisson à la fois proscrite par le texte coranique et néanmoins consommée, ou du moins convoitée, par une partie de la population, incarne précisément ce lieu de tension où les repères culturels vacillent. Loin d'être simplement un breuvage, il devient un trait d'union paradoxal : un objet de fascination pour les uns, de transgression pour les autres, et plus largement un miroir révélateur du rapport complexe qu'entretiennent les voyageurs avec l'altérité.

4 CONCLUSION

Par l'analyse du rôle symbolique et pragmatique du vin dans les sociétés arabo-musulmanes, tels que perçus par des voyageurs occidentaux, se révèle toute l'ambivalence entourant ce breuvage aux connotations à la fois sacrées et prohibées. De l'objet de vénération au motif de condamnation, le vin apparaît comme un miroir révélateur des tensions interculturelles, puisqu'il cristallise les questionnements relatifs à l'identité, à la morale et aux rapports de domination. Les multiples témoignages étudiés montrent qu'autant il peut susciter la curiosité voire l'admiration, autant il nourrit la perpétuation de stéréotypes et de jugements moralisateurs, façonnant ainsi les images d'un « Orient » alternativement idéalisé et décrié. Loin de se limiter à une simple opposition entre l'interdit religieux et la permissivité chrétienne, le vin devient un véritable espace de négociation, où se superposent pratiques, croyances et stratégies de distinction sociale. Les traces mythologiques, religieuses et sociales associées à l'alcool rejoignent de ce fait des enjeux aussi bien politiques qu'économiques : on y voit comment la production, l'échange et la consommation de ce breuvage servent de prisme à travers lequel s'élaborent, ou se contestent, les représentations réciproques de l'Orient et de l'Occident. Ainsi, la pluralité des expériences rapportées invite à dépasser les schémas simplificateurs pour observer, avec plus de nuance, comment le vin agit comme un agent de reconfiguration des relations interculturelles, à la fois objet de fascination et symbole de transgression.

En définitive, intégrer la perspective sémiotique interculturelle permet de mieux saisir les mécanismes complexes par lesquels un aliment ou une boisson se transforme en système de communication culturelle. Comme le souligne Bernoussi, étudier la cuisine, et particulièrement le vin dans notre cas, sous l'angle sémiotique revient à révéler les multiples strates de signification qui traversent nos représentations interculturelles, nos préjugés, mais aussi nos mythes culinaires. À travers l'exemple du vin interdit en contexte musulman, nous comprenons mieux comment se construisent des frontières symboliques et comment se négocient des identités dans les espaces d'interactions culturelles, faisant ainsi du vin non seulement un simple produit de consommation, mais une véritable clé de compréhension interculturelle.

REFERENCES

- [1] Albert, J. P. (1988). Le symbolisme du vin dans la liturgie catholique. Dans *La vigne et le vin, catalogue de l'exposition « La vigne et le vin »* (pp. 339-342). Cité des Sciences et des Techniques.
- [2] Barthes, R. (2002) [1957]. *Mythologies*, dans Œuvres complètes: Livres, textes, entretiens, 1942-1961 (tome 1), édition présentée par Éric Marty. Paris: Seuil.
- [3] Bérard, L., & Marchenay, P. (1995). Lieux, temps et preuves. La construction sociale des produits de terroir. *Terrain*, (24), 153-164.
- [4] Bernoussi, M. (2014). Viator in Tabula. Sémiotique de l'interculturel culinaire dans les récits de voyage. Fès: Postmodernité.
- [5] Bernoussi, M. (2017). Le paradoxe du vin selon les voyageurs occidentaux. *TICS*, 897.
- [6] Bernoussi, M. (2018). *Introduction à l'interculturel*. Meknès: Éditions Capital Bureau.
- [7] Binet, A. M. (2021). Le vin et ses métamorphoses: de la nature à la culture. *Carnets. Revue électronique d'études françaises de l'APEF*, (Deuxième série-21).
- [8] Dion, R. (1961). Histoire de la vigne et du vin en France, des origines au XIXe siècle. *Annales historiques de la Révolution française*, 165, 417-418.
- [9] Fontanille, J., & Zinna, A. (2005). *Les objets au quotidien* (Vol. 2). Presses universitaires de Limoges.

- [10] Galland, A. (2002) [1678]. *Voyage au Levant*, texte établi et annoté par Frédéric Bauden. Paris: Chandeigne.
- [11] Ghernaouti, Y. (2020). La vigne et le vin, sacrés symboles, par Jean-François Blondel. *La chaîne d'union*, 92 (2), III-III. <https://doi.org/10.3917/cdu.092.0088c>.
- [12] La Roque, J. de. (1714). Voyage de l'Arabie heureuse par l'océan oriental, fait par les Français pour la première fois dans les années 1708, 1709 et 1710. Amsterdam: Stenhouwer et Uytwerf.
- [13] Oliveira, A. B. D., Soares, M. L., & Amarante, M. N. (2021). Arts du vin: gestes d'écriture et d'alchimie. *Carnets. Revue électronique d'études françaises de l'APEF*, (Deuxième série-21).
- [14] Piloti, E. (1997) [1420]. Traité d'Emmanuel Piloti sur l'Égypte et les moyens de conquérir la Terre sainte, édition établie par Danielle Régner-Bohler, dans *Croisades et pèlerinage*. Paris: R. Laffont.
- [15] Poux, M., & Dietler, M. (2004). *Le vin, nectar des dieux, génie des hommes*. s.l.: Éditions Infolio.
- [16] Prudhomme, C. (2016). Interdits alimentaires, religions, convivialité: Dis-moi ce que tu ne manges pas, je te dirai ce que tu es ? *Histoire, monde et cultures religieuses*, 39 (3), 113-144. <https://doi.org/10.3917/hmc.039.0113>.
- [17] Rochechouart, L. de. (1997) [1461]. Journal de voyage à Jérusalem, traduit du latin par Béatrice Dansette, Revue de l'orient latin, dans *Croisades et pèlerinage*. Paris: R. Laffont.
- [18] Rousseau, J. (s.d.). *Le vin et la Bible*. Disponible sur: <https://ebpa-publications.org/wp-content/uploads/2022/08/le-vin-et-la-bible-jean-rousseau-2022.pdf>
- [19] Semeonis, S. (1997) [1330]. Le Voyage de Symon Semeonis, traduit par Christiane Deluz, dans *Croisades et pèlerinage*. Paris: R. Laffont.
- [20] Stano, S. (2020). La culture culinaire marocaine: sémiotique, histoire et communication, textes réunis par Mohamed Bernoussi, *Actes du Congrès V de l'Association marocaine de sémiotique* (pp. 58-81). Éditions Capital.
- [21] Stano, S., & Boutaud, J.-J. (2015). L'alimentation entre identité et altérité: Le Soi et l'Autre sous différents régimes. *Lexia*, 19, 99-115.
- [22] Taraud, J. et J. (1930). *Fès ou les bourgeois de l'Islam*. Paris: Plon.

Comparative study of different germination tests to determine the germinative vigor of seeds of five cowpea varieties popularized in Burkina Faso

Sakande Boureima¹, Sidibe Hamadou², and Ouedraogo Daouda²

¹Laboratoire Biosciences, Unité de Formation et de Recherche en Sciences de la Vie et de la Terre, Université Joseph KI-ZERBO, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso

²Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA Saria), Laboratoire de Génétique et de Biotechnologie végétales, Ouagadougou, Burkina Faso

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: *Aims:* Seed is the first basic input in agriculture, which is why seed production remains a key sector in a country's agricultural development. However, germination capacity is extremely important in the context of seed exchange. The aim of this study is to evaluate the seed quality of five cowpea varieties.

Methodology: One hundred (100) seeds of five cowpea varieties (Issa SOSSO, Neerwaya, Makoyin, Teeksongo and Yipoussi) were germinated in three germination tests (field test, Petri dish test and pot test). For this purpose, an Alpha design device with one repetition and five elementary plots for the germination test in open ground; 20 Petri dishes for the germination test in Petri dishes and 25 pots for the germination test in pots, were used to set up the various tests. Parameters such as germination rate, average germination time and seedling vigor were collected.

Results: The results showed that the Issa SOSSO variety performed best in terms of germination rate (100%) in Petri dishes, while the Yipoussi variety performed best in pots (91%) and in the field (94%). In addition, a good germination capacity ranging from 88% to 100% in Petri dishes, from 59% to 91% in pots and from 60% to 94% in the field was observed in this study. However, the results of this work showed that the germination test in Petri dishes is the best method for testing the germinative vigour of seeds.

Conclusion: On the other hand, the best seedling vigor performances were observed in pots and in the field. The good germinative capacity of seeds of the different varieties (>50%) observed could help boost cowpea production in Burkina Faso.

KEYWORDS: Seed, variety, cowpea, germination, production, Burkina Faso.

1 INTRODUCTION

The agricultural sector is the main source of employment and income for over 80% of the working population. Despite its role in the country's economy, the agricultural sector is faced with numerous socio-economic, abiotic and biotic constraints, including insect pests, pathogens, climatic hazards and soil poverty. In addition to these constraints, there is the quality of the inputs used in production. Among these inputs, quality seed is of paramount importance. Seed is the first basic input in agriculture, which is why its production remains a key sector in a country's agricultural development. Seed has intrinsic values that require special care to ensure a certain level of production fidelity, even if only for a defined period. However, germination capacity is extremely important in a seed exchange context. With this in mind, this study aims to assess the seed quality of five cowpea varieties. Specifically, the aim is to evaluate for each variety: i) germination performance; ii) seedling vigor.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 STUDY MATERIALS

2.1.1 PRESENTATION OF THE STUDY SITE

The center's environmental and agricultural research department is the site where our internship took place. It is located in the village of Saria, 23km from Koudougou. The research site covers an area of 400 ha. The village of Saria is located according to the following geographical coordinates: 12°16 North altitude, 2°09 West longitude and approximately 300m above sea level. It is bordered to the east by the village of NIANGODOGO (7km), to the west by the village of VILLY (3km), to the south by the village of GODIN (2km) and to the north by the village of NANDIALA (7km). The location map of the Saria research station is shown in figure 1.

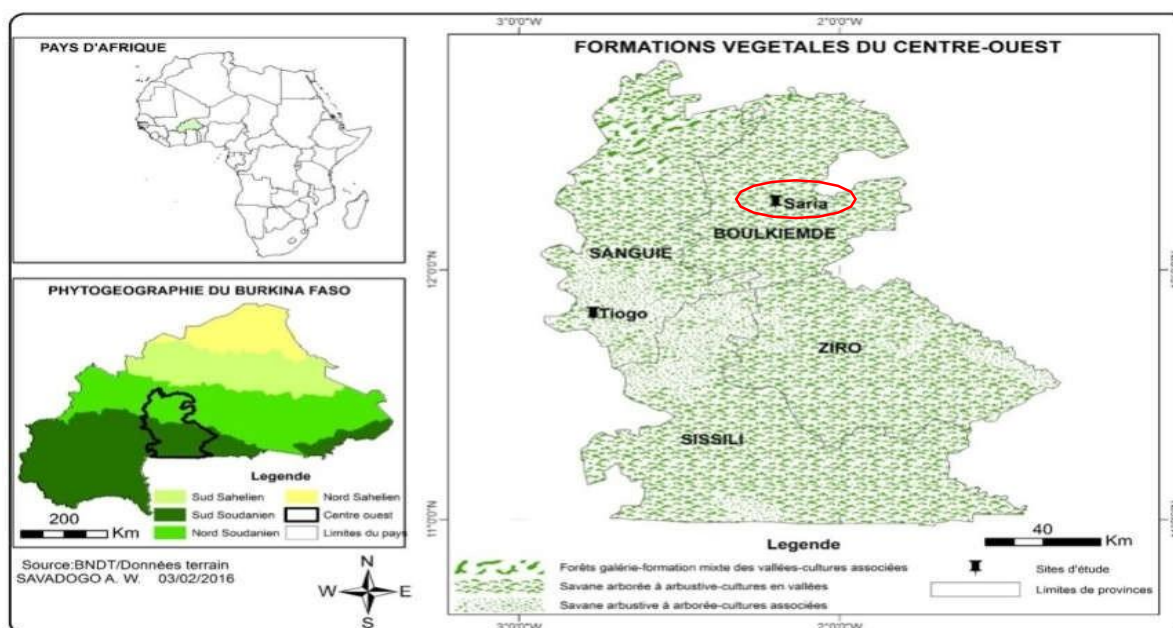


Fig. 1. Location map of the Saria research station

2.1.2 PLANT MATERIAL

The plant material used for the study is composed of five (05) cowpea varieties popularized in Burkina Faso (Figure 1). These different seeds are from the 2021 crop year and are stored in the germplasm of the protein crop program.

They are distinguished by their phenological and agronomic characteristics.

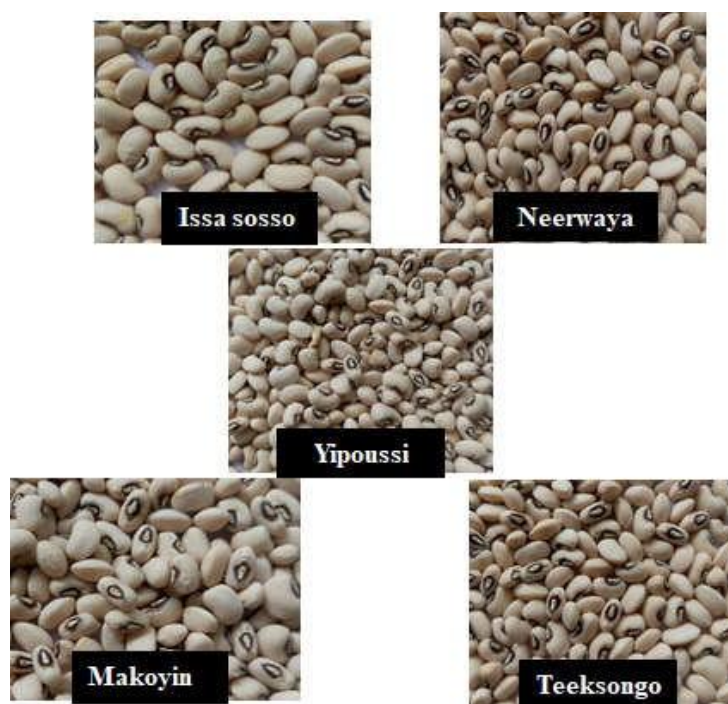


Fig. 2. Varieties used in the study

2.2 METHODOLOGY

Three germination test methods are used in this study:

Germination test in Petri dishes: 100 seeds of each variety are divided into 04 batches of 25 seeds. Each batch is germinated in five (05) Petri dishes, one per variety, for a total of 20 Petri dishes for the germination test (figure 3). Absorbent paper (lotus) is placed in each Petri dish, and batches of 25 seeds are placed on the water-soaked paper without touching each other, and left in a laboratory at room temperature. The moisture content of the paper is checked by observation, and water is added if it is dry. The number of germinated seeds is counted every day for approximately fourteen (14) days, the duration of the germination test.

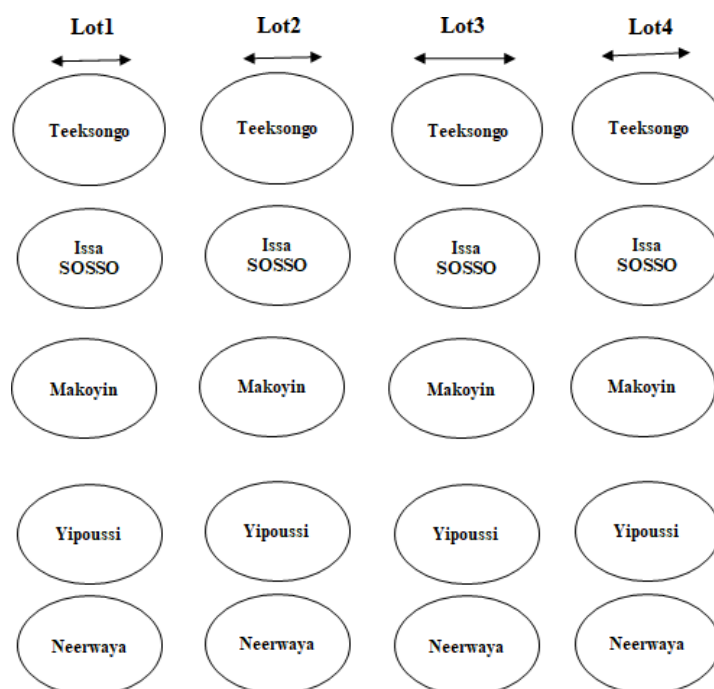


Fig. 3. Petri dish arrangement

Germination test in pots: The germination test was carried out in the middle of the agricultural season.

(01) volume of sand and two (02) volumes of soil. The mixture was then homogenized and filled into twenty-five (25) pots. The pots were divided into five (05) batches. Each batch comprises five (05) pots, one per variety, i.e. a total of five

(05) pots per variety for germination testing. One hundred (100) seeds of each variety were sown at a rate of twenty (20) seeds per pot (figure 4). The pots were pierced at the bottom to facilitate infiltration, and then placed under a greenhouse with a screened roof, alternating day and night, and regularly watered with the same quantity of water in the event of dry spells. The number of germinated seeds was counted every day for around fourteen (14) days, the duration of the germination test.

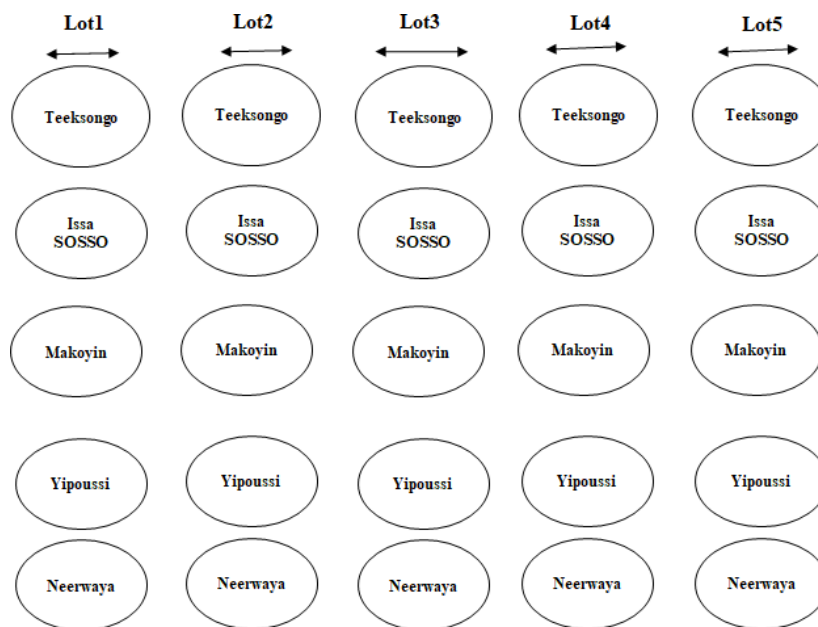


Fig. 4. Pot arrangement

- **Test germination in the field:** After ploughing and levelling, the various elementary plots were delimited and labelled. Five (05) elementary plots were delimited, with one (01) elementary plot per variety. Each elementary plot is 0.8 m x 2 m, i.e. a surface area of 1.6 m. The spacing between elementary plots is 0.4 m (figure 9). Sowing was carried out immediately after labelling, with five (05) 2m lines sown in each elementary plot. The spacing between lines was 20cm and 10cm between bunches, with one (01) seed per bunch for a total of 20 seeds per line and one hundred (100) seeds in each elementary plot. Plot maintenance is based essentially on maintaining humidity. Weeding was carried out when necessary. Observations on the number of germinated seeds were made daily and lasted 14 days, the duration of the germination test. The activities involved in setting up the system and sowing the seeds are shown in figure 5.

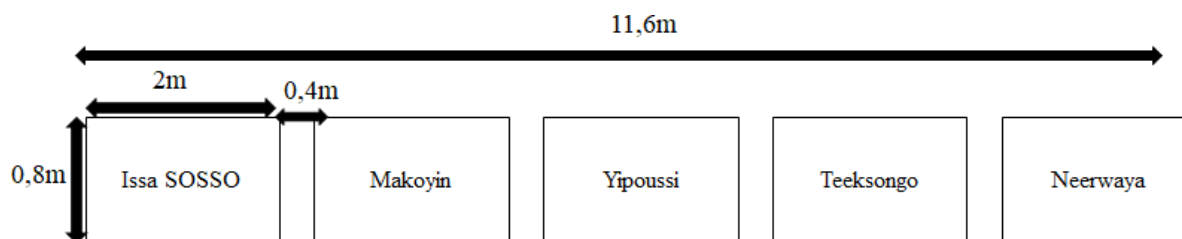


Fig. 5. open-ground system

Data collection

The following parameters were collected:

- **Germination rate (TG):** this is the ratio of the number of germinated seeds to the number of germinated seeds.

$$TG (\%) = \frac{\text{number of germinated seeds} \times 100}{\text{number of germinated seeds}}$$

Average germination time: this is the time it takes for the seeds to germinate, calculated using HARRINGTON's formula:

$$T_{\text{moy.germ.}} = \frac{N_1T_1 + N_2T_2 + \dots + N_nT_n}{\sum N_i}$$

Legend: N1: number of seeds germinated between T0 and T1; N2: number of seeds germinated between T1 and T2.

- **Seedling vigor:** this parameter is based essentially on observation of the uniformity of growth and sturdiness of seedling stems of different varieties after two weeks.

3 RESULT

3.1 VARIATION IN GERMINATION RATE OF VARIETIES ACCORDING TO DIFFERENT TESTS

The germination rate results for different varieties are shown in Table I. The germination rate of the varieties varied according to the germination test. For example. For the Petrie dish test, the Issa SOSSO variety performed best (100%) compared with the Neerwaya variety (88%);

For the test in pots and in the open ground, the Yipoussi variety recorded the highest average values, with 91% compared with the Teeksongo variety (59%) in pots; and 94% compared with the Mokoyin variety (60%) in the open ground. Figure 6 shows germination in relation to the different tests (figure 6)

Table 1. Variation in germination rate according to germination tests

Varieties	Test in Petri dishes	Test in pots	Test in open ground
Issa SOSSO	100	65	70
Makoyin	90	73	60
Neerwaya	88	76	86
Teeksongo	91	59	92
Yipoussi	98	91	94



Fig. 6. Seed germination according to different tests

Legend: A: germination in pots; B: germination in Petri dishes; C and D: germination in open

3.2 VARIATION IN MEAN GERMINATION TIME ACCORDING TO DIFFERENT TESTS

Table II shows the average germination time of the varieties according to the germination tests. The Yipoussi variety took less time (1.27 days) to germinate in Petri dishes than the Issa SOSSO variety (1.52 days). On the other hand, the Teeksongo variety took less time (4.34 days) to germinate in pots than the Neerwaya variety (4.61 days). In the open ground, however, Neerwaya germinated the fastest (3.81 days), compared with Issa SOSSO.

Table 2. Variation in average germination time according to germination tests

Varieties	Test in Petri dishes	Test in pots	Test in open ground
Issa SOSSO	1,52	4,43	4,1
Makoyin	1,37	4,42	4
Neerwaya	1,43	4,61	3,81
Teeksongo	1,41	4,34	4,07
Yipoussi	1,27	4,4	4,05

3.3 SEEDLING VIGOUR IN RELATION TO GERMINATION TESTS

Seedling vigor varied according to germination test (Table III). The Neerwaya variety had very good seedling vigor in all tests; the Teeksongo and Yipoussi varieties had very good vigor in pot and soil tests; while the Issa SOSSO variety had very good seedling vigor in Petri dishes.

Table 3. Variation in seedling vigor as a function of germination tests

Varieties	Test in Petri dishes	Test in pots	Test in open ground
Issa SOSSO	Very good	Very good	Very good
Makoyin	Good	Good	Good
Neerwaya	Good	Very good	Very good
Teeksongo	Good	Very good	Very good
Yipoussi	Good	Very good	Very good

4 DISCUSSION

Seed germination is highly dependent on the nature of the environment, with the substrate being an important parameter.

The best germination rate performances observed in Petri dishes show the ability of seeds to germinate when all germination conditions are met. This would also explain the good germinative capacity of seeds from germinated varieties. With regard to germination rates in pots and in the open ground, the variability in performance could be explained by variations in the physico-chemical and biological quality of the two types of soil. The better germination performance of the majority of varieties in the open ground compared with the germination method in pots, reflects the ability of these varieties to have a satisfactory emergence rate in the natural production environment. In short, the better germination rates recorded in Petri dishes compared with other methods would be due to the fact that germination in Petri dishes is based essentially on the rupture of the testa accompanied by the emergence of the radicle, whereas that of other methods is based on observation of the appearance of the seedling on the soil surface. However, the better performance of seedling vigor in pots and in the open ground would also explain why the soil is the best support for seedlings. The good germinative capacity observed in all three methods shows the good germinative vigour of the different seeds.

5 CONCLUSION

The seeds showed above-average germinative ability. However, the results of this work showed that the germination test in Petri dishes is the best method for testing the germinative vigor of seeds.

REFERENCES

- [1] ADAM, T., 1986. Contribution à la connaissance des maladies du niébé au Niger avec mention spéciale au *Macrophomina phaseolina*. Thèse de titre de Docteur ingénieur en sciences-agronomiques. Université de Rennes, France. 128p.
- [2] BA, N.M., 1999. Etude de la résistance variétale à la cécidomyie du sorgho (*Stenodiplosis sorghicola* Coq.), et à la cécidomyie africaine du riz (*Orseola oryzivora* H. et G.) sous Infestations naturelle et artificielle. Mémoire de Diplôme d'Etude Approfondie en Sciences Biologiques et Appliquées, Université de Ouagadougou, 62p.
- [3] BOULAL H., ZAGHOUE O., EL MOURID M., et REZGUI S., 2007. Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blé et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. ITGC. INRA. ICARDA. 176 P.
- [4] CHAUX C. et FOURY C., 1994. Maîtrise des facteurs de production, qualité et traitement des semences, mise en culture par semis en place in production légumière. Tome 1- Généralité. Tec et Doc. Lavoisier. Pp 277-431-445.
- [5] DENIS, J.J., 1984. Manuel de principales cultures sahéliennes, tome 2. 234p.
- [6] DIEHL R., 1975. Agriculture générale: Technique saisonnière de la production végétale. 2^{ème} édition. Pp 275-286-290.
- [7] DUGJE, Y.I., OMOIGUI, O.L., EKELEM, F., KAMARA, Y.A., et AJEIGBE, H. Production du niébé en Afrique de l'Ouest: guide du paysan. Institut International d'Agriculture Tropicale (IITA), Ibadan, Nigeria. 20p.
- [8] FELEKE Y., PASQUET R. S. and GEPTS P., 2006. Development of PCR-based chloroplast DNA markers that characterize domesticated cowpea (*Vigna unguiculata*ssp. *Unguiculata* var. *unguiculata*) and highlight its crop-weed complex. *Plant Systematics and Evolution*, 262 (1–2): 75–87.
- [9] FRETEAUD, J.P., 1983. Synthèse des recherches agro climatologiques sur le niébé Bambey, CNRA, 44p.
- [10] GATE P. et GIBAN M., 2003. Stades du blé. Ed. Paris, ITCF. 68p.
- [11] GOLDSWORTHY, P.R., et FISHER, N.M., 1984. The physiology of tropical Field crops Wiley. Inter science publication John Wiley and sons, 664p.
- [12] HELLER R., ESNAULT R. et LANCE C., 2000. Physiologie végétale II. Développement. Ed Dunod. Paris. Pp 64-260.
- [13] HOPKINS W.G., 2003. Physiologie végétale. Traduction de la 2^{ème} édition américaine par DERGE R. Ed de Boeck. Pp 309-362.
- [14] JACKAI, L.E.N, et ADALLA, C.B, 1997. Pest management practices in cowpea: A review. In: SINGH et al. (Eds), *Advances in Cowpea Research*, Co-Publication of I.I.T.A and JIRCAS, Ibadan, pp. 240-258.
- [15] LABBE M., 2004. Ces étonnantes graines germées. Auvers sur Oise: Labbé. Revues succinctes de livre et d'essais (critiques).

- [16] MARECHAL, R. J., MASHERPA, M., STAINIER, F., 1978. Etude taxonomique d'un groupe complexe d'espèces des genres *Phaseolus* et *Vigna* (Papilionaceae) sur la base de données morphologique et pollinique, traitées par l'analyse informatique. *Boissiera*, n°28, pp. 1-273.
- [17] MULTON J.L., 1982. Conservation et stockage des graines, grains et produit dérivés. Céréales, oléagineuse, protéagineuse, aliments pour animaux. Technique et Documentation Lavoisier Paris Apria. Volume 1, 233.
- [18] NG N.Q., MARECHAL, R., 1985. *Cowpea taxonomy, origin and germplasm*. In: *Cowpear Research, Production and Utilization*. Edited by. Singh S.R., Rachie K.O. (Eds). John Wiley Sons, Chichester, UK, pp. 11-21.
- [19] NIELSEN, S. S., OHLER, T. A., et MITCHELL, C. A., 1997. Cowpea leaves for human consumption: Production, utilization and nutrient composition. In *Advances in cowpea research*, SINGH et al., editors I.I.T.A., ibadan, Nigeria. <http://books.google.fr/books>.
- [20] PADULOSI, S. et NG, N.Q., 1997. Origin, taxonomy and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: SINGH, B.B., MOHAN, D.R., DASHIELL, K.E., and JACKAI.
- [21] L.E.N. (Eds.), *Advances in Cowpea Research*, IITA. International Institute of Tropical Agriculture Ibadan, Nigeria, pp. 1–12.
- [22] PASQUET R.S., 1993. Classification infraspécifique des formes spontanées de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (*Fabaceae*) à partir de données morphologiques. *Bulletin du Jardin*.
- [23] Botanique National de Belgique/ Bulletin van de National Plantentuin van België Is CurrentlyPublished by National Botanic Garden of Belgium. Your, 62 (1): 127–173.
- [24] PASQUET R.S., 1998. Morphological study of cultivated cowpea *Vigneunguiculata* (L.) Walp. Importance of ovule number and definition of cv gr *Melanophtalmus*. *Plant geneticsandbreeding*; 61-70.
- [25] QUIN, F. M., 1997. Introduction. In: *Advances in Cowpea Research*- Singh, B. B., Mohan Raj, Dashiell, K. E. et Jackai, L. E. N. (eds). 375p.
- [26] SENTENS, P., 1985. *Agriculture speciale: LE NIEBE*. 43p.
- [27] TOHILL, J., 1986. The role of legums in farming system of Sub Saharan African in Proceeding of a workshop help at ILCA, journal of animal nutrition, n°2, pp. 39-90.

Caractérisation des pratiques de stockage de l'arachide (*Arachis hypogaea* L.) dans la bande sud centre du Niger

[Characterization of peanut (*Arachis hypogaea* L.) storage practices in the south-central strip of Niger]

Chaibou Naroua¹, Abdou Haladou², Oumarou Haladou Issoufou², Balogoun Armando Sosthene Kali³, and Mahamadou Elhadji Gounga⁴

¹Ecole Doctorale Sciences, Ingénierie, Santé et Environnement (ED-SISE), Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, Niger

²Département de Sociologie et Economie Rurales, Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement, Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, Niger

³Département des Mathématiques, Faculté des Sciences et Techniques, Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, Niger

⁴Département des Sciences et Techniques de Productions Végétales, Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement, Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, Niger

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Storage practices determine the quality and added value of peanuts as well as their contribution to household nutrition. The objective of the study was to characterize the types of warehouses and methods of peanut protection. A survey was conducted among 500 stakeholders (240 producers, 160 processors and 100 traders) selected by random sampling. Data analysis was carried out using descriptive statistics. The results show that the stakeholders mainly store shelled or unshelled peanuts in polypropylene bags. They adopted as warehouses their residential houses (64.7%); mud stores (11.8%); and stores made of final materials (23.5%). The choice of peanuts to be stored is made on the basis of the criteria of absence of mold and rot (38%), without impurities (37%) and without holes (25%). The average quantity of peanuts stored is 1,049.63 kg; 1,300.7 kg and 98.81 kg respectively for producers, traders, and processors. The majority of respondents store peanuts for a period of three months (80%). Only 37.8% of stakeholders apply any treatment to stored peanuts, primarily using phytosanitary products. The main storage constraints concern pest and parasite attacks (58%) and poor sales (38.6%). These constraints are more acutely felt by producers. Adopting appropriate types of warehouses and understanding protection methods are essential prerequisites for preserving peanut quality before sale or processing in the south-central region of Niger.

KEYWORDS: Warehouses, Losses, Protection Methods, Peanut, Niger.

RESUME: Les pratiques de stockage déterminent la qualité et la valeur ajoutée de l'arachide ainsi que sa contribution dans la nutrition des ménages. L'objectif de l'étude était de caractériser les types d'entrepôts et les méthodes de protection de l'arachide. Cinq cent (500) acteurs (240 producteurs, 160 transformateurs et 100 commerçants) sont sélectionnés par échantillonnage aléatoire simple. L'analyse des données a été réalisée à l'aide des statistiques descriptives. Les résultats montrent que les acteurs stockent essentiellement l'arachide coque ou non décortiquée dans des sacs en polypropylène. Ils ont adopté comme entrepôts leurs maisons d'habitation (64,7 %); les magasins en banco (11,8%); et les magasins en matériaux définitifs (23,5%). Le choix de l'arachide à stocker se fait sur la base des critères à l'absence de moisissure et pourriture (38%), sans impuretés (37%) et sans trouaison (25%). La quantité moyenne d'arachide stockée est de 1049,63 kg; 1300,7 kg et 98,81 kg respectivement pour les producteurs, les commerçants et les transformateurs. La majorité des personnes enquêtées

stockent l'arachide pour une période de trois mois (80%). Seulement 37,8% des acteurs appliquent un traitement à l'arachide stockée essentiellement à base des produits phytosanitaires. Les principales contraintes liées au stockage concernent les attaques des ravageurs et parasites (58%) et la mévente (38,6%). Elles sont plus ressenties par les producteurs. L'adoption des types d'entrepôts adéquats et la connaissance des méthodes de protection sont des préalables indispensables pour préserver la qualité de l'arachide avant la vente ou la transformation dans la bande sud centre du Niger.

MOTS-CLEFS: Entrepôts, Pertes, Méthodes de protection, Arachide, Niger.

1 INTRODUCTION

Au Niger, l'arachide ou *Arachis hypogaea* (L.) est classée parmi les cultures de rente et occupe la deuxième place après le niébé avec une production de 600 à 800 Kg/ha et une superficie de 1 003 762 ha [1]. Le Niger se situe parmi les 20 premiers pays producteurs de l'arachide au monde, avec plus de 500 000 tonnes contre 18 et 10 millions de tonnes pour la Chine et l'Inde qui représentent plus de 50 % de la production mondiale [1]. La production d'arachide contribue à 3,1 % du Produit Intérieur Brut et 8,9 % du Produit Intérieur Brut agricole du Niger [1]. L'arachide est une importante légumineuse alimentaire, commerciale et fourragère. La consommation d'arachide décortiquée s'élevait à 4kg/pers/an dans les zones urbaines et à 1kg/pers/an dans les zones rurales [1]. Les graines d'arachide présentent une forte teneur en huile (43-55%) et en protéines (25-28%), et fournit des vitamines et des minéraux à des millions de ménages. Les principaux produits issus de la transformation de l'arachide sont: l'huile, le tourteau et la pâte d'arachide [2-4].

L'arachide est stockée sous forme des coques dans des entrepôts de types traditionnels parfois dans les locaux d'habitations en association avec d'autres produits alimentaires avant la consommation ou la commercialisation. Ces pratiques de stockage exposent le produit à diverses contaminations des parasites (insectes et rongeurs) et par des mycotoxines qui sont des contaminants naturels de la chaîne alimentaire [5]. Ces diverses contaminations se traduisent généralement par des pertes allant jusqu'à 30% liées aux attaques d'insectes et des moisissures diverses [6]. Selon une étude commanditée par la FAO, environ 14 % de la nourriture au niveau mondial est perdue après la récolte et avant d'atteindre le niveau de vente au détail, notamment en raison des activités liées à la productivité, au stockage et au transport [7]. Les causes qui provoquent les pertes des produits sont des déprédateurs et autres parasites des denrées, sans parler des conditions physiques, techniques, économiques et autres, qui favorisent l'action des agents de détérioration et, en conséquence, l'aggravation des pertes [8]. Les pertes sont d'autant plus importantes dans les magasins à la suite des pressions parasitaires dont les principales causes sont les insectes qui sont plus favorisés par le climat [9]. Des études effectuées au Sénégal et en Côte d'Ivoire ont montré que près de 87% des producteurs utilisaient ces types d'entrepôts pour stocker leur arachide après la récolte sous forme de coque pour une durée d'un (1) à 12 mois [5,6]. Le stockage est réussi si à son terme, l'arachide stockée ne présente pas de dépréciations qualitative et quantitative provoquées par des ravageurs ou de l'inadéquation des méthodes de stockage.

Au Niger certaines études ont été réalisées sur les pertes après récolte dues aux ravageurs et aux mauvaises pratiques de gestion. Ces études ont montré que les pertes peuvent atteindre jusqu'à 70% après six mois de stockage [10,18]. Plusieurs pratiques de stockage sont adoptées dans la bande sud centre du Niger qui représente plus de 87 % de la production nationale pour préserver la qualité des graines et les qualités nutritionnelles de l'arachide. Cependant, ces pratiques n'ont pas fait l'objet de l'étude en vue de leur caractérisation, d'où la nécessité de cette présente dont l'objectif est d'évaluer la qualité de l'arachide destinée à la vente et à la transformation à travers un diagnostic des différentes techniques de stockage de l'arachide adoptées par les acteurs, la durée de stockage, les mécanismes de protection et les estimations des pertes occasionnées par les ravageurs (insectes et rongeurs).

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 SITE D'ÉTUDE

L'étude a été menée dans quatre départements de deux régions du Niger (Maradi et Zinder) situées dans la bande sud centre du pays et qui représentent les grands bassins de production de l'arachide au Niger avec plus de 87% de la production nationale [1]. Les régions de Maradi et Zinder ont des sols à prédominance sableuse et des précipitations annuelles qui varient de 400 à 500 mm. La collecte des données a été effectuée dans Seize (16) villages répartis dans les quatre départements dont deux départements dans la région de Maradi (Guidan Roumdji et Aguié) et deux autres dans la région de Zinder (Kanché et Mirriah).

La figure1 présente la localisation géographique des villages selon les départements et les communes de la zone d'étude.

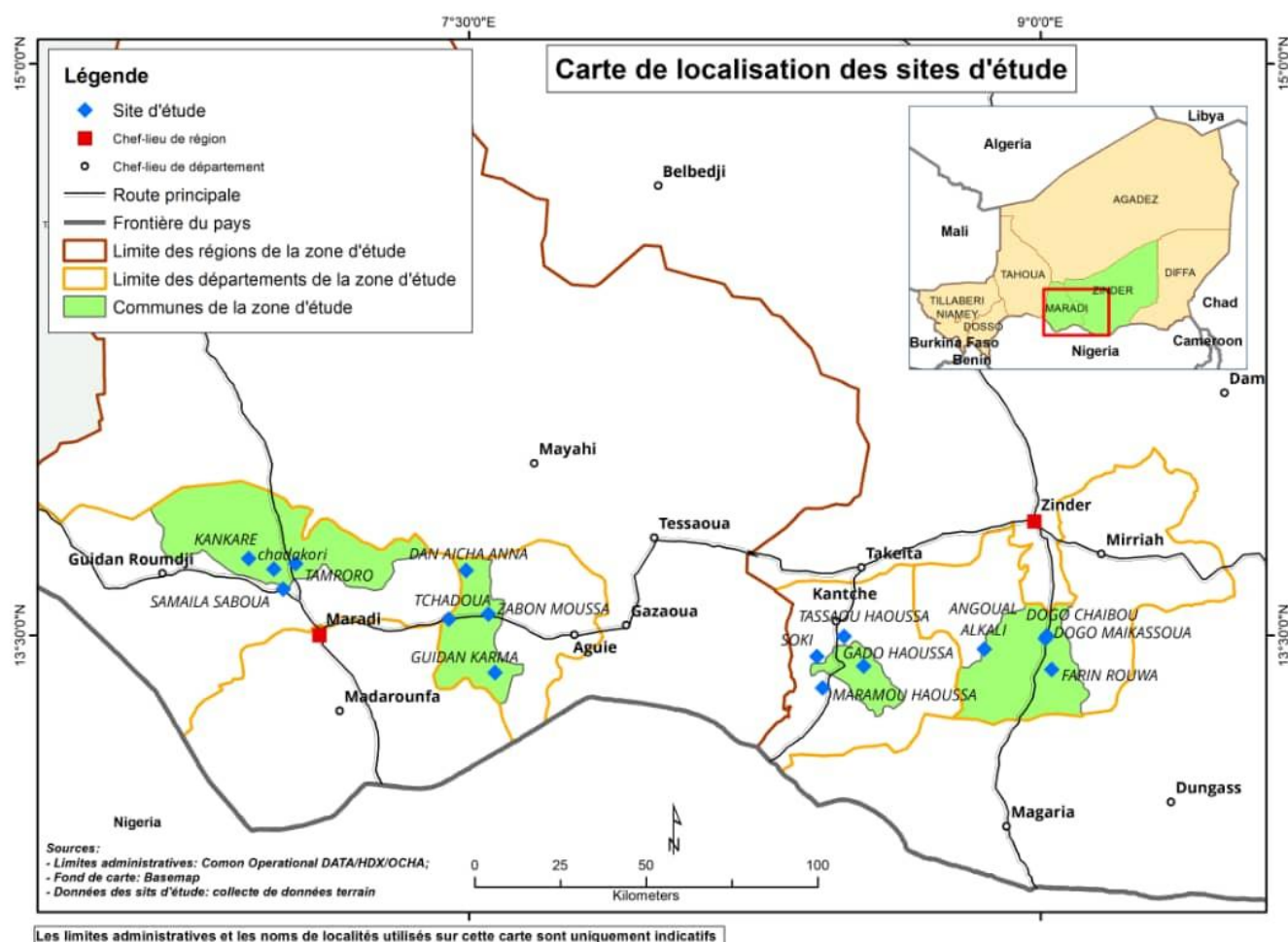


Fig. 1. Carte de la zone d'étude

2.2 OUTILS DE COLLECTE

Les outils de collecte des données comportent trois types de questionnaire individuel (producteurs, transformatrices et commerçants). Les trois types des questionnaires ont des points communs concernant les perceptions des acteurs sur les techniques de stockage, les modes d'entreposage, les types d'entrepôts utilisés, les types des produits phytosanitaires utilisés, la durée de stockage, les types de pertes post-récolte (PPR), les causes de ces pertes, l'estimation de taux des PPR et les contraintes rencontrées pendant le stockage et la vente de l'arachide stockée. De façon spécifique le questionnaire producteurs touche les questions relatives à la récolte et aux techniques de séchage; le questionnaire transformateur prend en compte aussi les techniques et les types de transformations, les matériels de transformation; la quantité d'arachide transformée et les différents produits à base d'arachide. Enfin le questionnaire commerçant prend en compte les questions sur les caractéristiques des commerçants, les marchés de commercialisation et les prix à la vente.

2.3 ECHANTILLONNAGE ET COLLECTE DE DONNÉES

L'enquête a été réalisée au courant du mois de janvier 2024 dans les deux régions situées dans la bande sud centre du pays. Seize (16) villages et six (6) marchés situés dans quatre départements choisis de façon aléatoire dans la base des données des villages à forte potentiel production d'arachide ont servi des sites de collectes des données. Les données ont été collectées par les enquêteurs formés durant deux 2 jours sur les techniques de collecte de données qualitatives et quantitatives. Au total cinq cent (500) acteurs constitués de deux cent quarante (240) producteurs d'arachide, cent soixante (160) transformatrices d'arachide et cent (100) commerçants d'arachide ont été interviewés à l'aide des questionnaires individuels. Le tirage aléatoire simple a été utilisé pour identifier les personnes échantillonnées.

2.4 TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNÉES

Les données quantitatives et qualitatives collectées ont été saisies et codifiées sur Excel. Les analyses descriptives notamment le calcul de fréquence et les proportions ont été effectués à l'aide de logiciel Statistical Package for Social Sciences « SPSS version 25 ». Excel a servi pour la conception des tableaux et figures.

3 RESULTATS

3.1 CARACTÉRISTIQUES SOCIALES DES ACTEURS ENQUÊTÉS

Les personnes enquêtées sont constituées d'hommes et de femmes réparties dans les seize villages des deux régions, Maradi et Zinder. Il ressort de cette analyse que les hommes représentent 67,5% des enquêtés et les femmes 32,5 % avec une proportion des mariés représentant 97,6% des enquêtés. 45% des enquêtés sont alphabétisés (savent lire et écrire en français), 50 % ont le niveau coranique et seulement 5% sont analphabètes. L'âge des enquêtés est reparti en quatre (4) tranches d'âge qui varient de dix-huit (18) à cinquante ans (50) à plus. Parmi les quatre tranches, trois tranches d'âge regroupent plus les enquêtés à savoir 30 à 40 ans; 41 à 50 ans et 50 ans à plus avec respectivement 30,4; 28,8 et 34% (Tableau 1).

Tableau 1. Caractéristiques sociales des acteurs enquêtés

Variables	Modalités	Producteurs (%)	Commerçants (%)	Transformateurs (%)	Total (%)
Sexe	Homme	99,6	100	0	67,5
	Femme	0,4	0	100	32,5
Tranche d'âge	(18 à 29)	3,3	6	12,5	6,8
	(30 à 40)	23,4	19	48,1	30,4
	(41 à 50)	27,9	38	24,4	28,8
	(51 à plus)	45,4	37	15	34
Statut matrimonial	Marié	100	100	93,8	97,6
	Veuf	0	0	5,6	2,2
	Divorcé	0	0	0,6	0,2
Niveau d'instruction	Alphabétisé	39,6	75	35	45
	Coranique	60,4	2	65	50
	Analphabète	0	23	0	5

3.2 CONNAISSANCES DES ACTEURS DES CRITERES DE QUALITE DE L'ARACHIDE AVANT LE STOCKAGE

Pour choisir l'arachide destinée au stockage dans les entrepôts, les acteurs utilisent des critères de manière endogène. L'analyse des données montre que les acteurs connaissent et appliquent différemment trois principaux critères pour s'assurer de la qualité de l'arachide avant le stockage. La figure 2 présente les proportions des enquêtés selon les trois critères qui sont: les coques ou graines d'arachide sans moisissure ni pourriture que représentent 38% des enquêtés; suivi de coques ou graines sans impuretés qui représentent 37% et les coques ou graines sans trouaison qui occupent 25%.

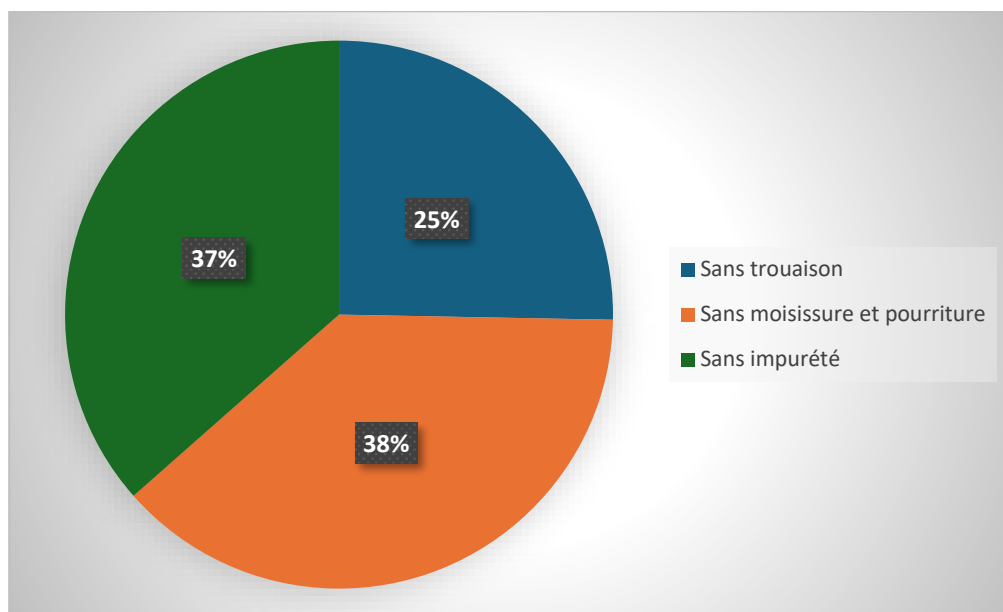


Fig. 2. Répartition des enquêtés selon les connaissances des critères de qualité de l'arachide

3.3 TYPES D'ARACHIDES STOCKÉES PAR LES ACTEURS

Après les opérations de récolte, de séchage et de battage, l'arachide est conditionnée dans des sacs en polyéthylène sous deux formes: coques d'arachide non décortiquées et graines décortiquées. Ensuite les sacs sont déposés au sein des entrepôts (maisons d'habitation, magasins en banco et magasins en matériaux définitifs). La figure 3 montre que 77,1% des enquêtés stockent l'arachide sous forme des coques non décortiquées, 21,9% sous forme de coques et graines d'arachide décortiquée et seulement 1 % des acteurs stockent des graines d'arachide.

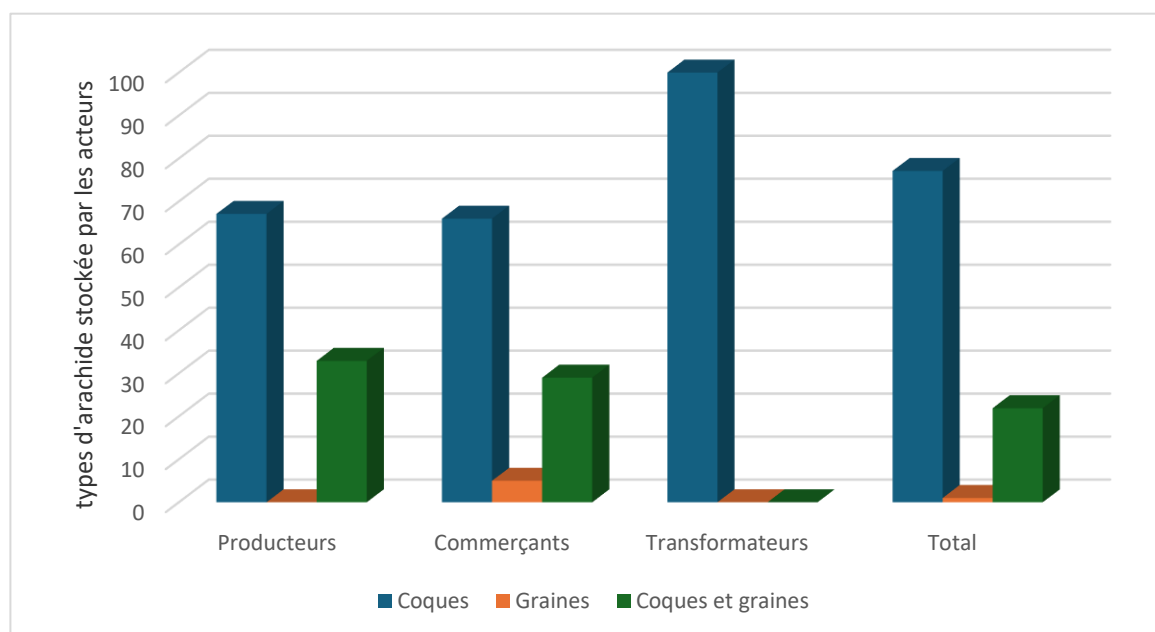


Fig. 3. Types d'arachide stockée selon les acteurs

3.4 TYPES D'ENTREPOTS UTILISES PAR LES ACTEURS POUR LE STOCKAGE DE L'ARACHIDE

Le stockage de l'arachide après récolte dans des sacs entrepôts est pratiqué par tous les enquêtés dans la zone étude. Les acteurs enquêtés utilisent principalement trois types de lieux de stockage qui sont les maisons d'habitation, les magasins en banco et les magasins en matériaux définitifs des coopératives villageoises.

La figure 4 montre que la plupart des enquêtés utilisent les maisons d'habitation pour le stockage de leur arachide (64,7%), suivi des magasins en matériaux définitifs (23,5%) et les magasins en banco utilisés par 11,8% comme lieu de stockage.

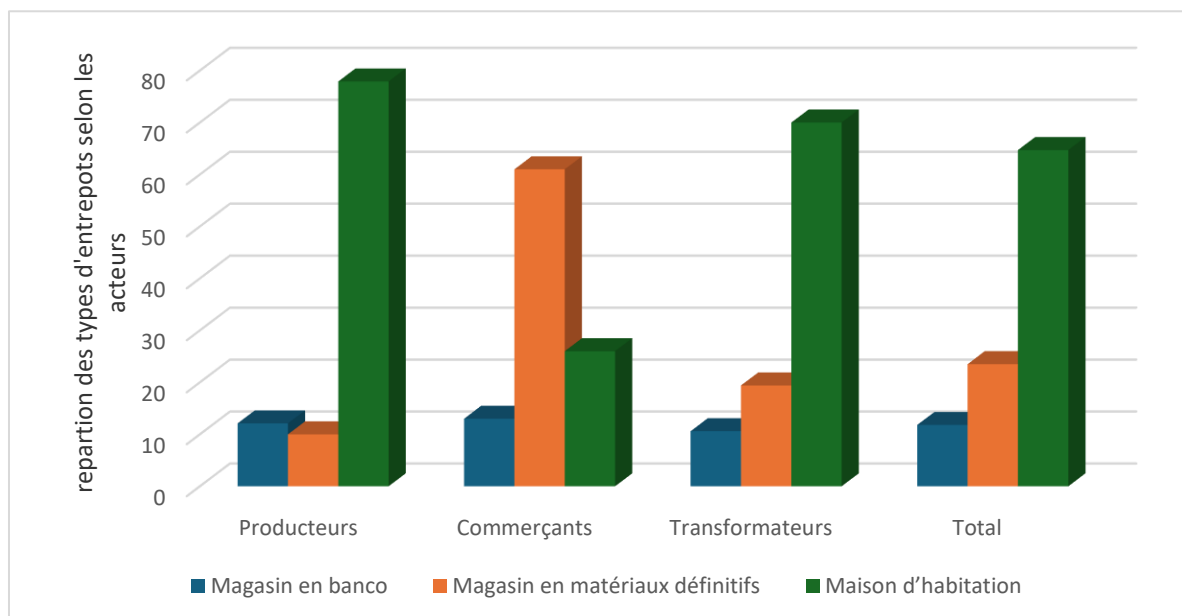


Fig. 4. Répartition des types d'entrepôts d'arachide par les acteurs

3.5 ESTIMATION DE LA QUANTITE D'ARACHIDE STOCKEE PAR LES ACTEURS

S'agissant de la pratique du stockage, tous les enquêtés ont des prévisions de stock d'arachide durant la collecte des données de l'étude. Après les opérations du battage, les acteurs procèdent à l'ensachage de l'arachide dans des sacs en polyéthylène et sont gardés au niveau des différents types d'entrepôts. Les résultats présentés dans le tableau 2 montrent que la quantité moyenne stockée varie de 98,81 Kg chez les transformateurs, 1049,63 Kg chez les producteurs et 1300,7 Kg chez les commerçants.

Tableau 2. Quantités moyennes (Kg) d'arachide stockée selon les acteurs

Acteurs	Minimum	Moyenne	Maximum
Producteurs (n=240)	100	1049,63	4000
Commerçants (n=100)	420	1300,7	3000
Transformateurs (n=160)	60	98,81	500

3.6 ESTIMATION DE LA DUREE DE STOCKAGE DE L'ARACHIDE OBSERVEE PAR LES ACTEURS

Pour la durée de stockage, l'analyse des données montre trois tranches en termes de quoi ? dont la première tranche de 1 à 3 mois, la deuxième tranche de 4 à 6 mois et la troisième tranche de 7 mois à plus.

La figure 5 montre que la majorité des acteurs enquêtés (80%) stockaient de l'arachide jusqu'à trois mois après la récolte et avant la vente ou la transformation.

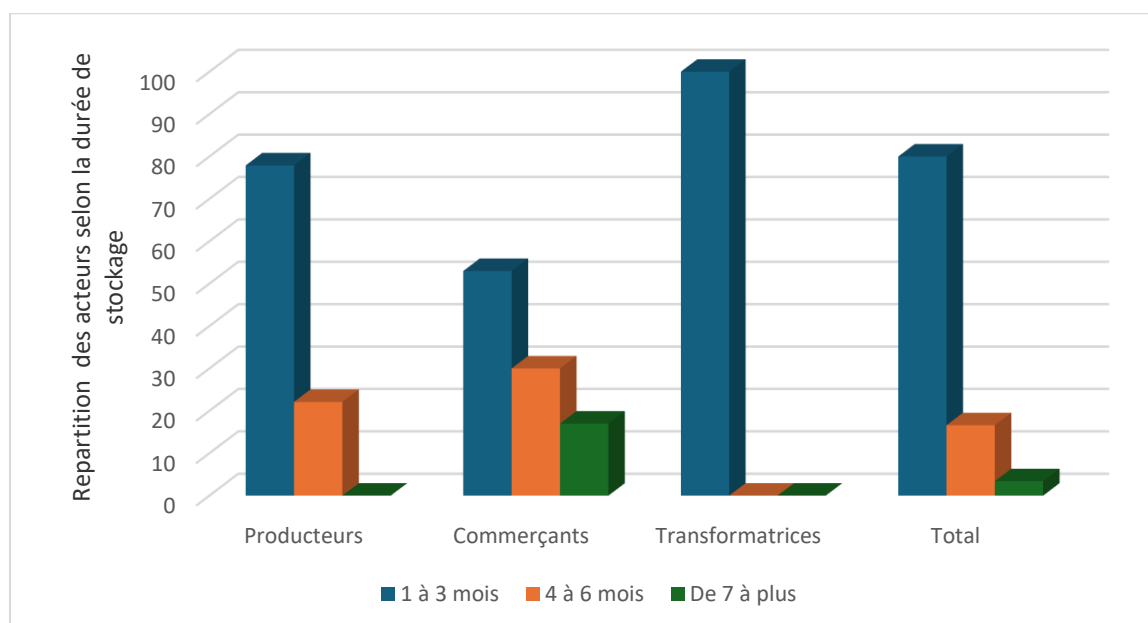


Fig. 5. Durée moyenne de stockage d'arachide selon les acteurs

3.7 PRODUITS UTILISES POUR PRESERVER LA QUALITE DE L'ARACHIDE ET LES LIEUX DE STOCKAGE

Les résultats de l'enquête montre que 37,8% des acteurs utilisent des produits biologiques ou chimiques (données non présentées).

La figure 6 présente la répartition de l'utilisation de deux types des produits; les produits bio locaux (les feuilles et extraits des plantes) qui occupent 86% et les produits chimiques (sous forme de poudre ou des cristaux solides) qui représentent 14% des acteurs enquêtés.

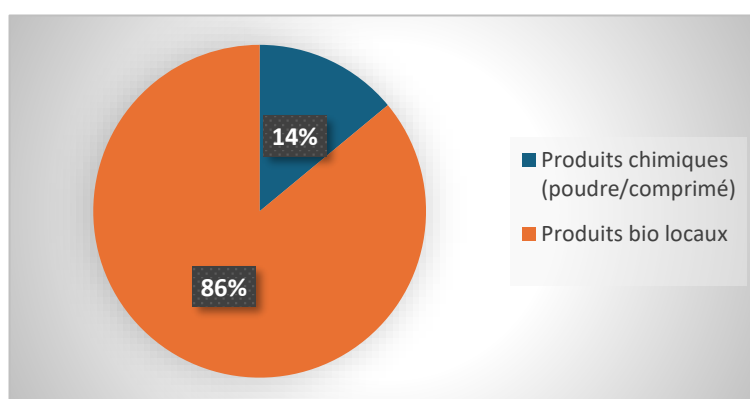


Fig. 6. Proportion des méthodes de traitement utilisées par les acteurs

3.8 CONTRAINTES LIEES AU STOCKAGE DE L'ARACHIDE

Au cours de cette étude, les contraintes liées au stockage étaient au centre de l'analyse. Les acteurs ont affirmé être confrontés à des contraintes pendant le stockage de l'arachide avant la vente ou la transformation. Ces contraintes sont liées aux différents dégâts qui altèrent la qualité de l'arachide stockée selon les types et lieux de stockage utilisés par les acteurs. Les principales causes des dégâts sont d'abord les insectes et les rongeurs qui perforent les sacs pour détruire les graines d'arachide occasionnant la baisse des prix de l'arachide pendant la période de vente. La figure 7 montre que les producteurs subissent plus des contraintes en lien avec les attaques des insectes et des rongeurs (91%) suivis des commerçants avec les contraintes liées à la mévente (55%).

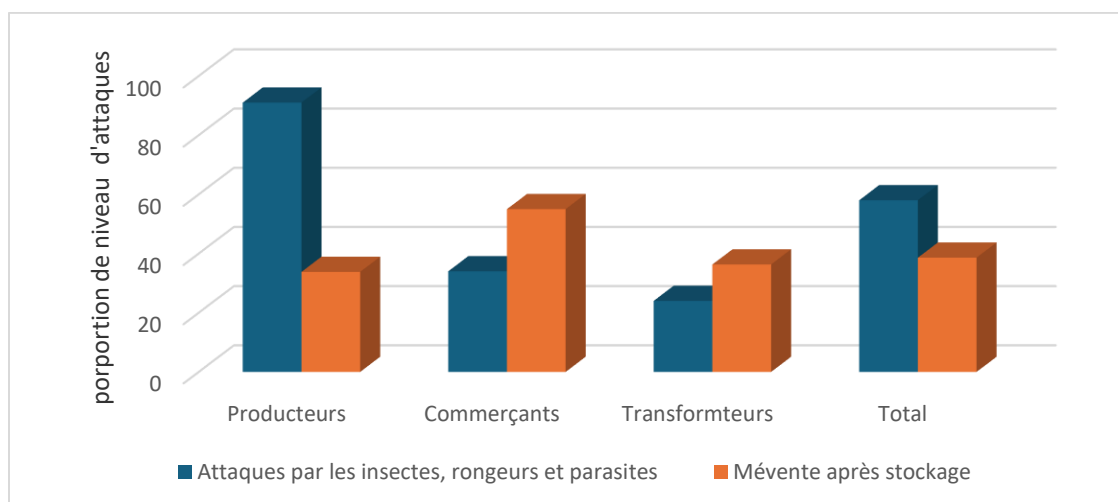


Fig. 7. Contraintes rencontrées par les acteurs lors du stockage d'arachide

3.9 ESTIMATION DE PERTE LIEES AU STOCKAGE DE L'ARACHIDE

3.9.1 PERTES ENREGISTRÉES PENDANT LE STOCKAGE

Les données présentées dans la figure 8 montrent que 63% des acteurs enquêtés contre 37% ont enregistré la perte durant la période de stockage de leur arachide.

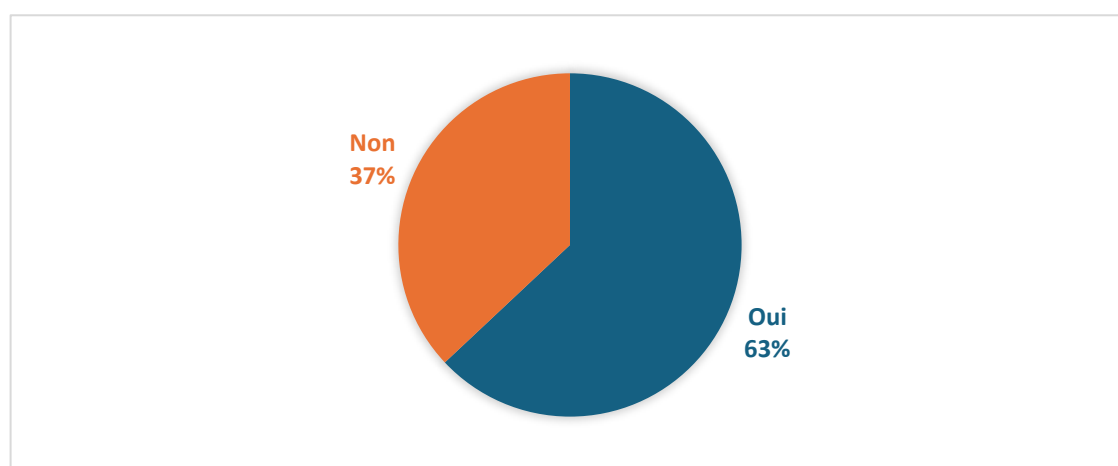


Fig. 8. Pertes d'arachide pendant le stockage par les acteurs

3.9.2 NIVEAU DES DIFFÉRENTES PERTES D'ARACHIDE ENREGISTRÉES SELON LES TYPES D'ENTREPÔTS

Les pertes liées au stockage enregistrées sont réparties selon les types d'entrepôts utilisés par les acteurs pour le stockage de l'arachide. Selon les trois types d'entrepôts de stockage, l'étude a révélé trois niveaux de pertes 10%, 20% et 40%. La figure 9 présente les trois niveaux de pertes enregistrés selon les types d'entrepôts utilisés.

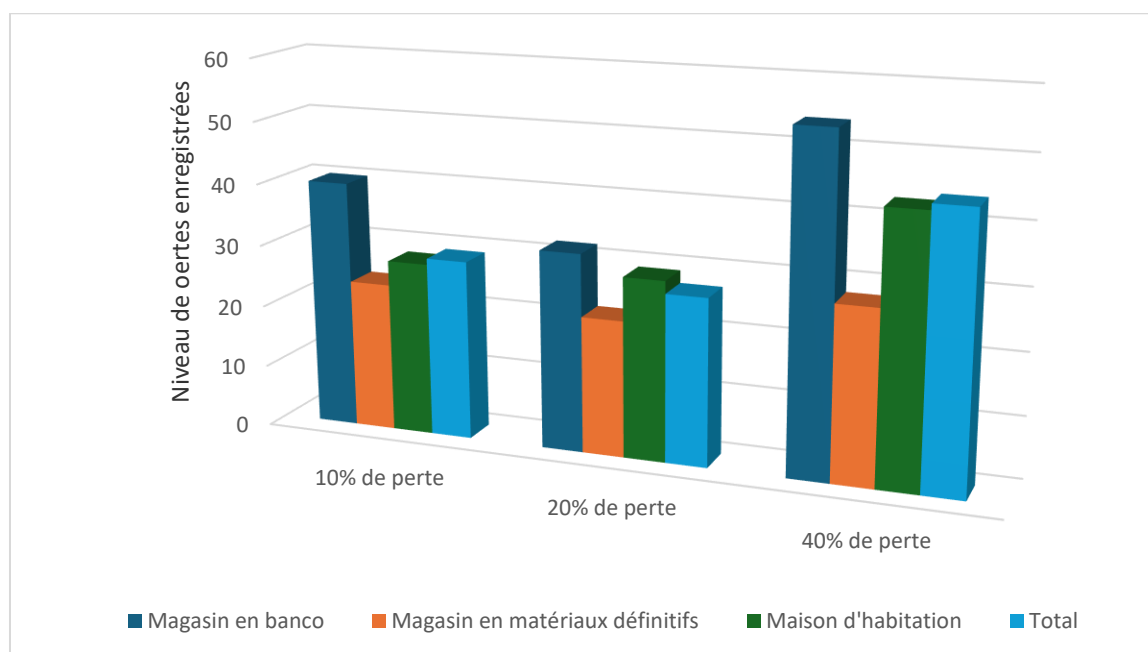


Fig. 9. Taux des pertes enregistré par les acteurs selon les types d'entrepôts

4 DISCUSSION

Les enquêtes réalisées auprès des acteurs (producteurs, commerçants et transformatrices) de la chaîne de valeur arachide dans la bande sud centre du Niger ont permis de mettre en évidence les pratiques et technologies de stockage de l'arachide dans le but de préserver la qualité de l'arachide destinée à la vente et à la transformation.

Après les opérations de séchage et battage aux champs, tous les enquêtés stockent principalement leur arachide sous forme de coques (71,1%) dans des sacs en polyéthylène aérés qui sont ensuite entassés dans les différents lieux d'entreposage. Des travaux effectués au Bénin [11], au Burkina Faso [12] et au Ghana [13] ont aussi révélé que l'arachide est conditionnée sous forme des coques dans des sacs en vue de faciliter le comptage des sacs, la vérification et la manutention des stocks. En effet, les raisons du stockage sous forme des coques se traduit par le fait que la coque d'arachide constitue une barrière naturelle de protection de la graine [14]. De manière générale, le stockage ou la conservation des coques est réputée pour posséder de multiples avantages, car moins sensibles aux attaques des moisissures que le stockage de l'arachide sous forme des graines [14]. Les maisons d'habitation constituent principalement les lieux d'entreposage utilisés par 64,7 % des acteurs; les magasins en banco (11,8%) et les magasins en matériaux définitifs (23,5%). Ces résultats sont en cohérence avec les résultats rapportés lors d'une étude similaire menée au Ghana [13] qui ont trouvé que 81% des producteurs stockent leur arachide dans leurs maisons d'habitation. Selon les personnes enquêtées l'utilisation de sac en polyéthylène aéré empêche le développement des moisissures au sein des entrepôts.

Les lieux de stockage identifiés dans les zones d'étude sont parfois à usage mixte en termes de stockage (arachide-souchet, arachide-sésame) et très peu sont en matériaux définitifs (cimentées avec des toits en tôle). Cela entraîne des dégâts énormes en termes de perte d'arachide stockée dus principalement des ravageurs de stock (les insectes et les rongeurs) qui peuvent varier de 10% à 40% selon les types d'entrepôts. Ces résultats sont en cohérence avec les résultats d'enquête menée en Afrique par la FAO [15], qui ont montré que la plupart des pays en voie de développement disposent de mauvaises installations de séchage et de stockage des produits agricoles. Ces pratiques entraînent des contaminations croisées et la prolifération de moisissures et de ravageurs, augmentant ainsi le risque de contamination des produits par les aflatoxines pendant le stockage.

La durée de stockage varie de 1 à 3 mois pour la plupart des enquêtés (80%) suivi de ceux qui stockaient entre 4 à 6 mois (16,6%) et ensuite ceux qui stockaient durant 7 mois à plus (3,4%). Ces résultats sont similaires à ceux des travaux de recherche effectués en Côte d'Ivoire [5] et qui ont montré que la durée de stockage varie de 1 à 3 mois pour un grand nombre de producteurs (90,32%) alors que seuls 10% arrivent à garder leur récolte au-delà de 3 mois. Selon les acteurs enquêtés, la durée de stockage dépend de leur situation économique. Si les conditions sont réunies, les acteurs enquêtés peuvent garder la récolte au-delà de 3 mois, au cas contraire, la récolte est vendue pour subvenir aux besoins de la famille pour éviter davantage de pertes. La durée de stockage de l'arachide dépend aussi de la destination et de l'usage de l'arachide qui est envisagée selon

les enquêtés. Seuls les commerçants gardent pendant longtemps généralement jusqu'à 12 mois leur arachide ou jusqu'à ce que les prix soient meilleurs sur les marchés afin de gagner plus de bénéfices à la vente. Ces résultats sont en cohérence avec ceux d'une étude menée en Afrique de l'Ouest par la FAO [15] selon laquelle les producteurs peuvent garder leurs arachides plus de huit mois en stock sans aucun traitement.

La majorité des enquêtés (62,2%) ont affirmé qu'ils ne traitent ni l'arachide stockée, ni les lieux de stockage. En revanche, 37,8 % font le traitement de l'arachide et des lieux avant l'entreposage des sacs d'arachide. Parmi les produits utilisés figurent les produits biologiques constitués des feuilles ou extraits des plantes qui représentent 86% et l'utilisation des produits chimiques (en poudre et/ou sous forme des comprimés) qui représentent 14% des enquêtés dans la zone. Ces résultats montrent que les enquêtés n'ont pas des connaissances sur les bonnes pratiques de stockage qui préconisent les opérations de tri des impuretés et coques ou graines d'arachide endommagées, suivi du traitement chimique avec des produits de contact des lieux qui vont servir de stockage afin d'éviter des dégâts éventuels des ravageurs (Insectes et rongeurs). Ces résultats sont similaires à ceux trouvés au Burkina Faso où 43,1% des producteurs n'utilisent aucun produit pour la protection de leurs stocks et 1,5% utilisent des plantes répulsives pour protéger leurs produits stockés [12]. L'utilisation des produits chimiques a été confirmée par les travaux de recherche réalisés en Côte d'Ivoire qui ont rapporté que le traitement chimique est le plus employé (90,18%) avec l'usage combiné de fumigants (Phosphore d'aluminium) et d'insecticide de contact, le traitement physique (5,58%) et le traitement biologique (4,29%) [16].

Dans les zones d'étude, tous les acteurs enquêtés ont déclaré stocker l'arachide non décortiquée qu'ils avaient produite et/ou achetée. Les quantités stockées variaient de 98,81% et 1300,7% pour l'arachide non décortiquée selon les acteurs. Ces résultats sont similaires à ceux des études réalisées au Niger qui ont montré que la quantité stockée de l'arachide non décortiquée varie de 165 à 243 kg [12].

Pour la notion des pertes, la majeure partie des enquêtés (63%) ont déclaré enregistrer des pertes d'arachide non décortiquée durant la période de stockage. Les pertes sont dues en grande partie aux attaques des ravageurs principalement des insectes et rongeurs qui détruisent les coques d'arachide et endommagent la graine se trouvant à l'intérieur. Il y a aussi le noircissement des coques d'arachide dû au développement des moisissures causées par l'humidité relative des lieux de stockage et au contact direct des sacs d'arachide avec le sol au sein des entrepôts. Les enquêtés ont affirmé que les pertes sont dues en partie au manque de structures de stockage adaptés qui n'existent pas en milieu rural mais aussi au manque des connaissances sur les produits de traitement phytosanitaire pour les produits en stockage. Ces résultats sont en cohérence avec ceux des travaux des études réalisées au Kenya qui ont montré une croissance accrue des moisissures et une production d'aflatoxine favorisées par des conditions d'entreposage à haute humidité après récolte [17]. Durant le stockage de l'arachide; Il convient aussi de noter que les acteurs subissent des contraintes principalement dues à des facteurs externes (les parasites et la mévente de l'arachide après le stockage) qui représentent respectivement 58 et 38,8% dans la zone d'étude. Ces résultats confirment ceux trouvés par une étude au Niger qui a montré que les parasites, surtout les insectes et les ravageurs, combinés aux lieux de stockage non adaptés sont les principales contraintes qui menacent la production et le stockage de l'arachide dans la zone [18].

5 CONCLUSION

Les résultats obtenus lors de cette étude montrent que les pratiques de stockage de l'arachide sont développées et adaptées par les acteurs de la chaîne de valeur arachide afin de mieux sécuriser les graines d'arachide avant la vente ou la transformation pour la consommation. Les maisons d'habitations, les magasins en banco et les magasins construits en matériaux définitifs constituent les principaux entrepôts d'arachide pour les acteurs enquêtés. Cependant, beaucoup de contraintes entravent le stockage de l'arachide en milieu rural. C'est principalement l'insuffisance d'entrepôts adéquats pour bien conserver le produit. Il y a aussi la méconnaissance des acteurs sur les moyens de lutte contre les attaques d'insectes et des rongeurs. L'étude a révélé une insuffisance de niveau de formation des acteurs sur les bonnes pratiques de stockage de l'arachide et les techniques de protection de l'arachide stockée. Pour réduire les pertes dues aux ravageurs lors de stockage de l'arachide, l'alternative est l'utilisation des produits biologiques avérés efficaces et les produits chimiques de contact qui n'altèrent pas les qualités physicochimiques de l'arachide destinée à la commercialisation et à la transformation pour la consommation.

REFERENCES

- [1] Andres L., Acosta Alba I., Ganda Seydou S., Habonimana B., Kotyza P., Sitou L., Analyse de la chaîne de valeur de l'arachide en République du Niger. Rapport pour l'Union Européenne, DG-INTPA. Value Chain Analysis for Development Project (VCA4D CTR 2017/392-416), 135p, 2023.
- [2] Reddy G.S.N., Matsumoto G., I., Shivaji. *Sporosarcina macmurdoensis* sp. nov., from a cyanobacterial mat sample from a pond in the McMurdo Dry Valleys, Antarctica S. S. *Int J Syst Evol Microbiol* 53, 1363–1367, 2003.
- [3] Griel, A.E., Eissenstat, B., Juturu, V., Hsieh, G., Kris-Etherton, P.M. Improved Diet Quality with Peanut Consumption. *J. Am. Coll. Nutr.* 23, 660–668, 2004.
- [4] Albert C.M., Michael G., Walter C.W., JoAnn E.M. Nut Consumption and Decreased Risk of Sudden Cardiac Death in the Physicians' Health Study. *Arch. Intern. Med.* 162,1382–1387, 2002.
- [5] Dimanche P., Rouzière A., Wagué K., Ndiaye S. Rapport atelier de formation échange. Dossier technique sur les normes de production, de stockage et de distribution des semences d'arachide en milieu paysan. *CNRA, Sénégal.* 15 p, 2001.
- [6] Manizana A. L., David., Isabelle P-M., Didier M., Catherine B., Rose K-N. Évaluation des pratiques post récoltes favorables à la contamination de l'arachide par les mycotoxines dans trois régions de Côte d'Ivoire. *J. Appl. Biosci.* 2018.
- [7] Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO). The State of Food and Agriculture. Moving forward on food loss and waste reduction. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. <https://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf>, 2019.
- [8] Gounga M., Ado R. I., Boureima S. Étude diagnostique et évaluation des pertes post-récolte de quelques produits maraîchers dans les zones phares de production au Niger. *International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol. 38 No. 794-805, 2023.*
- [9] Peter J.C., Ramon J.G. Influence du climat sur les champignons producteurs d'aflatoxines et la contamination par ces dernières. *Int. J. Food Microbiol.* 119: 109-115, 2007.
- [10] Bakoye O., Baoua I., Sitou L., Moctar M.R., Amadou L., Anastasia W. N., Murdock L.L., Baributsa D. Groundnut production and storage in the Sahel: challenges and opportunities in the Maradi and Zinder Regions of Niger *Journal of Agricultural Science; Vol. 11, No. 4; 2019.*
- [11] Chougourou D.C., AlavoTB.C. Systèmes de stockage et méthodes endogènes de lutte contre les insectes ravageurs des légumineuses à grains entreposées au Centre Bénin. *Revue CAMES - Série A, 12 (2): 137-141, 2011.*
- [12] Yamkoulga M., Waongo A., Sawadogo L., Sanon A. Gestion post-récolte des graines d'*Acacia macrostachya* Reichenb. DC. Dans la province du Boulkiemde au Burkina Faso: diagnostic participatif en milieu paysan. *J. Appl. Biosci.* 2018.
- [13] Akoua A.G. The Role of Women in Post-Harvest Handling of Peanuts: The Case of Reducing Aflatoxin along the Supply Chain in Ghana. MS Thesis, Alabama. Graduate Faculty of Auburn University, 46 p 2013.
- [14] Ntare B.R., Diallo A.T., Ndjeunga J., Waliyar F. Groundnut seed production manual. *International Crops Research Institute for the Semi -Arid Tropics.* 20 p, 2008.
- [15] Union Monétaire des Etats de l'Afrique de l'Ouest (UEMOA)., l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO). Rapport d'étude sur l'appui à la mise en œuvre de la Politique agricole de l'Union en matière de sécurité alimentaire. Programme régional de sécurité alimentaire. 38p, 2002.
- [16] Manga M., Fall Ndiaye M.A., Dangué A., sarr B., Ndiougou M.B. Diagnostic des pratiques culturelles favorables à la production d'aflatoxine et gestion post récolte de l'arachide (*Arachis hypogaea* L.) au Sénégal; *Journal of Animal & Plant Sciences (J. Anim. Plant Sci. ISSN 2071-7024) 56 (2): 10306 -10319 <https://doi.org/10.35759/JAnmPLSci.v56-2.2>; 2023.*
- [17] Muteg C., Wagacha M., Kimani, J., Otieno G., Wanyama R., Hell K., Christie M.E. Incidence of aflatoxin in peanuts (*Arachis hypogaea* Linnaeus) from markets in Western, Nyanza and Nairobi Provinces of Kenya and related market traits. *Journal of Stored Products Research.* 52: 118, 2013.
- [18] Baoua I., Amadou L., Abdourahmane., Bakoyé O., Baributsa D., Murdock LL. Grain storage and insect pests of stored grain in rural Niger. *Journal of Stored Products Research; 2015.*

Factors Contributing to Poor Performance in English Language Learning in Kaziba Secondary Schools

Styve CHINDJA BAHIZIRE and Barthelemy MUZALIWA BALUME

Department of English and African Cultures, Teacher Training College of Kaziba, ISP Kaziba, South-Kivu, RD Congo

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study explores the underlying causes of underachievement in English language learning among students in secondary schools in Kaziba, Democratic Republic of Congo, during the period from January to June 2023. The investigation was prompted by the persistent observation that, despite completing four years of English instruction, many learners graduate without attaining functional communicative competence. To identify the root causes of this phenomenon and suggest remedial strategies, we conducted a cross-sectional survey involving 484 students across nine strategically selected schools. The selection criteria included socioeconomic background, school infrastructure, teacher remuneration, working conditions, and annual diploma performance. Schools were categorized into «large» «medium» and «small» institutions. After excluding 21 incomplete responses, data from 463 students were analyzed. The research addressed three core questions: (1) What factors hinder students from achieving English language proficiency? (2) How do institutional practices influence opportunities for effective English communication? (3) What interventions can enhance English language outcomes in Kaziba secondary schools? Findings indicate that underachievement is primarily attributed to ineffective pedagogical practices, including outdated teaching methodologies and inadequate instructional materials, compounded by learner-related issues such as low motivation and disengagement. The study concludes with recommendations for curriculum reform, enhanced teacher training, and learner-centered approaches to promote meaningful language acquisition and communicative competence.

KEYWORDS: English language teaching, English language learning, proficiency.

1 INTRODUCTION

In the Democratic Republic of Congo (DRC) and numerous other French-speaking African countries, English is among the subjects taught in secondary schools. To gain insight into the pedagogical approach employed, numerous research studies have been conducted, which have also identified strategies to assist not only learners in mastering the taught material, but also teachers in enhancing their pedagogical practices. In the DRC, the teaching of English is shaped by a range of cultural, social, and educational considerations. The objective is to equip Congolese citizens with the requisite linguistic abilities in English to facilitate communication and maintain relations with neighboring countries where English is the dominant language.

In light of the aforementioned observations, it becomes evident that the DRC is striving to integrate itself into the global community, where English has assumed a pivotal role as a language of international communication. The proliferation of English language instruction is of paramount importance for the enhancement of communication skills and the provision of access to global knowledge (Kakule, 2022). This emphasises the significance attributed to English as a means of empowerment and international engagement in a context where educational resources are frequently scarce. This concept is further reinforced by Katabe & Tibategeza (2023), who highlights the lack of trained teachers and the lack of suitable materials, both of which impede the effective teaching and learning of English in the DRC. However, the national curriculum for English instruction stipulates that all learners should be equipped with communicative abilities in various life contexts after having learned English. Nevertheless, this objective is not being met in Kaziba secondary schools, where learners are ultimately unable to reach an effective level of communication in English. This is evident during their attempts to communicate with their peers

and teachers of English. They are unable to convey their ideas, feelings, emotions and thoughts in an uninhibited manner. This, therefore, indicates a necessity of conducting research in order to ascertain the underlying causes of this impediment.

Note that this study was carried out by 3 professionals of the teaching of English as a foreign language, all of whom are junior lecturers at the Teacher Training College in the target area. The analysis of the context is therefore based on observations made on students who freshly come from secondary school. It has been observed that due to that poor level of English proficiency, students end up developing negative attitudes towards English that block them from learning it effectively. This therefore, suggests the need for getting deep in research in the teaching of the English in Kaziba secondary schools.

1.1 PROBLEM STATEMENT

Despite the integration of English into the national curriculum in the Democratic Republic of Congo and the requirement that learners attain communicative proficiency by the end of secondary education, the English language teaching programme in secondary schools in Kaziba is not yielding the desired outcomes. After four years of instruction, many learners remain unable to express themselves effectively in English. This gap between expected outcomes and actual learner performance suggests fundamental shortcomings in the English language learning and teaching process in Kaziba.

This research seeks to investigate the root causes of this issue and explore practical solutions to improve language instruction and learner proficiency. Understanding these causes is essential to reforming the teaching approaches, institutional support systems, and overall pedagogical frameworks that influence English language acquisition in Kaziba's secondary schools.

1.2 RESEARCH QUESTIONS

This research aimed to explore the various academic, pedagogical, psychological, and environmental factors that hinder learners from achieving communicative proficiency. Therefore the research are stated as follows:

- What are the underlying factors contributing to learners' inability to achieve the set objectives in the English language learning process?
- To what extent do educational institutions facilitate opportunities for learners to communicate effectively in English?

1.3 HYPOTHESES

The underlying factors contributing to learners' underachievement of the set objectives in English learning process would be the limited opportunity to use the English language, teacher-training and professional experience, and limited resources for learning like textbooks, technological tools, etc.

Educational institutions do not facilitate students' opportunities to communicate in English. In the classroom, teachers appear as masters of the speech. They take all the time speaking while learners have to listen simply. The chance for learners to interact in the class using English becomes reduced. In the school environment and even at home, students use Kiswahili, French and Mashi to communicate with their peers. In this occasion, learners do not find any opportunity to use English. Therefore, they end up forgetting about it, which in turn negatively impacts their communicative proficiency.

1.4 STUDY OBJECTIVES

Generally, this study aims at investigating the reasons for underachievement in English language learning in Kaziba secondary schools. Specifically, the study seeks to:

- Evaluate to which extent educational institutions contribute to empower students communicative abilities,
- To evaluate the way teachers of English in Kaziba deal with teaching and learning methods, and teaching materials,
- Propose remedies to the reasons behind students' underachievement of English language learning goals in Kaziba.

2 STATE OF RESEARCH

This section presents an overview of the existing literature on the teaching and learning of English as a subject in secondary schools in the Democratic Republic of Congo, with a particular attention on Kaziba. The discussion is structured around three key areas: the teaching of English as a subject in secondary schools in Kaziba, the factors that influence foreign language learning, and the teaching of foreign languages and the achievement of learning goals. These topics will be examined in the

context of the ideas and insights proposed by researchers and scholars who have conducted research in the field of English language teaching.

2.1 TEACHING AND LEARNING OF THE ENGLISH SUBJECT IN KAZIBA SECONDARY SCHOOLS.

The teaching and learning of English in the Democratic Republic of the Congo, as well as in many other countries, represents a significant concern in the current globalised world, where English is used as a lingua franca. The importance of learning English in the Democratic Republic of the Congo, particularly in Kaziba, is heightened by the multiple roles it plays in contemporary society. It is therefore expected that the teaching and learning of English in Kaziba will meet the educational learning objectives set out for the whole country. The objective is, as Ly (2024) notes, not merely to impart knowledge of grammar or vocabulary; it is also to equip students with the ability to use English effectively in real-life contexts. This idea aligns with the national curriculum, which places greater emphasis on functional language proficiency rather than the memorisation of linguistic concepts and structures. Additionally, there is a growing recognition of the importance of cultural knowledge in the context of English language learning. Oana-Antonia (2019) emphasises this point, suggesting that an understanding of cultural nuances is crucial for effective communication in the global context. This objective points towards a significant pedagogical shift towards intercultural competence in language education.

In addition to these curriculum-related elements, some research studies have focused on Congolese English teacher training and learners' attitudes towards English language learning. To illustrate, Kakule (2022) investigated the overall efficacy of English language instruction in Congolese educational institutions. The findings of the study indicated a notable deficiency in the provision of adequate resources, coupled with the observation that teachers lacking the appropriate training were experiencing difficulties in effectively imparting knowledge of the English language. This has a detrimental impact on the learning of English. With regard to the attitude of learners, Tshotsho et al., (2015) investigation revealed that, despite the challenges they face in their learning process, Congolese students recognise the importance of English for their future opportunities. This recognition translates motivation and indicates the necessity for teachers and all educational actors to provide students with the necessary support to enable them to achieve the learning goals for English.

The state of research reveals that research on the teaching of the English language in Kaziba secondary schools is yet to be undertaken. However, an analysis of the situation on the ground indicates that it is not distinct from the broader context of the DRC. On the one hand, Ndongo Ibara (2016) concentrated his research on the diverse teaching methodologies used in English classrooms. The findings of his research were critical of the conventional lecture-based methodologies that were prevalent in the classroom. This pedagogical approach does not facilitate effective learning and comprehension of the taught materials by the learners. It is recommended that English classroom activities involve contributions from both the teacher and learners in order to stimulate classroom interactions. This approach has the potential to combat learner passiveness during English lessons. On the other hand, Kanyuka (2020) marked that communicative language teaching methods, which would facilitate effective learning, are underused in the DRC due to a lack of training for teachers. These findings highlight the pivotal role of teacher training in addressing the challenges learners encounter in their pursuit of English proficiency. Furthermore, there is a notable absence of technology integration into English teaching methodologies (Bui, 2022), which also affects the quality of foreign language learning.

In light of the aforementioned evidence, it can be deduced that the outcomes of English language teaching and learning remain inadequate. Nevertheless, levels of satisfaction with the current state of English language teaching and learning vary considerably across different regions of the country. Significant disparities are evident between urban and rural areas. In urban areas, for instance, access to quality teaching and learning resources and trained teachers has facilitated more advanced results in the attainment of English proficiency than in rural areas like Kaziba, which is confronted with considerable challenges. One of the few research studies on the teaching of English in Kaziba is that of Ndala (2022). His investigation revealed a notable lack of opportunities for students in Kaziba to practise their English. A significant proportion of students (70%) reported feeling unprepared for English national examinations as a consequence of this lack.

It is therefore recommended that further studies be conducted on the teaching and learning of English in Kaziba in order to identify solutions to the challenges currently faced by teachers and learners of English. Furthermore, it is important to note that the discrepancy between rural and urban contexts for English instruction necessitates specific attention and systemic reform by educational stakeholders to guarantee that all Congolese students achieve their language learning objectives.

2.2 FACTORS INTERACTING WITH FOREIGN LANGUAGE LEARNING

This section gives an overview of the factors that influence foreign language learning, drawing on insights from scientific discourse. It is of great importance to have an understanding of the term 'foreign language' in advance. In their 2017

publication, Blattner & White posited that a foreign language is a language that is not the native language of the speaker. It is frequently acquired for a variety of reasons, including travel, work, education, or cultural exchange. In developing this section, attention will be on teacher training and professional development, socioeconomic factors, cultural factors and technological advancement.

- **Teacher training and professional development**

The quality of teacher training and ongoing professional development is a significant factor in the efficacy of foreign language instruction. Inadequate teacher training programmes restrict educators' capacity to implement effective teaching strategies in the context of foreign language learning (Boudersa, 2016). A more recent study by Komiljonova (2024) provides a comprehensive and insightful account of the significance of teacher training. The researcher posits that investment in teacher training not only enhances the quality of instruction but also has a positive effect on students' engagement in foreign language learning, thereby improving language skills. Similarly, Ampomah, Manu & Akyina (2024) underscore the significance of mentorship programmes. In this context, they posit that mentorship can markedly enhance the confidence and competence of novice teachers in the delivery of foreign language instruction.

- **Socioeconomic Status**

Socioeconomic status represents a significant factor influencing students' access to quality foreign language education and their overall motivation to learn. The disparities in the availability of resources for students from disparate socioeconomic backgrounds represent a significant concern in the context of foreign language learning. Students from lower social backgrounds frequently lack access to essential learning materials and extracurricular language programmes, which impedes their ability to learn effectively (Vadivel et al., 2023). As Ariani and Ghafournia (2016) note, there is a direct correlation between socioeconomic factors and students' academic performance in foreign language learning. Students who have greater access to resources tend to perform better than those who lack such resources.

- **Cultural Factors**

The cultural perception of foreign languages can either facilitate or impede students' motivation to learn and engage with the language in question (Celik & Yıldız, 2019). Such perspectives can inform the design of instructional strategies and shape attitudes towards the learning of a foreign language. Furthermore, the incorporation of culturally relevant instructional materials has the potential to enhance student learning outcomes. Consequently, the incorporation of culturally relevant content into foreign language courses has been demonstrated to foster students' enthusiasm and connection to the subject matter (Yuliantari & Huda, 2023). In order to provide further support, Celik and Yıldız (2019) emphasised how exposure to the target culture via exchange programmes serves to enhance and inspire pupils to acquire the foreign language.

- **Technological Advancements**

In the contemporary era, technological advancement has transformed the accessibility and methodologies employed in the teaching of foreign languages. It is of paramount importance to integrate this technology into foreign language instruction. As posited by Fitzgerald & Evans (2024), digital tools provide opportunities for differentiated learning experiences that align with the diverse needs of students engaged in foreign language acquisition. Kiryakova & Kozhuharova (2024) maintains that educators must possess digital competencies to effectively integrate technology into their pedagogical practices. However, Haleem et al., (2022) asserts that, given the rapid advancements in technology, educational institutions must adapt their curricula to enhance foreign language learning.

- **Foreign language teaching and goal achievement**

The term "foreign language teaching" is used to describe a systematic approach to instructing students in a language that is not their native tongue. It entails the creation of opportunities for learners to engage with the language in a meaningful manner, thereby facilitating both linguistic and cultural understanding (Richards, 2017). The efficacy of foreign language teaching hinges on the provision of opportunities for learners to engage in authentic interactions. In Congolese classrooms, the creation of environments conducive to the practice of English through authentic conversations, potentially with native speakers or through exchange programmes, has the potential to significantly enhance students' language proficiency (Long, 2014). Dörnyei (2001) posits that motivation is a pivotal factor in foreign language teaching and learning. He suggests that language learning is closely linked to students' aspirations for enhanced career prospects or participation in global discourse. Therefore, encouraging students to assume responsibility for their learning process enables them to use the language in an effective manner.

In concluding this section, which has discussed the scientific literature on students' underachieved objectives for English instruction in the Democratic Republic of the Congo, it is important to note that the teaching and learning of English in DRC,

and more particularly in Kaziba, is influenced by a complex interplay of factors, including socio-economic conditions, cultural status, teacher training and professional development, and pedagogical approaches. These elements have a significant impact on the learning of foreign languages and the achievement of educational objectives. To enhance English language proficiency in the DRC, it is essential to address these interacting factors. Researchers have begun to do so by improving training for educators, increasing access to resources, and promoting a positive attitude towards language learning within the community.

3 METHODOLOGY

This investigation employed a quantitative approach to examine the potential causes of the observed deficiencies in linguistic proficiency among students of English in Kaziba secondary schools, after four years of learning. The participation and procedures were conducted in accordance with the methodology described below.

3.1 PARTICIPANTS

Nine church-based schools from different socioeconomic and cultural environments in the Kaziba chiefdom, South-Kivu (DRC) took part in the survey. The schools were classified into three groups based on a comprehensive set of criteria, including school infrastructure, teacher remuneration, working conditions, the state of latrines, and the annual average of diplomas produced. The groups were designated as follows: "large schools," "medium schools," and "small schools." Consequently, three schools were selected from each group. Out of these 9 schools, a total of 484 final class students participated in this study. Of these, 21 students were excluded due to errors or omissions in their answers or due to an insufficient command of French. Consequently, a total of 463 participants provided complete responses to the questionnaire, resulting in the data set used for this investigation. The below table summarizes the distribution of participants:

Table 1. Participants

Schools	Number of students	Gender		Percentage
		Boys	Girls	
Kashozi secondary school	37	21	16	8
Namurhera secondary school	64	39	25	14
Chirimiro secondary school	51	43	8	11
Lycee Kaziba secondary school	46	28	18	10
Lubaba secondary school	56	30	26	12
Mulama secondary school	42	29	13	9
Kabonwa secondary school	56	37	19	12
Cibanda secondary school	60	37	23	13
Kafindjo secondary school	51	27	24	11
Total	463	291	172	100

The participants were at 63% boys, (291) et 37% des filles (172), ranging from 16 to 23 years of age.

3.2 INSTRUMENT

In order to gain insight into the underlying causes of underachievement in secondary schools in Kaziba, this investigation employed a questionnaire designed by Alshammari (2022). The questionnaire comprises ten items of content, in addition to a number of demographic questions. The questionnaire was translated into French to facilitate comprehension for the participants. Prior to the commencement of data collection, the translated questionnaire was subjected to cross-checking by two duly authorised translators.

4 FINDINGS AND DISCUSSION

The results obtained from questionnaires submitted to secondary school students in Kaziba indicate that several factors contribute to the failure of linguistic skills development in English. Based on a review of the literature, several factors were identified as potential predictors of this outcome. These were then included in the questionnaire, which was designed to assess their influence. The results are presented in the table.

Table 2. Findings

Statement	Mean	SD
I feel that I need to improve my English skills	4.78	Low
My English level is okay	2.89	High
I think learning English means learning English culture	3.77	Moderate
I feel bored of learning English	3.51	Low
The English teacher has good experience	2.89	High
Teachers usually talk and we listen	4.58	Low
I care about grades more than learning English	4.56	Low
I don't want to learn English anymore	2.64	High
The textbook is difficult to understand	4.23	Low
I usually revise my English lessons at home	2.89	High

Source: Data

From these findings, the overall implications for English language learning in Kaziba Secondary Schools suggest that while students recognize the need to improve their English skills, issues such as boredom, disengagement, and inconsistent teaching quality are hindering their progress. Many students prioritize grades over actual language mastery, which could be limiting their intrinsic motivation. The textbook is seen as difficult to understand, and students show low engagement in revising their lessons at home. To improve outcomes, schools should focus on enhancing interactive, student-centered teaching, providing consistent professional development for teachers, fostering intrinsic motivation through more meaningful assessment methods, and offering additional support materials and study resources to help students effectively engage with and improve their language skills.

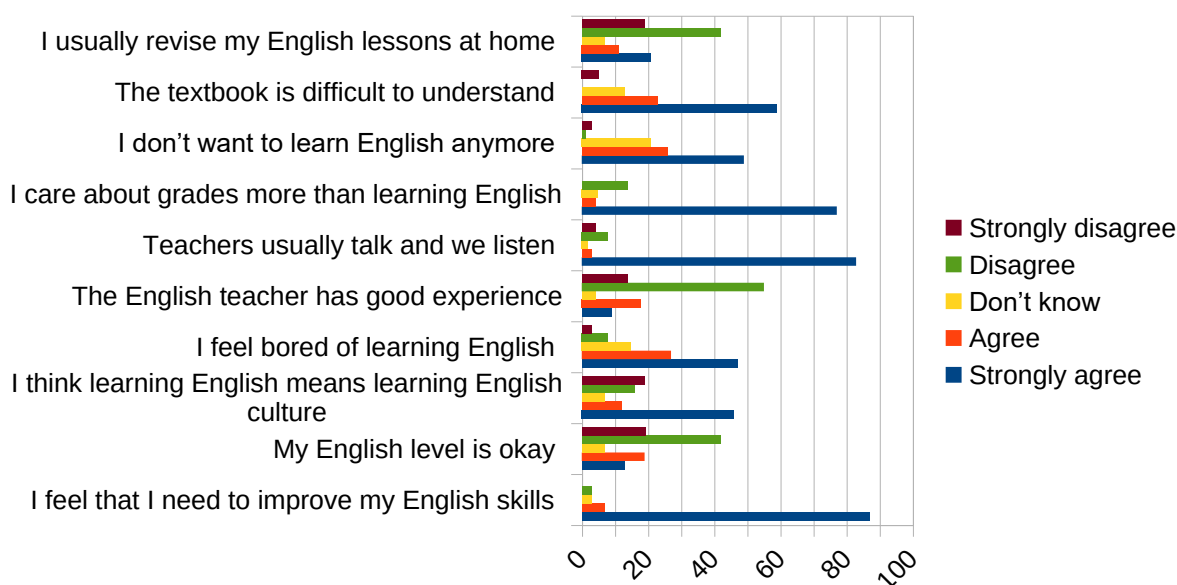


Fig. 1. Findings

The first item was designed to ascertain the extent to which learners are committed to acquiring proficiency in the English language course. A total of 87% of learners indicated that they strongly agree with the statement that they require improvement in their English skills, while 7% of them expressed agreement. This suggests that students perceive a need to develop their English language skills. This is a significant finding because it demonstrates the importance of learners understanding the value of learning English as a foreign language. The recognition of the advantages associated with the target language serves to enhance motivation and commitment to language studies. However, the feelings and practices of these participants in relation to this learning are diametrically opposed. The results for item 4, which concerns feelings of boredom with regard to learning English, item 8, which concerns the continuous desire to learn the target language, and question 10, which aims to ascertain the frequency of practice among participants in order to improve their proficiency in the target

language, indicate the opposite. Literature has indicated the necessity of practicing at a regular basis the target language; emphasizing the fact that skills such as vocabulary retention, grammatical accuracy, and pronunciation become increasingly challenging to maintain without regular use. The lack of serious engagement in learning, coupled with a lack of desire to pursue learning and a sense of boredom with the learning process, can prove detrimental to the learning process itself. Such outcomes may result in a reduction in confidence and an increase in anxiety when attempting to communicate, which are not conducive to successful learning.

The second item targeted the learners' estimation of their English proficiency. This question indicates that the participants perceive their level of English to be inadequate. This is to be expected, given that in the preceding question, they indicated a clear need to learn. 194 out of 364 participants (representing 42% of the total sample) indicated that they do not believe their level of English is satisfactory. An additional 89 participants (21%) indicated a strong disagreement with this statement. However, the data suggest that despite these self-assessments, participants continue to indicate that they prioritize grades over learning in the English course, as evidenced by the results of Item 7. This has a deleterious effect, as it fosters a superficial understanding of the language. Students tend to prioritise the memorisation of vocabulary and grammar rules over meaningful practice and understanding, with the sole objective of achieving high scores. It is worth noting that research has indicated that a competitive atmosphere is pervasive in the Congolese educational context, which has the potential to impede collaborative learning among students.

Regarding the teachers and the textbooks used in teaching English, the results show that the participants are not sure that their teachers have sufficient experience. In item 5; 255 participants i.e. 55% disagree and 64 i.e. 14% strongly disagree that their English teachers have good experience. Teaching is done with more teachers talking and students listening, as shown by the results of item 6. This can affect both the learning environment and student engagement as it limits the opportunities for learners to express themselves and practice their skills. It also creates an imbalance in the teacher-pupil dynamic. Students may end up seeing the teacher as the sole authority on language use, which discourages them from exploring their own language skills. Additional challenges to this assertion are that participants perceive language learning as a process that is only complete when coupled with an understanding of the culture of the speakers of that language. This is evidenced by the results of item 3. However, the data indicate that the textbooks themselves are a source of difficulty. A total of 357 participants, representing 59% of the total number of participants, provided a definitive confirmation that the textbooks utilized by educators are inherently challenging to comprehend. It is also important to note that, in accordance with the education policy in the DRC, English is taught in secondary schools through the English for Africa programme. This textbook has already been the subject of criticism from numerous scholars.

The aforementioned evidence suggests that the underachievement of linguistic skills in English at Kaziba secondary schools, after four years of training, can be attributed to a number of factors. The results of this research indicate that pedagogical factors, such as the textbooks and the teaching methodology employed in this course, and motivational factors, such as a lack of desire to learn and boredom with the subject matter, are responsible for these outcomes. This highlights the necessity for a more in-depth qualitative investigation within the context of Kaziba secondary schools to ascertain the underlying causes of these factors.

5 CONCLUSION

This article has been investigating the underlying causes of underachievement in English language learning in Kaziba. The results of the study were collected from nine educational institutions in Kaziba, selected according to some established criteria including socioeconomic and cultural environments, infrastructure, teacher remuneration, working conditions, and other factors. On the basis of the aforementioned criteria, the schools were regrouped into three categories, namely big schools, medium schools and small schools. In each group, three schools were selected for inclusion in the study. In all the selected schools, a total of 484 final-year students were invited to participate in the study. Following the exclusion of 21 students due to incomplete or partially completed responses, a total of 464 students provided complete responses to the questionnaire, which formed the basis of the data for this investigation.

Following an in-depth analysis, it became evident that the students' suboptimal performance in English language learning in Kaziba secondary schools can be attributed to a combination of pedagogical and motivational factors. The complexity of the textbooks and the teaching methodology employed during the course were identified as key pedagogical challenges. Additionally, motivational factors such as a lack of motivation to learn and a general disinterest in the English subject were identified as significant contributors to the students' underachievement. Furthermore, the findings indicated that teachers do not provide learners with sufficient opportunities to engage in verbal communication within the classroom setting. This observation was corroborated by 83% of the respondents. A 55% majority of respondents indicated that they had concerns regarding the teacher's experience. As evidenced in the literature, factors that impede students' proficiency in language

learning include teacher professional expertise and a lack of opportunity for language practice. These findings align with those pertaining to teacher experience and students' language exposure, corroborating the research hypothesis (1), which posits that constrained opportunities for language practice, teacher training, and professional experience can impede students' language development.

Additionally, the results of this study reveal at which extend the teaching and learning of English in kaziba is undermined by various challenges which hinder the effective learning. Yet literature review has revealed an insufficient rate of researches oriented on the teaching of English in kaziba secondary schools. This is therefore a call for further studies on the teaching of English in kaziba and other corners of the country where the teaching of English is failing to achieve the learning goals.

5.1 PEDAGOGICAL IMPLICATION

To fight against underachievement of English language learning objectives, we suggest the following:

- To teachers of English:

Use appropriate teaching methods which help learners learn and comprehend the materials they are taught. Give them meaningful times to communicate in English through classroom tasks originating from different contexts including cultural, social, etc.

- To school leaders:

Equip teachers with textbooks which will help them prepare lessons and teach valid and reliable contents to learners. Avail technological tools which will help the teacher implement well different materials. Give learners instructions to communicate in English in the school environment and organize language clubs where learners can find opportunity to use English out of the classroom.

- To the ministry of education:

Equip rural schools like Kaziba with learning resources like textbooks taking into account learners' social and cultural contexts. Avail good learning environment to rural learners by providing them infrastructures which offer them good learning conditions.

REFERENCES

- [1] Ampomah, R., Manu, J., & Akyina, K. O. (2024). Empowering Novice Teachers through Mentorship and Supported Teaching in Schools: Implications for Education Policy and Practice. *Journal of Education and Practice*, 8 (9), 1-19.
- [2] Ariani, M. G., & Ghafournia, N. (2016). The Relationship between Socio-Economic Status, General Language Learning Outcome, and Beliefs about Language Learning. *International Education Studies*, 9 (2), 89-98.
- [3] Blattner, G., & White, J. P. (2017). Leadership in Foreign Language Departments: It's Not Just Language. In *Encyclopedia of strategic leadership and management* (pp. 350-360). IGI Global.
- [4] Boudersa, N. (2016). The importance of teachers' training and professional development programs in the Algerian educational context: Toward informed and effective teaching practices. *Expériences pédagogiques*, 1 (1), 71-84.
- [5] Bui, T. H. (2022). English teachers' integration of digital technologies in the classroom. *International Journal of Educational Research Open*, 3, 100204.
- [6] Celik, B., & Yildiz, Y. (2019). The role of foreign language culture on teaching the language and learner motivation. *International Journal of Social Sciences & Educational Studies*, 5 (4), 150-161.
- [7] Dörnyei, Z. (2001). *Motivational strategies in the language classroom* (Vol. 10). Cambridge: Cambridge University Press.
- [8] Fitzgerald, M. S., & Evans, K. B. (2024). Integrating Digital Tools to Enhance Access to Learning Opportunities in Project-based Science Instruction. *TechTrends*, 68 (5), 882-891.
- [9] Haleem, A., Javaid, M., Qadri, M. A., & Suman, R. (2022). Understanding the role of digital technologies in education: A review. *Sustainable operations and computers*, 3, 275-285.
- [10] Kakule, H. H. (2022). Pedagogical proposals for the improvement of English teaching and learning in the Democratic Republic of the Congo. Case of Goma secondary schools. *Annales de l'UNIGOM*, 12 (1).
- [11] Kanyuka, R. (2020). Communicative Language Teaching in DRC: Opportunities and Challenges. Lubumbashi: Presses Universitaires de Lubumbashi.
- [12] Katabe, I. M., & Tibategeza, E. R. (2023). Language-in-Education policy and practice in the democratic Republic of Congo. *European Journal of Language and Culture Studies*, 2 (1), 4-12.

- [13] Kiryakova, G., & Kozhuharova, D. (2024). The digital competences necessary for the successful pedagogical practice of teachers in the digital age. *Education Sciences*, 14 (5), 507.
- [14] Komiljonova, M. A. (2024). The impact of Teacher Training on Student Learning. *Academic research in educational sciences*, 5 (CSPU Conference 1), 733-739.
- [15] Long, M. (2014). Second language acquisition and task-based language teaching. John Wiley & Sons.
- [16] Ly, C. K. (2024). Teachers' roles on English language teaching for promoting learner-centered language learning: A theoretical review. *International Journal of TESOL & Education*, 4 (2), 78-98.
- [17] Ndala, R. (2022). Assessing Language Proficiency Among Congolese Students: A Case Study from Kaziba. Goma: Goma University Press.
- [18] Ndongo Ibara, Y. P. (2016). An Empirical Review of English Language Teaching in Congo. *Studies in English Language Teaching*, 400-415.
- [19] Oana-Antonia, I. L. I. E. (2019). The Intercultural Competence. Developing effective Intercultural Communication Skills. *In International conference Knowledge-Based Organization* (Vol. 25, No. 2)
- [20] Richards, J. C. (2017). *Curriculum development in language teaching*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [21] Tshotsho, B., Mumbembe, L., & Cekiso, M. (2015). Language challenges facing students from the Democratic Republic of Congo in a university in South Africa. *International Journal of Educational Sciences*, 8 (3), 597-604.
- [22] Vadivel, B., Alam, S., Nikpoo, I., & Ajanil, B. (2023). The impact of low socioeconomic background on a child's educational achievements. *Education Research International*, 2023 (1), 6565088.
- [23] Yuliantari, S., & Huda, T. (2023). Integration of culturally-responsive teaching in English learning. *Pubmedia Jurnal Pendidikan Bahasa Inggris*, 1 (1), 8-8.

Inventaire des plantes aphrodisiaques vendues sur le marché central de la ville de Kenge, Province du Kwango en République Démocratique du Congo (RDC)

[Inventory of aphrodisiac plants sold at the central market of the city of Kenge, Kwango Province in the Democratic Republic of the Congo (DRC)]

Ruffin NSIELOLO KITOKO¹⁻²

¹Université du Kwango, BP. 41 Kinshasa I, Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement, Laboratoire de Systématique végétale, Biodiversité et Gestion de Ressources Naturelles (LSVBandGRN), Kenge, RD Congo

²Université Pédagogique Nationale, Faculté des Sciences et Technologie, Département de Biologie, BP. 8815 Kinshasa, Ngaliema, Laboratoire d’Ethnobiologie, RD Congo

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The aim of this study is to contribute to the knowledge of certain medicinal plants and their traditional uses on sexual weaknesses in the town of Kenge in the Democratic Republic of Congo. A survey was carried out among 56 traditional practitioners and sellers of aphrodisiac products, sampled using the «snowball» method. The ethnobotanical data collected, supplemented by ecological information, enabled us to identify 27 plant species, divided into 18 families and 14 botanical orders. The results show that the most commonly used species belong to the Fabaceae (14.8%), *Amaranthaceae* and *Zingiberaceae* (11.1%), *Apocynaceae* and *Euphorbiaceae* (7.4%) families, in the *Fabales*, *Malpighiales* and *Zingiberales* orders respectively. Among the organs most frequently used to treat sexual weaknesses, roots are cited in first place with 34%, leaves and seeds come in second and third place at 24 and 17% respectively, and the combination of these organs is also sometimes reported.

The study showed the importance of traditional medicine, which is justified by the specific diversity of local indigenous species present and the endogenous knowledge of traditional practitioners on the use of these species.

KEYWORDS: inventory, aphrodisiac plants, Kenge, DRC.

RESUME: L’objectif de cette étude est de contribuer à la connaissance de certaines plantes médicinales et à leurs usages traditionnels sur les faiblesses sexuelles dans la ville de Kenge en République Démocratique du Congo. Une enquête est réalisée auprès de 56 tradipraticiens et vendeurs des produits aphrodisiaques échantillonnés par la méthode « boule de neige ». Les données ethnobotaniques recueillies et complétées par des informations d’ordre écologique ont permis d’identifier 27 espèces végétales, réparties en 18 familles et 14 ordres botaniques. Il ressort de ces résultats que les espèces les plus utilisées appartiennent aux familles de *Fabaceae* (14,8%), *Amaranthaceae* et *Zingiberaceae* (11,1%), *Apocynaceae* et *Euphorbiaceae* (7,4%) réparties respectivement dans l’ordre de *Fabales*, *Malpighiales* et *Zingiberales*. Parmi les organes les plus utilisés pour soigner les faiblesses sexuelles, les racines sont citées en première position avec 34%, les feuilles et les graines viennent en deuxième et troisième position soit 24 et 17%, la combinaison de ces organes est parfois aussi signalée.

L’étude a montré l’importance de la médecine traditionnelle qui se justifie qui utilise la diversité spécifique des espèces indigènes locales présentes et du savoir endogène des tradipraticiens sur l’usage de ces espèces.

MOTS-CLEFS: inventaire, plantes aphrodisiaques, Kenge, RDC.

1 INTRODUCTION

Sur les différents marchés de la République du Démocratique du Congo (RDC), il s'observe depuis les décennies l'utilisation par les hommes des certains organes (tige, feuille, racine, fruit) des plantes sauvages ou cultivées dans le but de satisfaire sexuellement leurs partenaires. Cette pratique connue sous le nom de « renforcement de capacité » selon les usagers permet de mener une vie sexuelle active. Généralement, le constat est fait qu'avec l'avancement en âge, l'organisme commence à s'affaiblir et certains organes du corps cessent de remplir correctement leurs fonctions, parfois le trouble érectile s'installe.

Or la sexualité est taboue chez l'africain, le sujet doit donc être abordé avec respect et humilité [1]. Alors qu'une vie sexuelle équilibrée est un facteur important, les troubles érectiles peuvent avoir des répercussions psychologiques graves (dépression, angoisse, surmenage, déconsidération, etc.) et menacer l'existence même d'un couple. Le fait de prendre correctement ces troubles en charge permet de sauver un couple [2]. Les troubles érectiles ont de multiples origines, parfois physiques et psychologiques avec des différents facteurs éthologiques pouvant accompagner et coexister simultanément chez un même individu [3].

Selon [4], la dysfonction érectile est l'incapacité permanente ou temporaire pour un homme à obtenir ou à maintenir une érection suffisante après plusieurs exercices d'accouplement.

La dysfonction érectile est une affection qui touche près d'un homme sur trois à partir de 50 ans et plus d'un sur deux après 70 ans, elle est souvent multifactorielle, cependant, l'érection est un phénomène physiologique complexe impliquant de nombreux facteurs physiologique et psychologiques [5]. Pour faire, face à cette situation, de nombreuses recettes à base de plantes sont utilisées en médecine traditionnelle africaine pour la prise en charge de certaines faiblesses sexuelles [1].

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 AIRE D'ÉTUDE

Notre étude est réalisée dans la commune de Manonga, ville et territoire de Kenge, province du Kwango en République Démocratique du Congo (**Figure1**). La zone d'étude a un climat du type du type Aw₃ suivant la classification de Köppen, climat tropical humide avec deux saisons, une saison sèche à 3 mois et une saison pluvieuse à 9 mois. La saison pluvieuse commence au mois de septembre jusqu'au mois de mai (soit 9 mois) et la saison sèche débute de mi-mai à fin août (soit 3 mois) [6].

La moyenne annuelle de hauteur pluviométrique est de 1600 mm. Elle atteint 1700 mm au centre-est de la région et 1500 mm dans la partie méridionale. Les températures moyennes mensuelles varient entre 25 et 28°C. Le maxima moyen s'élève à 25°C en saison pluvieuse et peuvent atteindre 31°C, tandis que le minima moyen s'abaisse respectivement à 17°C et 13°C en saison sèche. Sur le plan hydrographique, le territoire de Kenge dans son ensemble a un réseau hydrographique plus ou moins dense avec ses grandes rivières comme Kwango, Wamba et Bakali et leurs affluents [5], [7], [8], [9].

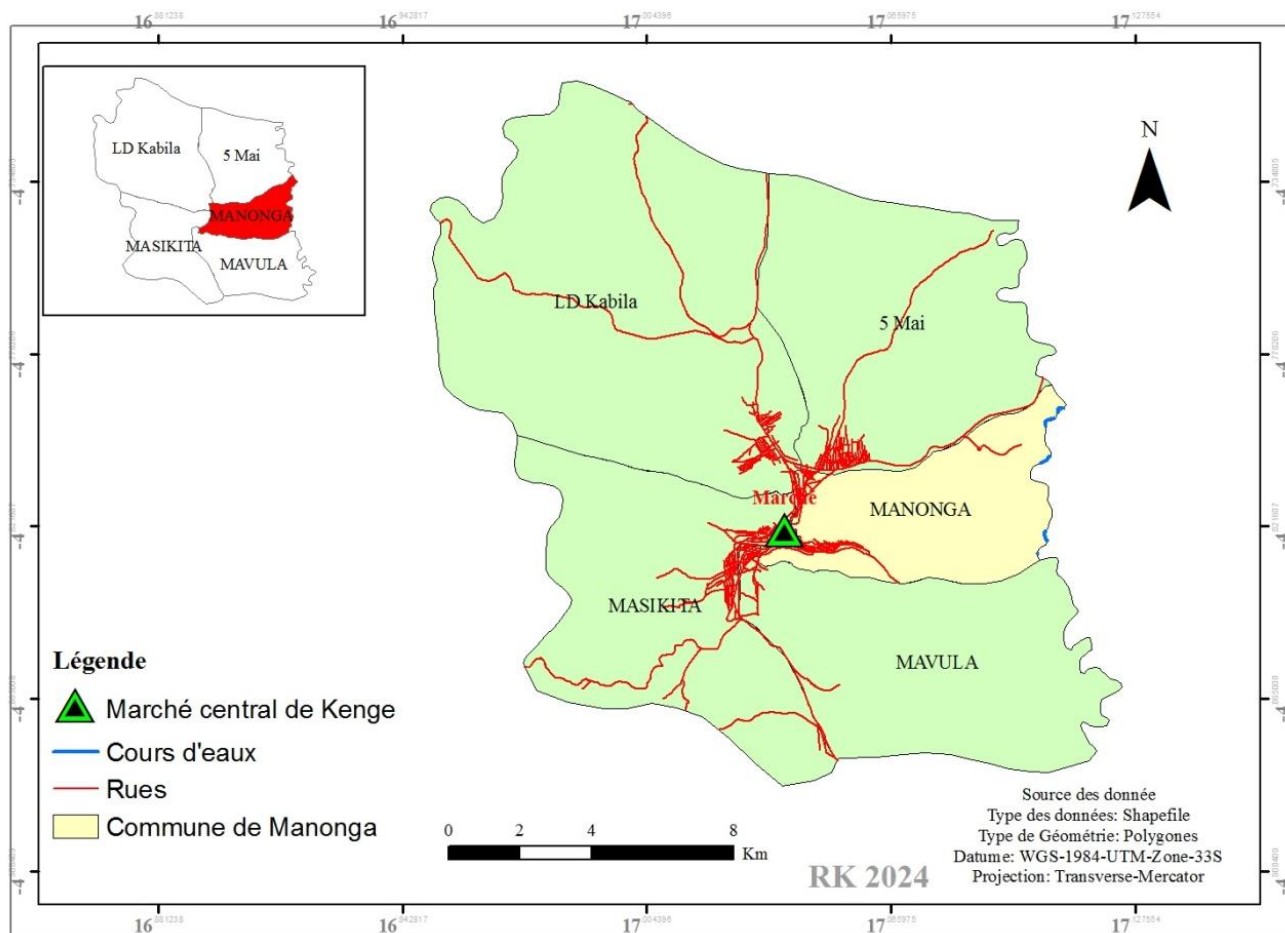


Fig. 1. Ville de Kenge

2.2 MÉTHODES D'ÉTUDE

Pour collecter nos données sur terrain, un questionnaire, accompagné des interviews structurées et des observations participatives ont été effectuées entre mars et juin 2024 auprès de 56 tradipraticiens et vendeurs des produits aphrodisiaques échantillonnés par la méthode de « boule de neige » comme procédé par [10].

L'échantillonnage en boule de neige ou l'échantillonnage par référence en chaîne est une technique largement utilisée pour mener des enquêtes, elle permet d'atteindre un enquêté, sujet individuel qui fournit des informations sur un autre sujet, puis la chaîne se poursuit. Ce schéma est poursuivi jusqu'à ce qu'un nombre suffisant de sujets soit atteint pour l'échantillon [11].

Un GPS (Garmin 60 Cx) a servi à la prise des coordonnées géographiques du site. Les plantes utilisées à de fins aphrodisiaques ont été identifiées les unes directement sur place, les autres à l'Herbarium de Botanique Systématique du Département de Biologie à l'Université de Kinshasa.

2.3 TYPES BIOLOGIQUES (Tb)

Les principaux types biologiques considérés sont ceux proposés par Raunkiaer (*Life forms*) actualisés par [21] en se basant aux caractéristiques morphologiques issues des adaptations des espèces aux conditions du milieu comme le soulignent [22]. Ainsi, nous pouvons citer:

- Les Phanérophytes (Ph): arbres, arbustes et arbrisseaux, lianes;
- Les Chaméphytes (Ch): sous-arbrisseaux;
- Les Hémicryptophytes (Hc): herbacées pérennes;
- Les Géophytes (G): plantes à tubercules, rhizomes ou bulbes;
- Les Thérophytes (Th): plantes annuelles.

2.4 TYPES PHYTOGÉOGRAPHIQUES

Les types phytogéographiques (TP) mis en évidence sur terrain sont ceux de [23], [24], [25], [26] basés sur les espèces tenant compte des grandes subdivisions chorologiques pour l'Afrique, il s'agit:

- 1) Espèces à très large distribution qui regroupent:
 - Cosmopolites (Cos) = espèces largement répandues à la surface du globe;
 - Pantropicales (Pan) = espèces réparties dans toutes les régions tropicales: Asie, Afrique, Amérique;
 - Afro-néotropicales (Ant) = plantes connues dans l'ensemble de l'Afrique tropicale;
 - Afro-américaines (AA) = espèces présentes en Afrique et en Amérique tropicale;
- 2) Espèces africaines à large distribution qui renferment:
 - Afro-malgaches (AM) = espèces distribuées en Afrique et au Madagascar;
 - Afro-orientales et australes (AOA);
 - Afro-tropicales (AT)
 - Afro-tropicales (AT) = espèces distribuées dans toute l'Afrique tropicale;
- 3) Espèces régionales guinéo-congolaises qui renferment:
 - Bas-guinéennes congolaises (BGC);
 - Bas-guinéennes (BG);
 - Congolaises (Con);
- 4) Espèces de transition régionale dont on distingue:
 - Guinéo-congolaises et soudaniennes (GCS)
 - Guinéo-congolaises et zambéziennes (GCZ)
 - Plurirégionales africaines (PA) = espèces dont l'aire de distribution s'étend à plusieurs
- 5) Centres Régionaux d'endémisme:
 - Guinéo-congolaises (GC) = espèces largement distribuées dans la Région guinéo-congolaise;
 - Soudano-guinéennes (SG) = espèces présentes à la fois dans les Centres Régionaux d'endémisme Soudanien et guinéo-congolais.

2.5 TYPE FOLIAIRE ET TYPE DE DIASPORE

Pour chaque espèce, le type de dimensions foliaires ainsi que le type de diaspore ont été pris en compte comme définis par [9] et [26]. Pour la forme abrégée de chaque type foliaire, le quatre premières lettres et trois pour le type de diaspore sont retenues avec:

Aphylles (Aphy), sans feuilles ou feuilles extrêmement caduques;

Leptophylles (Lepto), inférieures à 0,2 cm²;

Nanophylles (Nano): 0,2–2 cm²;

Microphylles (Micro): 2–20 cm²;

Mésophylles (Méso): 20–200 cm²;

Macrophylles (Macro): 2–20 dm²;

Mégaphylles (Méga): > 20 dm²

Autochores: les végétaux qui assurent eux-mêmes la dispersion de leurs diaspores dans ce groupe, on distingue:

Ballochore (Bal), diaspores éjectées par la plante mère;

Barochore (Bar), diaspores lourdes;

Sclérochore (Scl), diaspores assez légères et emportées par le vent;

Hétérochores: diaspores extrêmement légères, sont classées dans ce groupe les catégories suivantes:

Desmochore (Des): diaspores épineuses, accrochantes;

Pogonochore (Pog): diaspores à appendices plumeux ou poilus;

Pléiochore (Plé), diaspores ayant un dispositif de flottaison;

Ptérochore (Ptér), diaspores ayant un appendice membraneux, sec et translucide "carieux"

Sarchochore (Sar), diaspores juteuses, totalement ou partiellement charnues

Les spectres pondérés de [27] ont servi pour mettre en évidence la dominance de chaque type biologique et phytogéographique.

2.6 ANALYSE ET TRAITEMENT DES DONNÉES

Les différentes espèces végétales inventoriées sur le marché ont été identifiées à l'aide de la combinaison de diverses clés [12], [13], [14], [15], la classification botanique a tenu compte d'Angiosperm Phylogeny Group (APG IV) de [16]. L'actualisation de certains noms scientifiques et familles botaniques des espèces a été faite avec [16] et [18]. Les données ont été saisies à l'aide de Microft Excel 2010. L'analyse de la variance à un facteur (one-way analysis of variance) entre les groupes et à l'intérieur des groupes a été facilitée à l'aide de logiciel Past version 4.03 avec:

$$\text{Moyenne de carré} = \frac{\text{Somme de carré}}{\text{ddl}} \quad (1)$$

$$F = \frac{\text{Carré moyen de traitement}}{\text{Carré de l'erreur}} \quad (2)$$

$$\text{ddl entre traitement} = N-1; \text{ddl à l'intérieur de traitement} = n. (N-1). \quad (3)$$

$$\text{Calcul de } F = \text{Variance entre groupes} / \text{Variance à l'intérieur de groupes}. \quad (4)$$

Les moyennes statistiques ont été calculées en utilisant les statistiques de [19] et [20], l'effectif ni d'une modalité xi est égal au nombre d'individus de la population qui possèdent cette modalité xi.

$$N = n1 + n2 + n3 + nm = \sum_{i=1}^m ni \quad (5)$$

Avec m étant le nombre de modalités possibles sur le caractère étudié.

La fréquence d'une modalité d'effectif étant le rapport exprimé par

$$f = \frac{ni}{N} \text{ en multipliant par } 100, \text{ nous avons obtenu le pourcentage} \quad (6)$$

$$P = \frac{n}{N} \times 100 \quad (7)$$

Avec :

P = pourcentage (%)

ni = effectif partiel

N = effectif total

3 RÉSULTATS

3.1 ENQUÊTE ETHNOBOTANIQUE

27 espèces végétales ont été identifiées comme l'indique le **tableau 1** ci-dessous, il ressort des résultats que les espèces les plus utilisées sont *Mondia whitei*, *Strychnos cocculoides*, *Zingiber officinale* qui totalisent chacune 6,4%. En deuxième position viennent *Canarium schweinfurthii*, *Cola acuminata*, *Dichrostachys cinerea*, *Dorstenia psilurus*, *Dorstenia psilurus*, *Manihot esculenta* et *Millettia drastica* qui totalisent 4,6% pour chacune de ces espèces, il convient de souligner que le mode d'usage et le choix de l'espèce dépendent des usagers, mais *Manihot esculenta* et *Arachis hypogaea* sont dans la plupart de cas utilisées simultanément à l'état frais grâce à leur polysaccharide riche en amidon qui justifierait la performance et la production de spermes.

Tableau 1. Liste des espèces des plantes aphrodisiaques identifiées

N°	Espèces	TB	TP	TF	TD	NC	%
1.	<i>Aframomum melegueta</i>	mGrh	GC	Méso	Sar	2	1.8
2.	<i>Aframomum angustifolium</i>	mGrh	BGC	Méso	Sar	3	2.8
3.	<i>Allium cepa</i>	Geob	Cos	Nano	Sar	2	1.8
4.	<i>Allium sativum</i>	Geob	Cos	Nano	Sar	3	2.8
5.	<i>Annona senegalensis</i>	McPh	BG	Méso	Sar	4	3.7
6.	<i>Apium graveolens</i>	Geob	Cos	Nano	Scl	3	2.8
7.	<i>Arachis hypogaea</i>	Thd	Pan	Nano	Scl	4	3.7
8.	<i>Canarium schweinfurthii</i>	McPh	GC	Méso	Pog	5	4.6
9.	<i>Chenopodium ambrosioides</i>	Thd	Cos	Nano	Scl	1	0.9
10.	<i>Cola acuminata</i>	MsPh	GC	Méso	Sar	5	4.6
11.	<i>Desmodium velutinum</i>	Thd	AT	Micro	Scl	2	1.8
12.	<i>Dichrostachys cinerea</i>	MsPh	AT	Lep	Bal	5	4.6
13.	<i>Dorstenia psilurus</i>	Chd	BCG	Méso	Bal	5	4.6
14.	<i>Garcinia huillensis</i>	MgPh	GC	Méso	Sar	2	1.8
15.	<i>Garcinia kola</i>	MgPh	BC	Méso	Sar	2	1.8
16.	<i>Hymenocardia acida</i>	MsPh	BGC	Nano	Ptér	5	4.6
17.	<i>Jatropha curcas</i>	MsPh	Pan	Méso	Bal	2	1.8
18.	<i>Landolphia lanceolata</i>	Grh	GC	Méso	Scl	5	4.6
19.	<i>Lippia multiflora</i>	Chd	AT	Méso	Scl	2	1.8
20.	<i>Manihot esculenta</i>	GT	Pan	Méso	Bal	5	4.6
21.	<i>Millettia drastica</i>	MsPh	BGC	Micro	Bal	5	4.6
22.	<i>Mondia whitei</i>	Phgr	AT	Méso	Sar	7	6.4
23.	<i>Pentadiplandra brazzeana</i>	Phgr	GC	Méso	Sar	4	3.7
24.	<i>Quassia africana</i>	MsPh	BGC	Méso	Sar	4	3.7
25.	<i>Sesamum indicum</i>	Thd	GC	Micro	Bal	4	3.7
26.	<i>Strychnos cocculoides</i>	MsPh	GSZ	Méso	Sar	7	6.4
27.	<i>Zingiber officinale</i>	Grh	AT	Méga	Sar	7	6.4
Total						105	100.0

Légende: TB: Type Biologique; TP: Type Phytogéographique; TF: Type Foliaire; Type de Diaspore; NC: Nombre de citation

3.2 FAMILLES ET ORDRES BOTANIQUES INVENTORIÉS

Il ressort de nos enquêtes que 18 familles botaniques ont été identifiées. Les résultats de la **Figure 2** ci-contre montrent que la famille des *Fabaceae* est la plus représentée, elle vient en première position et totalise à seule 14,8%; en deuxième position nous avons les familles des *Amaranthaceae* et des *Zingiberaceae* qui représentent 11,1%, les familles des *Apocynaceae* et *Euphorbiaceae* viennent en troisième position avec 7,4%. Les autres familles sont les moins représentées dans l'ordre de 3,7%.

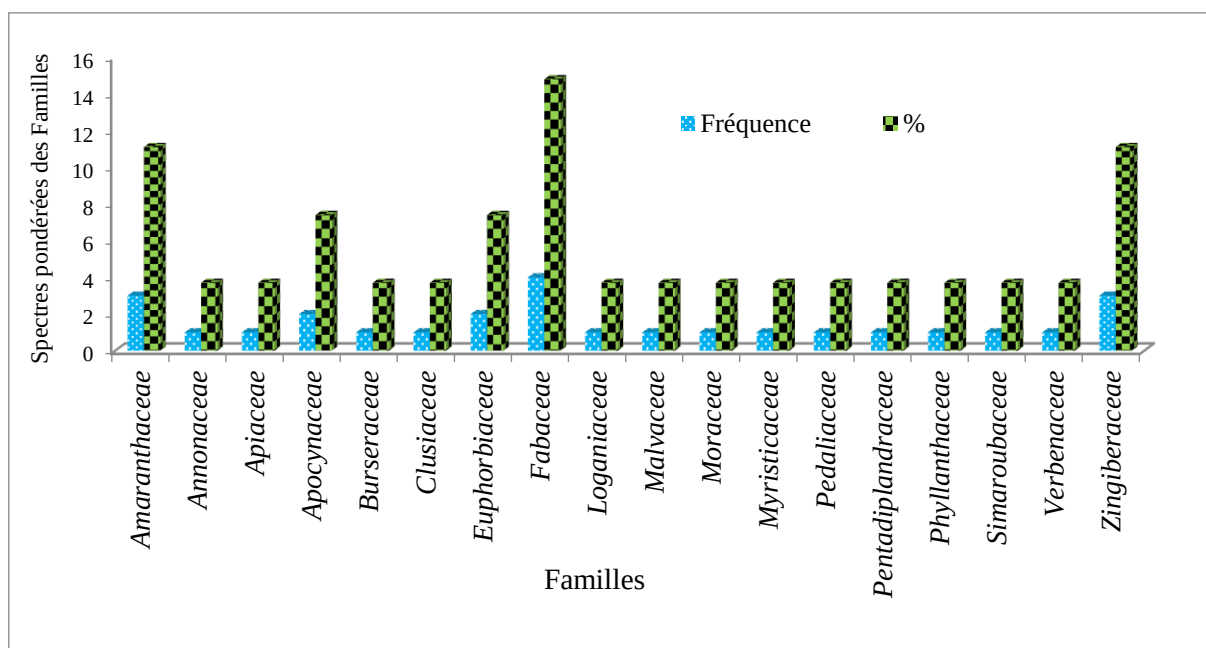


Fig. 2. Spectres des familles botaniques inventoriées

En systématique végétale, l'ensemble des familles forme l'ordre, ainsi les résultats de la **figure 3** ci-haut montrent que trois ordres viennent en première position, il s'agit de *Malpighiales*, *Fabales* et *Zingiberales* respectivement dans les proportions de 18,5%, 14,8% et 11,1%.

Il sied de remarquer que les ordres botaniques (**Figure 3**) sont également liés aux familles et aux plantes aphrodisiaques les plus utilisées dans la ville de Kenge comme *Garcinia huillensis* (Musunda), *Garcinia kola* (Ngadiadia), *Zingiber officinale* (Tangawishi), *Aframomum melegueta* (Mundongo en Lingala).

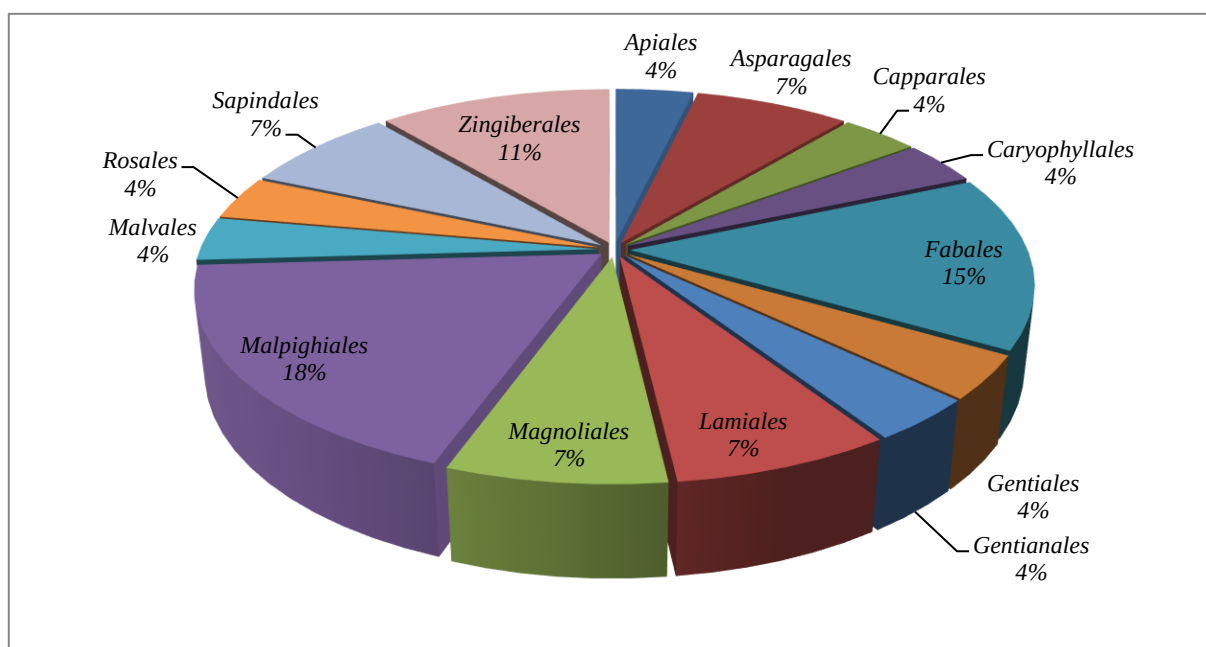


Fig. 3. Ordres botaniques inventoriés

3.3 ORGANES DES PLANTES UTILISÉS

Les résultats de la **figure 4** ci-dessous présentent les organes utilisés parmi les plus, les racines sont en première position, nombre de citation 10 soit 34% (*Quassia africana*, *Mondia whitei*, *Annona senegalensis*) suivi des feuilles, nombre de citation 7 soit 24%. Les graines viennent en troisième position avec 5 comme nombre citation soit 17% (*Cola acuminata*, *Arachis hypogaea*) les autres organes sont faiblement représentés avec 7% pour les tiges (*Allium Cepa*, *Hymenocardia acida*) et 3% pour les autres combinaisons comme tige, racine, graine et feuilles (*Dichrostachys cinerea*).

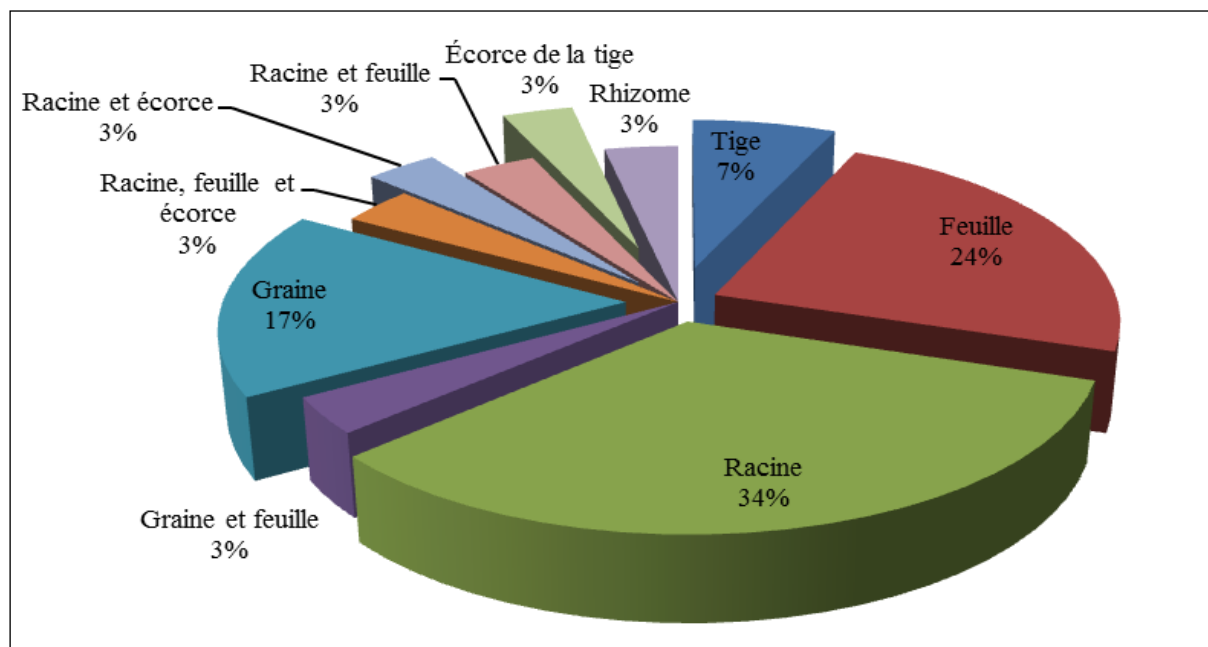


Fig. 4. Organes utilisés

3.4 HABITATS DES ESPÈCES

Les espèces végétales utilisées par la population de cette cité pour des raisons aphrodisiaques proviennent de quatre habitats qui sont forêt, savane, cultivé et mixte. Les espèces du milieu forestier représentent 22,2% parmi lesquelles, il y a *Canarium schweinfurthii*, *Aframomum sanguineum*, *Pentadiplandra brazzeana*, *Dorstenia psilurus*, *Quassia africana*, etc. La savane a 6 espèces soit 29,6% où habitent *Hymenocardia acida*, *Lippia multiflora*, *Garcinia huillensis*, *Annona senegalensis*, *Dichrostachys cinerea* et *Strychnos cocculoides* etc., 9 espèces soit 33,3% sont cultivées *Jatropha curcas*, *Manihot esculenta*, *Allium cepa*, *A. sativum*, *Arachis hypogaea*, etc. 4 espèces soit 14,8% proviennent de la combinaison de ces trois milieux par activités anthropiques que nous qualifions de milieu mixte tel est le cas de *Mondia whitei*, *Aframomum melegueta*, *Millettia drastica* et *Garcinia kola* (**Figure 5**).

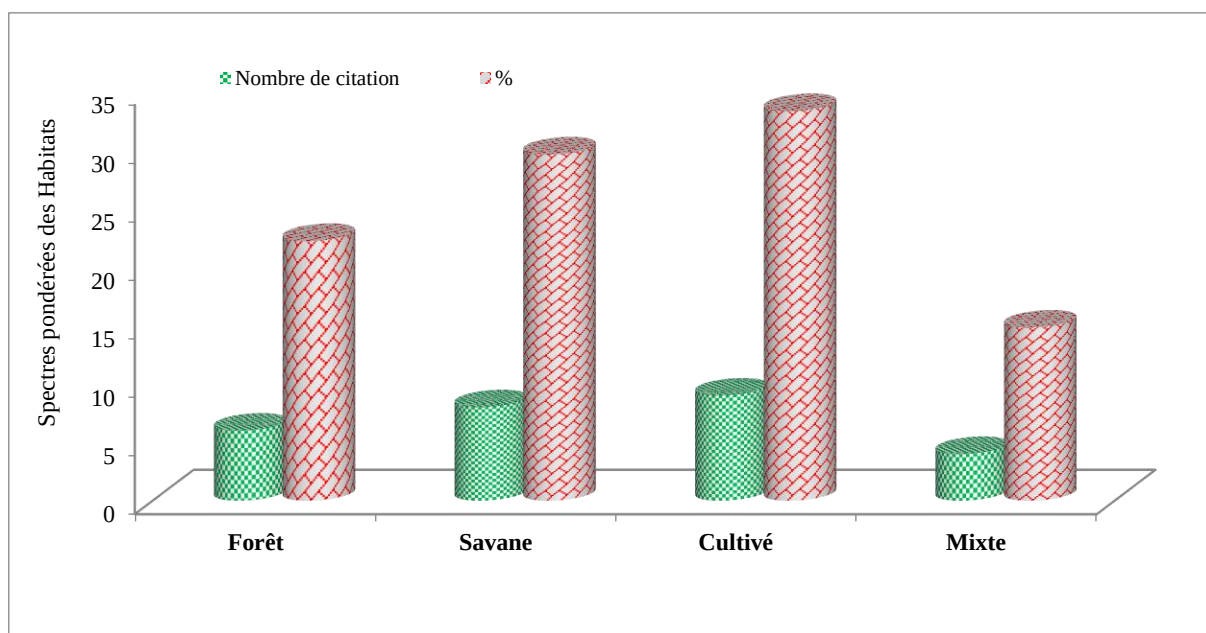


Fig. 5. Habitats des espèces

3.5 ANALYSE DES TYPES BIOLOGIQUES

Les types biologiques (**figure 6**) les plus représentés sont les Mésophanérophytes (MsPh), (espèces végétales dont la hauteur atteint 10 à 20 mètres) avec 7 spectres bruts soit 25,9% de spectres pondérés, les espèces qui caractérisent ce groupe sont essentiellement *Cola acuminata*, *Hymenocardia acida*, *Millettia drastica*, *Quassia africana*, *Dichrostachys cinerea*. Les Microphanérophytes (Mcph), (espèces végétales dont la hauteur est de 2-10 mètres) et les Thérophytes dressés (Thd), plantes qui passent la mauvaise saison sous forme de graines viennent en deuxième position avec 4 spectres bruts soit 14,8%, les espèces les utilisées dans cette catégorie sont *Annona senegalensis*, *Sesamum indicum*, *Arachis hypogaea*. Par contre, les Géophytes bulbeux (Geob), Chaméphytes dressés (Chd), les Géophytes rhizomateux (Grh), les Megagéophytes rhizomateux (mGrh) et les Phanérophytes grimpants (Phgr) sont les moins représentées avec 7,4% et 3,7%.

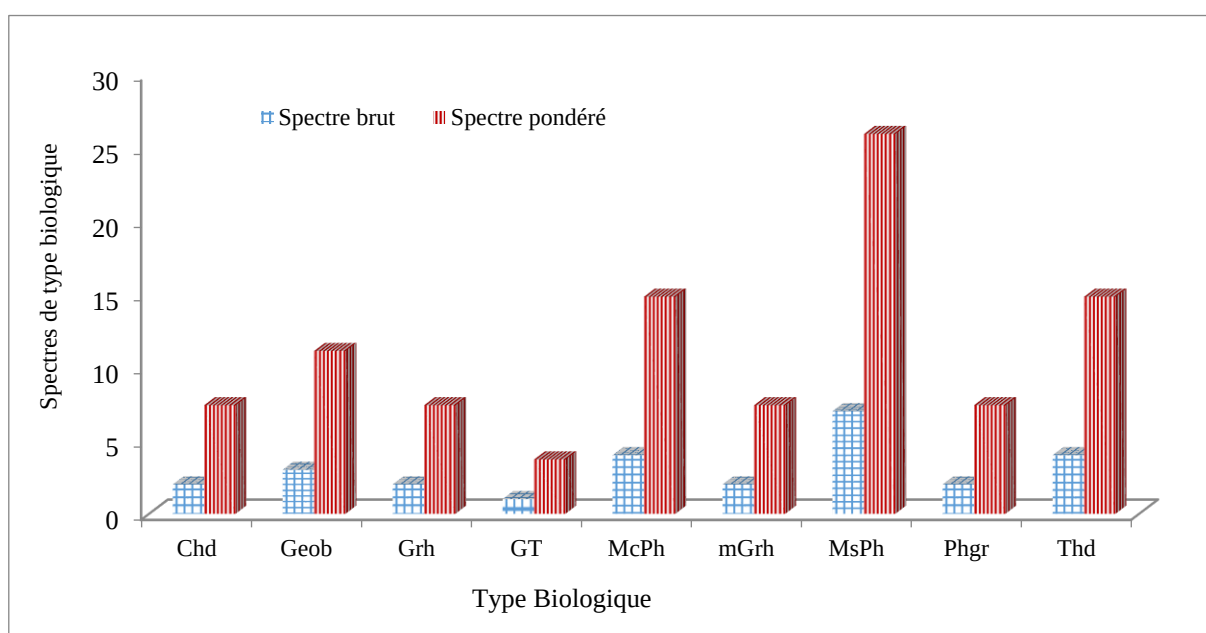


Fig. 6. Analyse des types Biologiques

3.6 ANALYSE DES TYPES FOLIAIRES

L'analyse de type foliaire de la **figure 7** illustre que les Mésophylles (Méso) dont la surface foliaire est comprise entre 20–200 cm² sont les plus dominants et présentent à eux seuls un spectre brut de 14 soit 51,9%. Les Nanophylles (Nano) dont la surface foliaire est comprise entre 0,2–2 cm² viennent en deuxième position avec 22,2%, les Microphylls (Micro) avec 2-20 cm² représentent 14,8% pendant que les Mégaphylles (Méga) > 20 dm² et les Leptophylles (Lepto), inférieures à 0,2 cm² sont faiblement représentés avec 7,4 contre 3,7%.

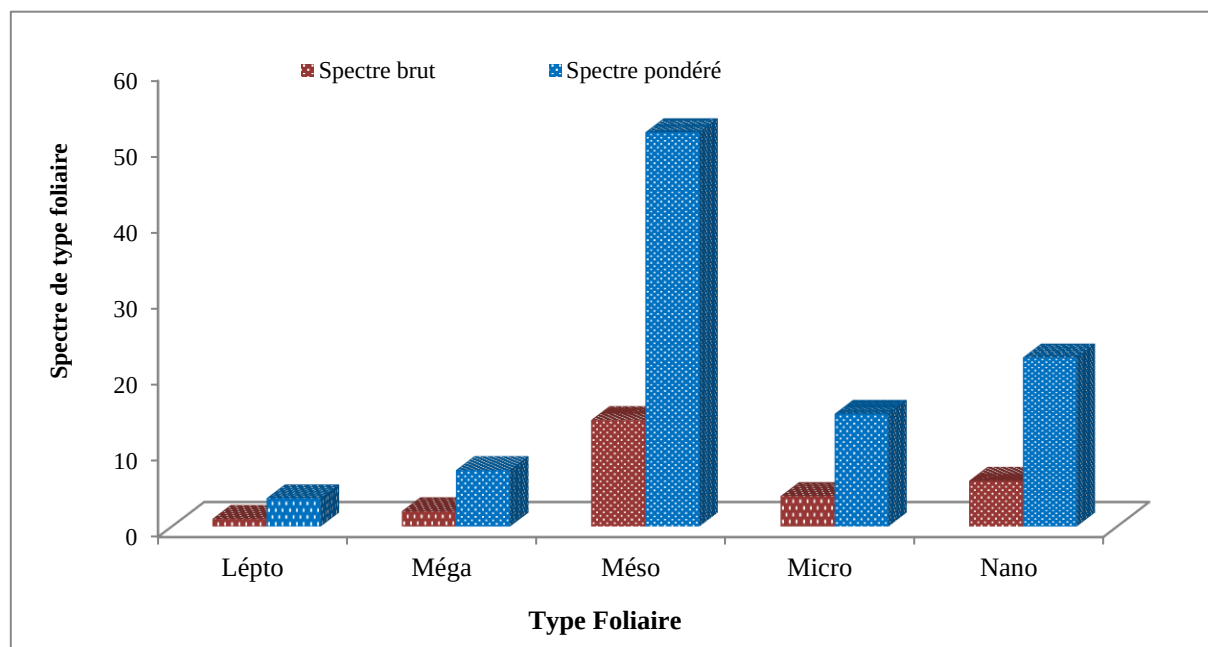


Fig. 7. Répartition des espèces selon le type foliaire

Le mode de dissémination des espèces varie selon le type des diaspores (**Figure 8**), il ressort de ces résultats que les Sarchochore (Sar) sont les plus dominants avec 55,6% dont les espèces recensées dans cette catégorie sont entre autres *Annona senegalensis*, *Arachis hypogaea*, *Cola acuminata*, *Garcinia kola*, *Strychnos cocculoides*. Les Ballochore (Bal) dont le mode de dispersion se fait par la plante elle-même sont également représentatifs avec 22,2% les espèces identifiées pour ce mode de dissémination sont *Millettia drastica*, *Dichrostachys cinerea*. Les Pogonochore (Pog) et les Ptérochore (Ptér) sont faiblement représentés avec 3,7%.

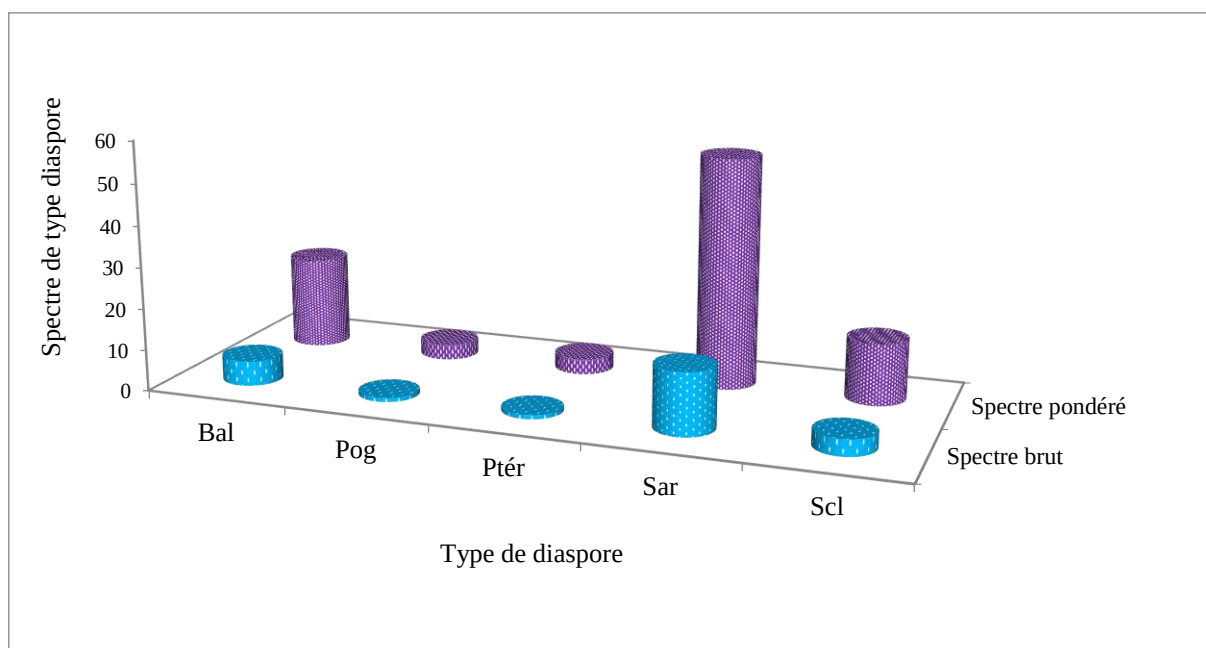


Fig. 8. Répartition des espèces selon le type de diaspore

3.7 ANALYSE DES TYPES PHYTOGÉOGRAPHIQUES

L'analyse de spectre brut et pondéré de distribution phytogéographique (**Figure 9**) montre que les espèces Guinéo-congolaises (GC) ont largement dominées et viennent en première position avec 8 espèces soit 29,6%. Les espèces Cosmopolites (Cos) et Afro-tropicales (AT) viennent en deuxième position avec respectivement 5 espèces soit 18,5%. Les Cosmopolites (Cosm) occupent la troisième place avec 4 espèces soit 14,8%. Les espèces Bas-guinéennes (BG) et Guinéo-congolaises et zambéziennes (GCZ) sont faiblement représentées avec une espèce soit 3,7 % pour chaque type phytogéographique.

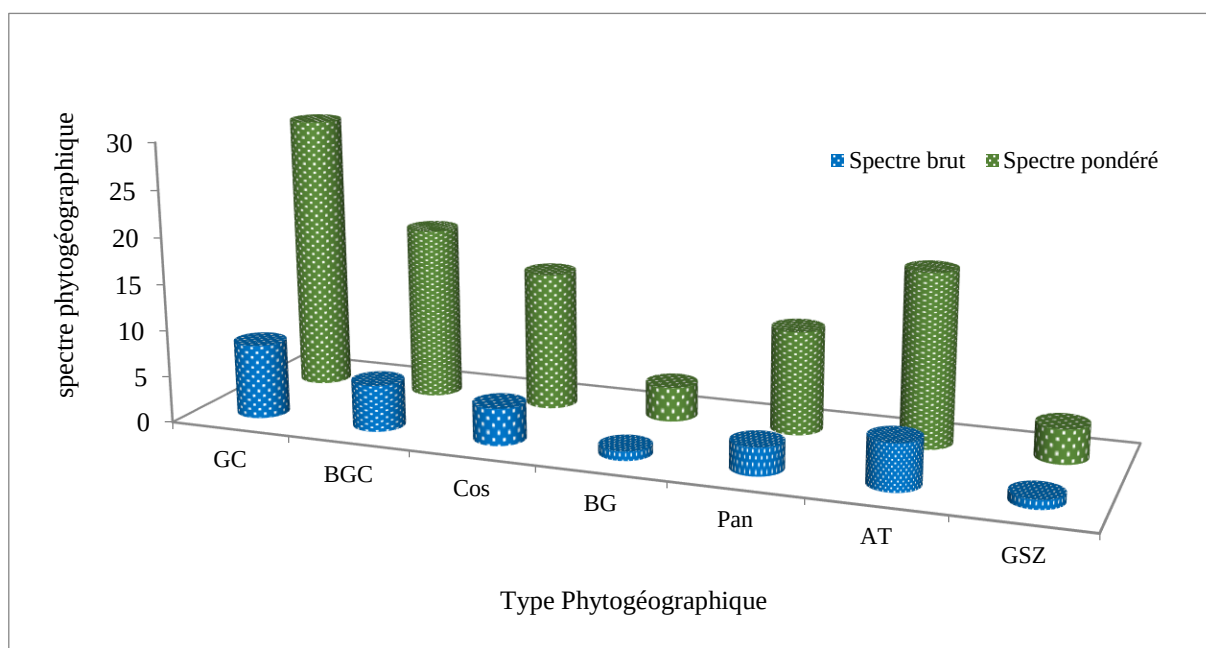


Fig. 9. Spectres phytogéographiques des espèces

4 DISCUSSION

En recourant aux valeurs d'utilisation, certaines espèces des plantes notamment *Aframomum melegueta*, *Garcinia kola*, *Quassia africana*, *Mondia whitei* et *Zingiber officinale* sont de plus en plus citées dans les études antérieures, ainsi nos résultats corroborent ceux des auteurs comme [10], [28], [29] et [30] qui témoignent qu'en pharmacopée congolaise dans le traitement de nombreuses pathologies, bon nombre des plantes sont utilisées pour lutter contre les dysfonctionnements des organes sexuels.

Parmi les organes les plus utilisés, nous constatons que les racines occupent la première position (34%), les feuilles viennent en deuxième (24%), puis les fruits (graines) (17%), ces résultats sont conformes à ceux trouvés par [10], [31], [32] et [33]. La différence de pourcentage des uns et des autres serait liée aux méthodes, milieux, échantillonnage et usage utilisés.

Seules ou associées, ces parties ou organes de plantes interviennent dans l'élaboration de plusieurs recettes médicamenteuses [33]. La voie orale est la voie d'administration la plus utilisée, pendant que les familles les plus représentées en espèces sont les *Fabaceae*, les *Amaranthaceae* et les *Zingiberaceae*, les *Apocynaceae* et les *Euphorbiaceae*. Les types des diaspores les plus abondants sont les Sarcchores (55,6%), les ballochores (22,2%), ces résultats sont observés également par [34] dont les ballochores (31,81%) et les Sclérochores (18,18%), les écarts de pourcentage minimes seraient dus au milieu d'étude.

Du point de vue de l'habitat écologique des espèces inventoriées, elles sont classées en 4 types: les espèces de forêt, savanes, cultivées et mixte dont la répartition varie selon les auteurs [32] et [34].

5 CONCLUSION

Cette étude a permis d'identifier les espèces des plantes aphrodisiaques utilisées en médecine traditionnelle dans une approche ethnobiologique de la ville de Kenge en République Démocratique du Congo. L'importance de cette médecine traditionnelle se justifie à la diversité spécifique des espèces indigènes locales présentes et du savoir endogène des tradipraticiens sur l'usage de ces plantes.

Les données ethnobotaniques recueillies et complétées par des informations d'ordre écologique ont permis de dégager pour chaque plante, les organes utilisés. Il ressort de cette étude que certaines de ces espèces comme *Quassia africana*, *Annona senegalensis*, *Hymenocardia acida* proviennent des habitats naturels où l'accès est libre à tous, par ailleurs, aucune mesure alternative pour la domestication n'est envisagée jusqu'à présent. Ce pendant le mode de prélèvement ne tient pas compte de leur vitesse de renouvelabilité. Les recherches doivent être approfondies pour une gestion durable de ces espèces dont les habitats sont non protégés.

REFERENCES

- [1] Tounkara Hassana, Denou Adama, Keïta Jean Noël, Traore Nah, Sanogo Rokia, Diallo Drissa, Doucoure Amidou «Etude phytochimique de 4 plantes utilisées dans le traitement traditionnel de la dysfonction érectile au mali», Revue Malienne de Science et de Technologie, Série B: Médecine humaine, Pharmacie, Production animale No 22, pp. 5-13.
- [2] M. Wisard et H.-J. Leisinger «La dysfonction érectile: une maladie pas tout à fait comme les autres...! Faut-il ou non que les assurances sociales en assument le coût ?» Médecine&Hygiène, pp. 2376-2379, 2001.
- [3] F. Wschiansky D. Chatton J.-E. Lalive C. Pause «Troubles érectiles: place de l'ensemble «organique et psychologique»» Médecine&Hygiène, pp.591-598.
- [4] Akassa H., Ondele R., Peneme B.M.L., Etou Ossibi A.W., Morabandza C.J., Tamboura H.H. Abena A. A. «Activité aphrodisiaque et étude du mécanisme d'action de l'extrait aqueux des écorces de tronc de *Pausinystalia yohimbe* Kschum (Rubiaceae) chez le rat wistar», Journal of Animal & Plant Sciences, Vol.39, pp. 6372-6383, 2019.
- [5] Jean Dupraz, Julien Zumkehr et Grégoire Mayor «Docteur, j'ai un petit problème d'érection», Rev Med Suisse 12, pp.1607-16013, 2016.
- [6] Joseph Zenga Kubuisa, Jean Omasombo Tshonda, Guillaume Léonard, Zéphyrin M'pene Ngaluley, Mathieu Zana Etambala, Edwine Simons, Joris Krawczyk, Mohamed Laghmouch (2012), Kwango, le pays de Bana lunda 452 p.
- [7] A. BILOSO «Valorisation des produits forestiers non ligneux des plateaux des Batéké en périphérie de Kinshasa (RD Congo)», Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques, Université Libre de Bruxelles, 252p, 2008.
- [8] R. K. KASONGO «Amélioration de la qualité des sols sableux du plateau des Batéké (RD Congo) par application des matériels géologiques et des déchets organiques industriels locaux», Thèse de doctorat en Sciences de la Terre, Faculté des Sciences, Université de Gent, 400p, 2010.

- [9] K. R. NSIELOLO «Régénération forestière assistée avec *Milletia laurentii* De Wild. dans les savanes mises en défens à Ibi-village au plateau des Batéké/RDC, Thèse, Université de Kinshasa/Eraift, Kinshasa», 188 p, 2006.
- [10] Flavien Nzuki Bakwaye, Céline Termote, Kembelo Kibungu, Patrick Van Damme « Identification et importance locale des plantes médicinales utilisées dans la région de banza-Ngungu, République démocratique du Congo», Bois et Forêts des Tropiques, N°316 (2), pp. 63-77, 2013.
- [11] Adi Bhat, 2023, [Online] Available: <https://www.questionpro.com/blog/fr/echantillonnage-en-boule-de-neige/> (August 8, 2024).
- [12] Latham P. et Konda ku Mbuta, «Quelques plantes utiles du Bas-Congo province, République Démocratique du Congo», 330p, 2006.
- [13] Pauwels L., «Plantes vasculaires des environs de Kinshasa. J.B.N.B Meise», 122p, 1982.
- [14] Pauwels L., Nzayilu N'ti. «Guide des arbres et arbustes de la région de Kinshasa-Brazzaville. J.B.N.B Meise», 495p, 1993.
- [15] Nsielolo K. R., Lejoly J., Habari M. J.P, Aloni K. J., Effets de lisière et de litière dans des savanes mises en défens contre les feux à Ibi-village/République Démocratique du Congo, Revue Scientifique et Technique Forêt et Environnement du Bassin du Congo, (5) pp.54-61, 2015.
- [16] APG IV (2016); Judd W et al. (2016); Simpson M (2010); Soltis DE et al. (2005/2011/2014); Watson/Dallwitz, 2018.
- [17] La liste des plantes [Online] Available. <https://www.worldfloraonline.org/> (September 9, 2024).
- [18] P. Dagnelie: Statistique Théorique et Appliquée. 2 inférence statistique à une et à deux dimensions. 3ème édition, De Boeck, Bruxelles, 2011.
- [19] P. Legendre: L'inférence statistique: les tests d'hypothèse, Montréal, 2007.
- [20] L. Sirvent: Les types biologiques: Etat de l'art, actualisation des définitions et mise en place d'un référentiel. Conservatoire botanique national méditerranéen de Porquerolles, 2020.
- [21] ES Miabangana, AC Lubini, Analyse floristique et phytogéographique de la végétation de l'île Loufézou à Brazzaville (République du Congo), Geo-Eco-Trop, 39, 1: pp. 55-66, 2015.
- [22] N'da DH, Yao ACY, Kouakou NE, Moussa K, Yao SC, Analyse de la diversité floristique du parc national de la Marahoué, Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, Afrique SCIENCE 04 (3) pp.552 – 579, 2008.
- [23] Gonmadje C, Doumenge C, Sunderland TCH, Balinga MPB, Sonké B, Analyse phytogéographique des forêts d'Afrique centrale: le cas du massif de Ngovayang (Cameroun). Plant Ecology and Evolution 145 (2), pp.152–164, 2012.
- [24] Senterre B., Recherches méthodologiques pour la typologie de la végétation et la phytogéographie des forêts denses d'Afrique tropicale, Thèse de Doctorat, Université Libre de Bruxelles (ULB), Faculté des Sciences, p. 477, 2005.
- [25] Honoré BELESI KATULA K., Etude floristique, phytogéographique et phytosociologique de la végétation du Bas-Kasai en République Démocratique du Congo, Thèse de Doctorat, Université de Kinshasa, Faculté des Sciences, Département de Sciences de l'Environnement, pp.565, 2009.
- [26] Melom S, Mbayngone E, Bechir AB, Ngadoum R, Mapongmetsem PM, Caractéristiques floristique et écologique des formations végétales de Massenya au Tchad (Afrique centrale), Journal of Animal & Plant Sciences, Vol.25, 1, pp. 3799-3813, 2015.
- [27] K.N. Ngbolua, C.L. Inkoto, N.L. Mongo, C.M. Ashande, Y.B. Masens, P.T. Mpiana, Étude ethnobotanique et floristique de quelques plantes médicinales commercialisées à Kinshasa, République Démocratique du Congo, Rev. Mar. Sci. Agron. Vét. 7, 1 pp. 118-128, 2019.
- [28] Akassa H., Ondele R., Peneme B.M.L., Etou Ossibi A.W., Morabandza C.J., Tamboura H.H., et Abena A. A., Activité aphrodisiaque et étude du mécanisme d'action de l'extrait aqueux des écorces de tronc de *Pausinystalia yohimbe* Kschum (*Rubiaceae*) chez le rat wistar, Journal of Animal & Plant Sciences, Vol.39, Issue 1: 6372-6383, 2019.
- [29] A.Mamadou KONARÉ, Nouhoum DIARRA, Cheickna CISSÉ et Rokia SANOGO, Enquête ethnobotanique sur les fruits de cueillette vendus dans quatre marchés des zones soudaniennes et sahéliennes du Mali, Int. J. Biol. Chem. Sci. 16 (1): 227-241, 2022.
- [30] Nouredine Benlamdini, Mohamed Elhafian, Atmane Rochdi & Lahcen Zidane, Étude floristique et ethnobotanique de la flore médicinale du Haute Moulouya, Maroc, Journal of Applied Biosciences 78: 6771 – 6787, 2014.
- [31] Richard Demba DIOP, Mame Samba MBAYE, Ibou DIOP, César BASSENE, Oumar SARR, Abdoul Aziz CAMARA, Mame Thierno Aby SY et Kandiora NOBA, Usages médicinales des plantes par la population riveraine du conservatoire botanique Michel Adanson de Mbour (Sénégal), Journal of Animal & Plant Sciences Vol.40 (3): 6690-6711, 2019.
- [32] P. Zerbo, J. Millogo-Rasolodimby, O.G. Nacoulma-Ouedraogo et P. V Damme, Plantes médicinales et pratiques médicales au Burkina Faso: cas des Sanan, Bois et Forêts des Tropiques, N° 307 (1), 41-53, 2011.
- [33] F. Mulwele Ndombe, Koto-te-Nyiwa Ngbolua, B. Yang Da Musa Masens and P. T. Mpiana, Etudes ethnobotanique et écologique des plantes utilisées dans le traitement de la stérilité à Kenge et ses environs (Province du Kwango, République Démocratique du Congo), International Journal of Innovation and Scientific Research, Vol. 26 No. 2, 600-611, 2016.

Enhancement of Soil Fertility and Musa sp. AAA (Cavendish) Yield by *Arachis repens* and *Desmodium adscendens* Cover Crops in Côte d'Ivoire: An Agroecological Approach

Kosso Nina Reine Boka¹, Mamadou Cherif¹, Ler-Nogn Dade Georges Elisee Amari¹, Koffi Fernand Jean-Martial Kassi¹, Konan Didier Kouame², Seydou Tuo², Kra Frederic Kouame², Brahim Camara², Edouard Yves Gilchrist Kouadio², and Acka Emmanuel Dick²

¹Teaching and Research Unit on Plant Physiology and Pathologies, Laboratory of Biotechnology, Agriculture and Development of Biological Resources, Department of Biosciences, University Felix Houphouet-Boigny, Abidjan 22, Cote d'Ivoire

²National Centre of Floristic, University Felix Houphouet-Boigny, Cote d'Ivoire

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study, conducted in Akressi, Côte d'Ivoire, assesses the impact of cover crops (*Arachis repens* and *Desmodium adscendens*) on soil properties and dessert banana production (Cavendish, Grande-Naine) over two cycles. Ferralitic soils, degraded by intensive monoculture, are examined using a Fischer block design with three treatments: control (bare soil with herbicides), *A. repens*, and *D. adscendens*. Soil physical properties (bulk density: 1.90–1.94 g/cm³ porosity: 25.15–27.18%, gravimetric moisture: 17.34–21.58%) remain unchanged ($p > 0.05$). After 12 months, cover crops enhance chemical properties: pH (5.80 control, 6.03 *A. repens*, 5.93 *D. adscendens*), organic carbon (1.11% control, 1.24% *A. repens*, 1.38% *D. adscendens*), organic matter (1.90% control, 2.13% *A. repens*, 2.37% *D. adscendens*), nitrogen (0.10% control, 0.11% *A. repens*, 0.12% *D. adscendens*), CEC (5.38 cmol/kg control, 7.20 cmol/kg *A. repens*, 8.61 cmol/kg *D. adscendens*), and calcium (1.56 cmol/kg control, 1.66 cmol/kg *A. repens*, 1.75 cmol/kg *D. adscendens*) increase significantly ($p < 0.05$). In the first cycle, growth (height: 245–247 cm) and yield (41.21–42.08 t/ha) are similar ($p > 0.05$). In the second cycle, control plants are taller (271.76 cm vs. 255.36 cm *A. repens*); *A. repens* delays flowering (158 vs. 135 days) and harvest (235 vs. 214 days *D. adscendens*) and reduces functional leaves (10.84 vs. 11.66 control at flowering) ($p < 0.01$). *Desmodium adscendens* increases hands (7.82 vs. 7.33 *A. repens*) and fingers (140.57 vs. 127.10 *A. repens*) ($p < 0.05$). Yields remain comparable (44.17 control, 44.36 *A. repens*, 44.50 t/ha *D. adscendens*). Cover crops, particularly *D. adscendens*, enhance soil chemical fertility without compromising yield, supporting sustainable banana production.

KEYWORDS: Cover crops, Soil fertility, Dessert banana, Agroecology, Chemical properties, Yield components.

1 INTRODUCTION

The dessert banana (*Musa* sp. AAA) is the third most important tropical fruit crop. Its production relies exclusively on the Cavendish variety group, which alone accounts for 97% of the international market [1]. As the world's leading exported fruit, the banana plays a fundamental economic and social role for both producing and exporting countries, generating significant revenue and serving as a major source of employment, particularly in rural areas [2]. Furthermore, Latin America represents approximately 80% of global dessert banana exports, while Africa accounts for only 3.4% of the total volume [3]. Côte d'Ivoire produces more than 400,000 tons of bananas annually, primarily destined for the European Union. The country's banana industry contributes about 8% of the agricultural GDP and between 2% and 3% of the overall GDP [4].

This major crop is nevertheless subject to numerous constraints, mainly associated with climate variability, pest infestations, and diseases [5], [6]. In addition to these challenges, there is a gradual decline in soil fertility, driven by the intensive monoculture of dessert bananas [7].

In this context, the integration of agroecological practices, particularly the use of cover crops in banana plantations, emerges as a promising solution for restoring soil quality and ensuring sustainable productivity. Cover crops play a crucial role in enhancing the physical, chemical, and biological properties of soils in West Africa [8]. They contribute to soil structuring by reducing bulk density and increasing porosity, which improves water infiltration and retention [9]. Furthermore, they mitigate water and wind erosion by protecting

the soil surface from the impact of rainfall, which is particularly important in tropical regions experiencing high seasonal precipitation. Chemically, the incorporation of plant biomass enriches the soil with organic matter and enhances its nutrient retention capacity [10].

This study aims to assess the impact of cover crops on the physicochemical properties of soils, as well as on the growth and yield of industrial dessert banana cultivation.

2 MATERIALS AND METHODS

STUDY SITE

The experiments were conducted in an industrial banana plantation in Akressi, located at geographic coordinates 5°37' North latitude, 3°05' West longitude, and an altitude of 87 meters. This village, situated in the South Comoé region, falls under the jurisdiction of the Aboisso department. This area is characterized by a transitional equatorial climate, with an annual average rainfall of 1,500 mm and a mean temperature of 27°C [11]. The climate follows four distinct seasons: a major dry season from December to February, a major rainy season from March to July, a minor dry season from August to September, and a minor rainy season from October to November [12]. There is a short dry season from November to March, followed by an extended rainy season. The soils are highly leached ferralitic soils due to the intense precipitation levels [13].

MATERIALS

The plant material consisted of banana vitroplants belonging to the Grande-Naine variety of the Cavendish (AAA) subgroup, as well as legumes from the Fabaceae family: *Arachis repens* and *Desmodium adscendens*.

METHODS

TRIAL MANAGEMENT

The experimental plot was established on flat land that had been left fallow for one year. The site was manually cleared, and plant debris was removed to facilitate trial setup. The suckers were planted in holes measuring 60 × 60 × 40 cm. A staggered twin-row planting system was adopted, with spacing of 2.2 m along the row and 1.7 m between staggered double rows, resulting in a planting density of 1,820 plants per hectare. Vitroplants were transferred to the field after eight weeks in the greenhouse. The study was conducted over two initial cycles of dessert banana cultivation. Cover crop cuttings were transplanted under banana plants after a three-month nursery phase.

Fertilizer application followed the technical requirements of banana cultivation. Herbicide treatments were applied only in control plots (without cover crops) at intervals determined by the level of weed growth. In contrast, manual weeding was performed as needed in plots with cover crops to prevent competition with weeds. Black leaf streak disease (cercosporiosis) was managed through mechanical removal of necrotic leaves, as well as aerial application of contact fungicides on a weekly basis and systemic fungicides every 14 days.

EXPERIMENTAL DESIGN

The experimental setup was a Fischer block design comprising three treatments, each replicated three times. The trial included elementary plots, each measuring 36 m × 10 m, with 64 planted banana trees per plot. The treatments were defined as follows:

- T0: Control or conventional practice with herbicide applications;
- T1: *Arachis repens* associated with banana plants;
- T2: *Desmodium adscendens* associated with banana plants

SOIL SAMPLING

Soil sampling was conducted prior to the establishment of cover crops and at the harvest of the first two cycles of dessert banana cultivation. To this end, soil samples were collected at depths of 0-20 cm in each elementary plot. For the evaluation of physical parameters such as bulk density, total porosity, and gravimetric moisture content, undisturbed soil samples were taken using a metal cylinder of known volume. These samples were collected along the diagonals of the plots at five points: the center and the four corners of the elementary plot.

At the same depth and following the diagonal sampling method, five disturbed soil samples intended for laboratory analyses were collected using a cylindrical soil auger [14]. These soil samples were then mixed to form a single composite sample [15].

ANALYZED PHYSICAL PARAMETERS

Bulk density was assessed using the cylinder method [16]. The collected samples were weighed before and after oven-drying at 105 °C until a constant dry mass (DM) was obtained. Bulk density, expressed in g/cm³, was evaluated using the following formula:

$$\text{Bulk density} = \text{Dry mass of soil} / \text{Soil volume}$$

Total porosity was determined based on bulk density by applying the following formula:

$$\text{Total porosity} = (1 - \text{Bulk density} / \text{Particle density} \times 100)$$

Gravimetric soil moisture was assessed using the gravimetry method, based on fresh samples, considering their constant dry weight after oven-drying at 105 °C [17], [18].

Analyzed Chemical Parameters Additional soil analyses focused on acidity, total nitrogen content (N), organic carbon content (OC), organic matter content (OM), available phosphorus (P-ass.), exchangeable bases (Ca²⁺, Mg²⁺, and K⁺), cation exchange capacity (CEC), and trace elements (Fe, Zn, Cu).

Soil acidity was assessed by measuring pH using the electrometric “glass electrode” method in a soil/water ratio of 1: 2.5 [19]. Total nitrogen content (N) was determined using the Kjeldahl method [20]. Organic carbon content (OC) was analyzed following the method of Walkley and Black [21]. Organic matter content (OM) was calculated based on the carbon percentage (C) using the following formula [22]: OM (%) = OC (%) × 1.72. Available phosphorus content was determined using the Olsen-Dabin method [22], [23]. Exchangeable bases were quantified via ammonium acetate extraction at pH 7 [24]. CEC was also assessed by the method of Ciesielski & Sterckeman [24]. Trace elements (Fe, Zn, Cu) were analyzed by atomic emission spectrometry [25].

OBSERVED PARAMETERS IN BANANA PLANTS DURING TWO PRODUCTION CYCLES

GROWTH PARAMETERS

Plant height and pseudostem circumference were measured to monitor pseudostem growth. Banana plant height was recorded in centimeters from the collar to the "V" formed by the petioles of the last emerging leaves within the foliage cluster at the top of the plant. Pseudostem circumference was assessed at 1 meter above the ground.

PRODUCTION PARAMETERS

The total number of functional leaves was determined at flowering and harvest. Data collection involved counting fully expanded leaves, considering cigar leaf unfolding stages (00, 02, 04, 06 to 08) and leaf ranks, which were numbered from the youngest (the one located just after the cigar leaf) to the oldest. Functional leaves are those with photosynthetic activity and more than 50% green surface area [26].

Moreover, the planting-to-flowering interval (PFI) and planting-to-harvest interval (PHI) in days (d) were determined for both banana production cycles. The number of hands was recorded before and after the removal of false hands and the first true hands. Fingers were also counted, and internal lengths (cm) of the median finger from the first and last hand were measured. The grade of the median finger from the last hand was recorded in centimeters (cm), and yield (t.ha⁻¹) was determined for each cycle using the formula: (average bunch weight × planting density).

STATISTICAL DATA ANALYSIS

All data collected during the experiments were entered using Excel 2016 and analyzed with SPSS version 22. An analysis of variance (ANOVA) was performed to evaluate the effects of cover crops on soil fertility and the agro-physiological parameters of the plants. In cases of significant differences between means, the Newman-Keuls multiple comparison test at a 5% threshold was used to classify them into homogeneous groups.

3 RESULTS

EFFECTS OF COVER CROPS ON SOIL PHYSICAL PROPERTIES

BULK DENSITY, TOTAL POROSITY, AND GRAVIMETRIC MOISTURE CONTENT

The values of bulk density, total porosity, and gravimetric moisture content of the soil before cover crop establishment, as well as 6 and 12 months after their introduction into banana plantations, are presented in Table I. The analyses indicate that bulk density, porosity, and gravimetric moisture content did not undergo significant changes over the study period, regardless of the applied treatments.

Before the experiment, bulk density ranged from 1.92 to 1.94 g/cm³ depending on the treatment, with total porosity between 25.21% and 26.09%. Gravimetric moisture content varied between 17.41% and 18.38%. The observed differences were not statistically significant ($p > 0.05$).

After six months, bulk density values remained close to initial levels, varying between 1.90 and 1.94 g/cm³. Total porosity ranged from 25.15% to 27.18%, while gravimetric moisture content was between 17.34% and 18.38%. No significant difference was observed between treatments ($p > 0.05$).

After twelve months, bulk density remained between 1.90 and 1.92 g/cm³ while total porosity varied from 25.87% to 26.97%. Gravimetric moisture content showed a slight increase compared to initial values, reaching up to 21.58% under *Arachis repens*. However, statistical tests indicated that none of these variations were significant ($p > 0.05$).

Table 1. Physical properties of soils in the experimental site before, 6, and 12 months after cover crop establishment

Crop stage	Treatments	Bulk density (g/cm ³)	Total porosity (%)	Gravimetric moisture content (%)
Before CC	Control	1,92±0,04	26,09±1,62	17,90±2,01
	<i>A. repens</i>	1,94±0,06	25,21±2,49	17,41±1,07
	<i>D. adscendens</i>	1,92±0,09	25,97±3,65	18,38±2,18
	Probability	0,75	0,75	0,53
	Significance	NS	NS	NS
Six months after CC	Control	1,90±0,10	27,18±4,05	17,64±1,93
	<i>A. repens</i>	1,94±0,06	25,15±2,45	17,34±1,05
	<i>D. adscendens</i>	1,92±0,09	25,97±3,65	18,38±2,18
	Probability	0,46	0,46	0,46
	Significance	NS	NS	NS
Twelve months after CC	Control	1,92±0,08	25,87±3,14	20,39±1,83
	<i>A. repens</i>	1,90±0,10	26,97±4,15	21,58±2,09
	<i>D. adscendens</i>	1,91±0,04	26,37±1,70	21,49±0,92
	Probability	0,76	0,76	0,27
	Significance	NS	NS	NS

CC: Cover crops; For each column and at the same crop stage, means followed by the same letter are not significantly different at the 5% threshold (Student and Newman-Keuls test). NS: Not significant.

3.1.1 EFFECTS OF COVER CROPS ON SOIL CHEMICAL PROPERTIES

Before cover crop establishment, no significant differences were observed in the values of various soil chemical parameters across the plots (Table II). These soils were relatively homogeneous in terms of pH, cation exchange capacity (CEC), and their contents of organic carbon (OC), organic matter (OM), nitrogen (N), available phosphorus (P-ass.), calcium (Ca), magnesium (Mg), potassium (K), sodium (Na), copper (Cu), iron (Fe), and zinc (Zn).

Similarly, six months later, soil samples collected from legume-covered plots exhibited statistically identical chemical compositions to those of the control. At this observation time, soil pH ranged between 6.56 and 6.70. Carbon content was 1.23%, 1.14%, and 1.16% in bare soil and in plots with *Arachis repens* and *Desmodium adscendens*, respectively. Organic matter content varied between 1.96% and 2.11%, while nitrogen content remained at 0.11% regardless of treatment. Regarding phosphorus levels, they fluctuated between 104.99 and 131.12 ppm.

The cation exchange capacity in the soils ranged from 8.18 to 9.78 cmol.kg⁻¹. Calcium concentrations varied from 1.66 to 1.83 cmol.kg⁻¹ while magnesium content ranged between 1.22 and 1.29 cmol.kg⁻¹. Additionally, potassium levels fluctuated between 0.16 and 0.22 cmol.kg⁻¹ and sodium concentrations were between 0.09 and 0.10 cmol.kg⁻¹.

Regarding trace elements, copper levels ranged between 6.09 and 7.20 ppm, while iron concentrations varied from 15.83 to 17.98 ppm. Zinc content fluctuated between 5.06 and 5.77 ppm.

However, 12 months after cover crop establishment, significant effects were observed in the presence of plant species for several evaluated chemical parameters. The pH of the bare soil (control) was lower (5.80) than that of soils covered with *Arachis repens* and *Desmodium adscendens*, which recorded values of 6.03 and 5.93, respectively.

Additionally, soils covered with cover crops, particularly *D. adscendens*, exhibited higher levels of carbon, organic matter, nitrogen, cation exchange capacity (CEC), and calcium. Conversely, the lowest concentrations of these parameters were found in the control soil.

Furthermore, in the control soil, high concentrations of potassium (0.33 cmol.kg⁻¹), sodium (0.19 cmol.kg⁻¹), and iron (12.03 ppm) were observed. However, regarding available phosphorus, copper, and zinc, cover crops did not induce any significant effects.

Table 2. Chemical characteristics of the soil in the experimental site before, 6, and 12 months after cover crop establishment

Soil Chemical Parameters	Crop stage														
	Before CC					Six months after CC					Twelve months after CC				
	Treatments			Statistical Test		Treatments			Statistical Test		Treatments			Statistical Test	
	Tém.	A. rep.	D. ads.	Prob.	Sign.	Tém.	A. rep.	D. ads.	Prob.	Sign.	Tém.	A. rep.	D. ads.	Prob.	Sign.
pH eau	6,56±0,32	6,66±0,20	6,50±0,36	0,80	NS	6,70±0,10	6,76±0,23	6,56±0,40	0,68	NS	5,80±0,15b	6,03±0,05a	5,93±0,13a	0,00	VHS
OC (%)	0,90±0,11	1,06±0,16	0,99±0,07	0,31	NS	1,23±0,21	1,14±0,19	1,16±0,21	0,85	NS	1,11±0,24b	1,24±0,17ab	1,38±0,05a	0,01	S
OM	1,54±0,18	1,82±0,27	1,54±0,12	0,31	NS	2,11±0,36	1,96±0,32	1,99±0,36	0,85	NS	1,90±0,41b	2,13±0,29ab	2,37±0,08a	0,01	S
N(%)	0,08±0,00	0,09±0,01	0,09±0,00	0,14	NS	0,11±0,02	0,11±0,01	0,11±0,01	0,96	NS	0,10±0,02b	0,11±0,01ab	0,12±0,00a	0,02	S
P-ass (ppm)	53,10±17,17	71,07±9,72	66,17±8,57	0,26	NS	131,12±58,98	104,99±83,32	121,73±60,43	0,89	NS	77,33±8,50	73,33±13,02	81,00±24,43	0,62	NS
CEC (Cmol.kg ⁻¹)	8,18±0,36	8,74±0,96	7,46±1,32	0,33	NS	9,78±1,24	8,80±1,44	8,18±1,00	0,34	NS	5,38±2,87b	7,20±2,16ab	8,61±1,66a	0,02	S
Ca (Cmol.kg ⁻¹)	2,26±0,56	2,62±0,76	2,49±0,31	0,76	NS	1,83±0,24	1,82±0,39	1,66±0,47	0,83	NS	1,56±0,13b	1,66±0,15ab	1,75±0,13a	0,03	S
Mg (Cmol.kg ⁻¹)	2,02±0,36	2,07±0,36	1,92±0,44	0,89	NS	1,28±0,18	1,22±0,08	1,29±0,08	0,73	NS	1,21±0,10	1,07±0,09	1,10±0,16	0,06	NS
K (Cmol.kg ⁻¹)	0,20±0,05	0,26±0,08	0,23±0,02	0,54	NS	0,19±0,05	0,16±0,02	0,22±0,04	0,36	NS	0,33±0,08a	0,18±0,04b	0,23±0,03b	0,00	VHS
Na (Cmol.kg ⁻¹)	0,14±0,01	0,15±0,02	0,14±0,03	0,88	NS	0,10±0,01	0,09±0,01	0,09±0,00	0,57	NS	0,19±0,06a	0,12±0,02b	0,11±0,00b	0,00	VHS
Cu (Cmol.kg ⁻¹)	0,47±0,52	0,69±0,61	0,81±0,30	0,72	NS	7,05±1,40	7,20±1,55	6,09±2,33	0,73	NS	6,34±0,60	6,68±0,38	6,83±0,89	0,28	NS
Fe (Cmol.kg ⁻¹)	14,90±1,66	17,25±2,23	15,68±0,19	0,26	NS	15,83±2,25	16,52±2,78	17,98±1,94	0,55	NS	12,03±4,67a	8,52±2,21b	8,94±0,55b	0,04	S
Zn (Cmol.kg ⁻¹)	6,33±1,72	5,93±1,74	5,88±1,60	0,93	NS	5,77±2,22	5,71±2,28	5,06±1,65	0,90	NS	2,64±0,13	2,62±0,15	2,76±0,35	0,41	NS

OC: Organic Carbon; OM: Organic Matter; N: Nitrogen; P-ass.: Available Phosphorus; CEC: Cation Exchange Capacity; Ca: Calcium; Mg: Magnesium; K: Potassium; Na: Sodium; Cu: Copper; Fe: Iron; Zn: Zinc; CC: Cover Crops; Ctrl.: Control; A. rep.: *Arachis repens*; D. ads.: *Desmodium adscendens*; Prob.: Probability; Sig.: Significance. For each row and at the same crop stage, means followed by the same letter are not significantly different at the 5% threshold (Student and Newman-Keuls test). VHS: Very Highly Significant; NS: Not Significant; S: Significant

3.1.2 EFFECTS OF COVER CROPS ON BANANA GROWTH PARAMETERS

Pseudostem length of banana plants the analysis of variance conducted on banana plant height revealed no significant difference among treatments during the first cultivation cycle ($p = 0.69$). plant height ranged from 245.29 to 246.96 cm (Figure 1). However, during the second planting cycle, height variation among treatments was significant ($P = 0.00$). The tallest banana plants were observed in the control plots, reaching 271.76 cm. The shortest plants were recorded in plots associated with *Arachis repens*, measuring 255.36 cm.

3.1.3 PSEUDOSTEM CIRCUMFERENCE OF BANANA PLANTS

During the first planting cycle, pseudostem circumferences were not significantly affected by the applied treatments ($P = 0.21$). Values fluctuated between 55.28 and 57.20 cm (Figure 2). However, in the second cultivation cycle, banana plants exhibited different pseudostem circumferences depending on the treatment ($P = 0.00$). The largest circumferences were recorded in the control plots (66.13 cm). *Arachis repens* induced the smallest circumference in banana plants (58.27 cm). Banana plants in plots covered with *Desmodium adscendens* exhibited intermediate circumferences, with a value of 62.20 cm.

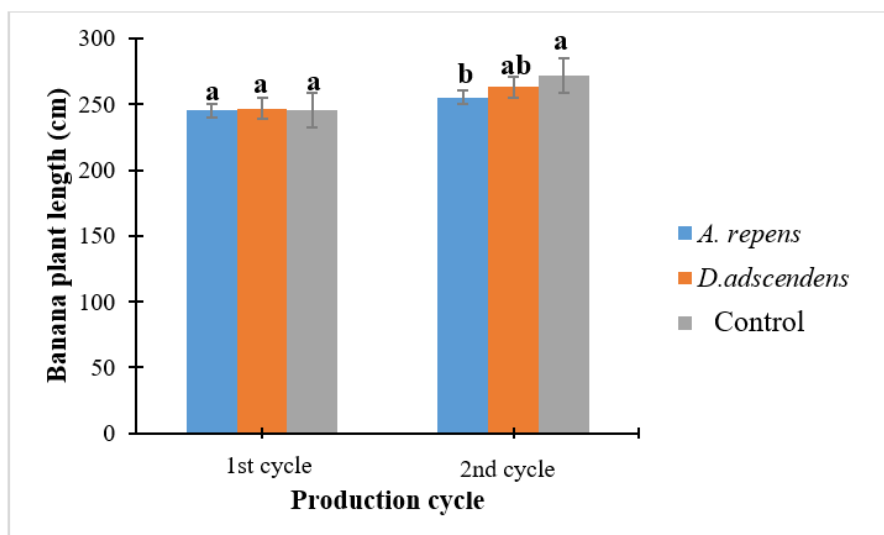


Fig. 1. Pseudostem length of banana plants as a function of treatments in the first and second production cycles

Means within the same cycle followed by the same letter on the histograms are not significantly different at the 5% threshold (Student and Newman-Keuls test).

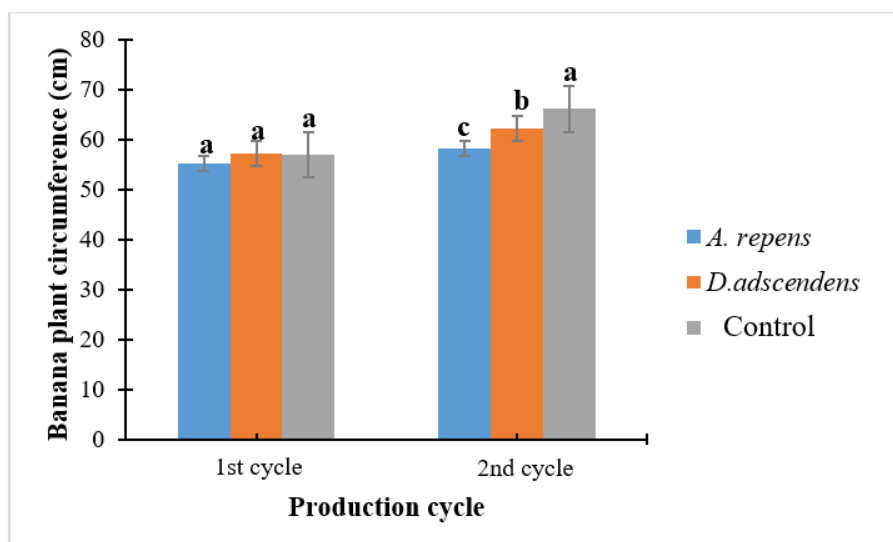


Fig. 2. Pseudostem circumference of banana plants at 1 m above ground at flowering as a function of treatments in the first and second production cycles

Means within the same cycle followed by the same letter on the histograms are not significantly different at the 5% threshold (Student and Newman-Keuls test).

3.1.4 EFFECTS OF COVER CROPS ON BANANA PRODUCTION PARAMETERS

3.2 NUMBER OF FUNCTIONAL LEAVES AT FLOWERING

The number of functional leaves observed at flowering in banana plants showed significant variation depending on the treatments applied in both the first and second cultivation cycles ($P = 0.00$).

At flowering during the first cycle of the experiment, the highest number of functional leaves was recorded in banana plants from plots covered with *Desmodium adscendens* (14.44 leaves/plant), followed by those in control plots (13.60 leaves/plant). *Arachis repens* resulted in the lowest number of functional leaves in banana plants, with 12.84 leaves/plant.

At flowering in the second cycle, banana plants from *D. adscendens* plots and the control soil exhibited the highest number of functional leaves (11.53 leaves/plant and 11.66 leaves/plant, respectively). In contrast, plants associated with *A. repens* had the lowest number of functional leaves, with 10.84 leaves/plant (Figure 3).

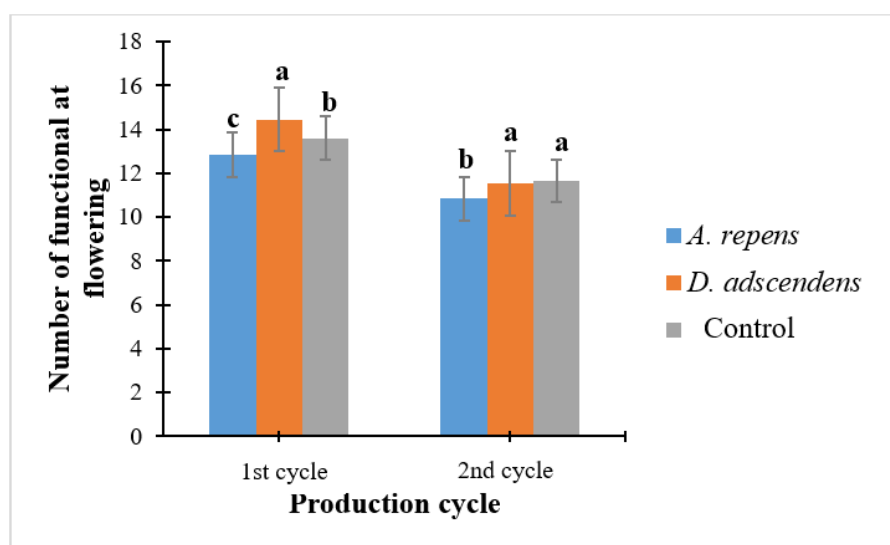


Fig. 3. Number of functional leaves in banana plants at the flowering stage according to treatments in the first and second production cycles

Means within the same cycle followed by the same letter on the histograms are not significantly different at the 5% threshold (Student and Newman-Keuls test).

3.3 NUMBER OF FUNCTIONAL LEAVES AT HARVEST

At the end of the first planting cycle (harvest), the analysis of variance conducted on the number of functional leaves revealed no significant differences among treatments. The number of functional leaves observed in banana plants, regardless of plot origin, ranged between 8.42 and 8.62 leaves per plant.

However, in the second planting cycle, a significant difference was observed among treatments. Banana plants in the control plots exhibited the highest number of functional leaves at harvest (6.26 leaves per plant). In plots with *Arachis repens*, banana plants presented the lowest number of functional leaves at harvest, with 5.4 leaves per plant (Figure 4).

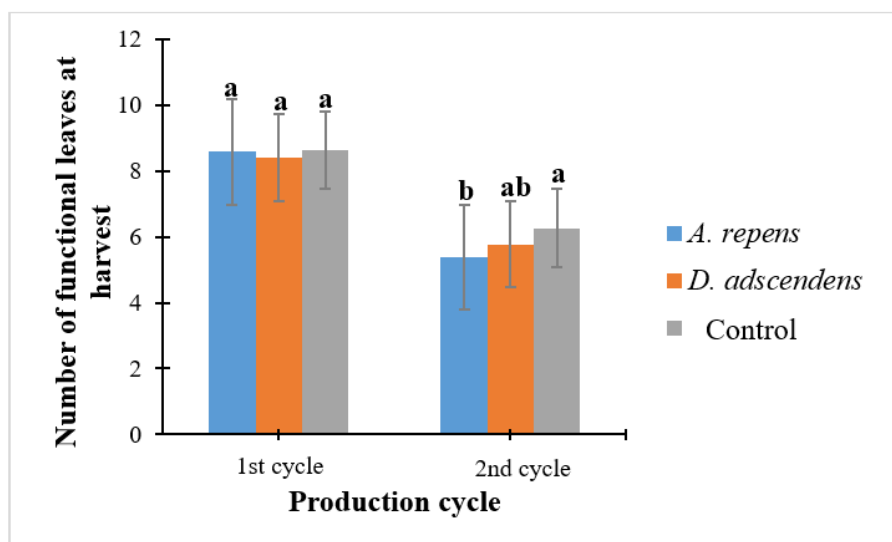


Fig. 4. Number of functional leaves in banana plants at harvest according to treatments in the first and second production cycles

Means within the same cycle followed by the same letter on the histograms are not significantly different at the 5% threshold (Student and Newman-Keuls test).

3.4 PLANTING-TO-FLOWERING INTERVAL (PFI) OF BANANA PLANTS

Table III presents the planting-to-flowering intervals (PFI) for the first and second planting cycles of banana plants. During the first planting cycle, no significant difference was observed among treatments ($P = 0.72$). The planting-to-flowering interval (PFI1) for banana plants ranged between 163 and 165 days after planting. However, in the second planting cycle, treatments had a significant effect on the planting-to-flowering interval (PFI2) of banana plants ($P = 0.00$). Flowering occurred earlier in the control soil and in plots covered with *Desmodium adscendens*, at the 135th and 138th day after the first cycle's harvest, respectively. The longest flowering delay was recorded in plots with *Arachis repens*, at 158 days after the first cycle's harvest.

Table 3. Planting-to-flowering interval (PFI) of banana plants as a function of treatments during the two production cycles

Treatments	PFI of banana plants (days)	
	1 st cultivation cycle	2 nd cultivation cycle
Control	165 ±4	135 ±5a
<i>A. repens</i>	163 ±4	158 ±4b
<i>D. adscendens</i>	165 ±4	138 ±8a
Probability	0,72	0,00
Significance	NS	VHS

For each column, means followed by the same letter are not significantly different at the 5% threshold (Student and Newman-Keuls test). NS: Not significant; VHS: Very highly significant

3.5 PLANTING-TO-HARVEST INTERVAL (PHI) OF BANANA PLANTS

The planting-to-harvest interval (PHI1) did not show any significant variation among treatments in the first cultivation cycle (Table IV). It remained at 242 days for all banana plants, regardless of treatment. However, in the second cycle, a much shorter planting-to-harvest interval (PHI2) was observed in banana plants from *Desmodium adscendens* plots and the control soil, recorded at 214 and 217 days after the first cycle's harvest, respectively. In contrast, the latest harvest occurred in plots with *Arachis repens*, at 235 days after the first cycle's harvest.

Table 4. Planting-to-harvest interval (PHI) of banana plants as a function of treatments during the two production cycles

Treatments	PHI of banana plants (days)	
	1 st cultivation cycle	2 nd cultivation cycle
Control	242±4	217 ±7a
<i>A. repens</i>	242±4	235 ±4b
<i>D. adscendens</i>	242±4	214 ±4a
Probability	1,00	0,00
Significance	NS	VHS

For each column, means followed by the same letter are not significantly different at the 5% threshold (Student and Newman-Keuls test). NS: Not significant; VHS: Very highly significant

3.6 YIELD COMPONENTS

The yield parameters including the number of hands before thinning per bunch (NHBT/bunch), the number of hands after thinning per bunch (NHAT/bunch), the number of fingers, the internal length of the last hand (ILLH), the internal length of the first hand (ILFH), and the fruit grade are presented in Table V as a function of treatments in the first and second cultivation cycles.

During the first production cycle, variance analyses did not reveal any significant differences among treatments for NHBT ($P = 0.88$), NHAT ($P = 0.09$), the number of fingers ($P = 0.90$), ILLH ($P = 0.56$), and ILFH ($P = 0.73$). Regarding NHBT, values ranged between 8.63 and 8.73 hands per bunch, while NHAT values were between 7.00 and 7.38 hands per bunch. The number of fingers per banana bunch varied between 123.90 and 126.70. ILLH ranged between 15.81 and 16.09 cm, and ILFH was at least 20 cm across all treatments.

In contrast, fruit grade showed a significant variation depending on treatments. The highest fruit grade was recorded in bananas from control plots (33.21 mm), whereas bananas from plots covered with *Arachis repens* and *Desmodium adscendens* exhibited the lowest values (32.70 mm and 32.73 mm, respectively).

During the second cultivation cycle of banana plants, significant differences were observed only for NHBT ($P = 0.01$), NHAT ($P = 0.03$), and the number of fingers ($P = 0.03$). The highest NHBT values were recorded in banana plants from *Desmodium adscendens* plots and the control plots (9.89 and 9.83 hands per bunch, respectively).

The highest NHAT value was noted in *D. adscendens* plots (7.82 hands per bunch), as was the highest number of fingers, reaching 140.10 fingers per bunch. Conversely, the lowest values for these three parameters were observed in *Arachis repens* plots (9.35 hands per bunch, 7.33 hands per bunch, and 127.10 fingers per bunch, respectively).

Additionally, ILLH varied between 16.28 and 16.93 cm, while ILFH ranged from 19.05 to 19.73 cm. As for fruit grade, values fluctuated between 30.78 and 32.23 mm.

3.7 YIELD

At the end of the first cultivation cycle, no significant differences were observed among treatments (Figure 5). The recorded yields were 41.88 t.ha⁻¹ (*Arachis repens*), 42.08 t.ha⁻¹ (*Desmodium adscendens*), and 41.21 t.ha⁻¹ (control plot).

At the end of the second cultivation cycle, yield did not vary significantly among the evaluated treatments. Values ranged from 44.17 to 44.50 t.ha⁻¹. *A. repens* and *D. adscendens* resulted in yields of 44.36 t.ha⁻¹ and 44.50 t.ha⁻¹, respectively. Conversely, the yield recorded in the control treatment was 44.17 t.ha⁻¹ (Figure 6).

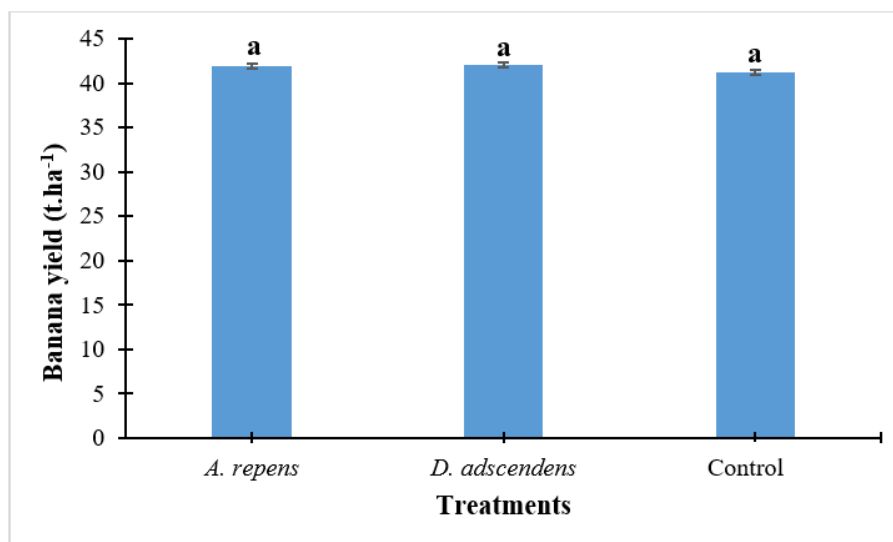


Fig. 5. Yield of banana plants according to treatments at the end of the first cultivation cycle

Means within the same cycle followed by the same letter on the histograms are not significantly different at the 5% threshold (Student and Newman-Keuls test).

Table 5. Yield components of banana plants in the first and second production cycles according to treatments

Banana cultivation cycles	Treatments	yield components in the first planting cycle					
		NHBT/ bunch	NHAT/ bunch	Number of fingers/ bunch	ILLH of the bunch	ILFH of the bunch	Fruit grade
1 st cycle	Control	8,70±0,81	7,00±0,86	126,70±14,81	16,09±1,13	20,55±1,09	33,21±0,70 a
	<i>A. repens</i>	8,63±0,67	7,33±0,55	125,30±9,01	15,83±1,21	20,67±1,21	32,70±0,88 b
	<i>D. adscendens</i>	8,73±0,72	7,38±0,75	123,90±16,03	15,81±1,06	20,42±1,14	32,73±0,87 b
	Probability	0,88	0,09	0,11	0,56	0,73	0,02
	Significance	NS	NS	NS	NS	NS	S
2 nd cycle	Control	9,89±0,84a	7,63±0,81ab	134,73±21,33ab	16,28±1,60	19,05±1,77	30,78±4,71 b
	<i>A. repens</i>	9,35±1,00b	7,33±0,97b	127,10±27,38b	16,65±1,39	19,68±2,09	32,23±1,94 a
	<i>D. adscendens</i>	9,89±0,84a	7,82±0,79a	140,57±21,77a	16,93±1,68	19,73±1,87	31,70±1,34 ab
	Probability	0,01	0,03	0,03	0,16	0,21	0,05
	Significance	S	S	S	NS	NS	NS

NHBT: Number of hands before thinning; NHAT: Number of hands after thinning; ILLH: Internal length of the last hand; ILFH: Internal length of the first hand. For each column and within the same cultivation cycle, means followed by the same letter are not significantly different at the 5% threshold (Student and Newman-Keuls test). NS: Not significant; S: Significant.

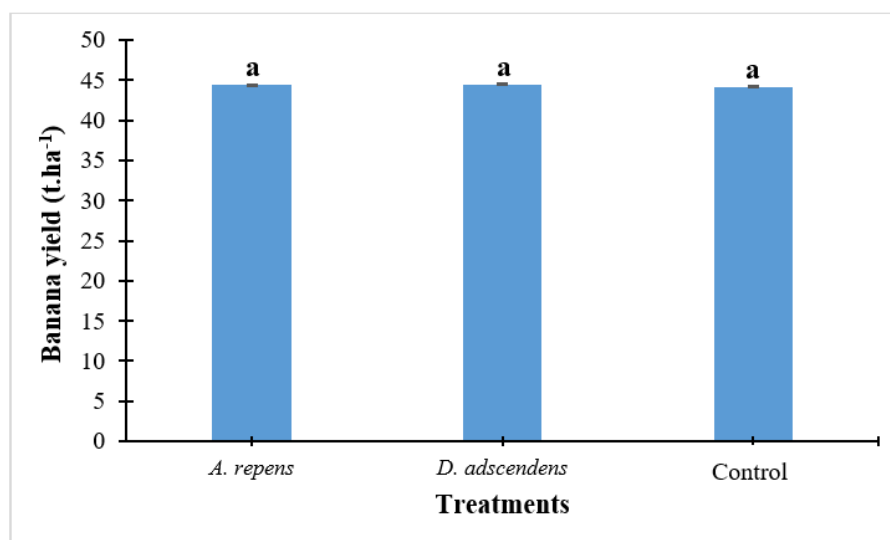


Fig. 6. Yield of banana plants according to treatments at the end of the second cultivation cycle

Means within the same cycle followed by the same letter on the histograms are not significantly different at the 5% threshold (Student and Newman-Keuls test).

4 DISCUSSION

The study of physical parameters such as bulk density, total porosity, and soil gravimetric moisture revealed that these were not influenced by leguminous cover crops. This observation could be explained by the fact that cover crops tend to exert their effects over the long term. Several studies have highlighted the potential of cover crops to improve certain physical properties [27].

However, the extent to which crops cover can modify these properties may depend on the duration of the growth period [28]. Research conducted by Mbuthia *et al* [29]. found that the long-term use of cover crops in a monoculture production system, such as cotton, leads to significant changes in soil structure.

The results on soil chemical properties reveal that cover crops significantly improved these properties 12 months after their establishment in the banana plantation. An increase in soil pH was observed in plots with cover crops compared to the control soil, indicating reduced acidity in these plots. Konaté *et al.* [30] highlight that atmospheric nitrogen fixation by legumes and the decomposition of their litter lead to an enrichment of the soil in organic matter and an increased nitrogen mineralization. During mineralization, free protons in the soil solution are complexed by humic acids, thereby increasing soil pH [31]. These processes make essential nutrients available to plants while also promoting a shift in soil pH towards neutrality. Additionally, the soil pH recorded in plots covered with *Desmodium adscendens* and *Arachis repens* is favorable for the optimal development of dessert bananas, which require a pH range between 4.0 and 8.0 [32]. A similar study conducted by Tanoh *et al.* [33] reported that legumes improved soil acidity, with soil pH increasing from 5.43 to 6.23. The results also revealed high levels of carbon and organic matter in the soil solution under the influence of cover crops. This effect is likely due to the decomposition of cover crop biomass, which has undoubtedly contributed to an increase in soil carbon content and a potential enhancement in soil organic matter levels [34].

The increase in soil organic matter content is widely considered beneficial for soil function and fertility and, in agricultural production systems, is an integral part of sustainable agriculture. Moreover, the storage of the carbon component of organic matter in agricultural soils is also regarded as a means of reducing atmospheric carbon dioxide levels and mitigating the impact of climate change [35]. Regarding nitrogen, 12 months after the establishment of cover crops, nitrogen levels increased in soils covered with legumes at both studied sites. This rise in nitrogen levels could partly be attributed to the symbiotic fixation of atmospheric nitrogen. Indeed, due to their ability to utilize atmospheric nitrogen, legumes can improve the nitrogen balance in cropping systems [36], [37].

Moreover, the increase in nitrogen content may be attributed to the recycling of leguminous residues in the soil. These residues are particularly rich in nitrogen and serve as a source of organic nitrogen, potentially enhancing nitrogen availability within the system [38]. The findings reported by Barrios *et al.* [39] indicated that peanut and cowpea residues contain higher nitrogen levels and decompose more rapidly, thereby releasing greater amounts of nitrogen into the soil solution. Furthermore, cation exchange capacity (CEC) was higher in soils under cover crops at both Aboisso and Tiassalé. This can be explained by the abundant production of litter enriched with mineral elements, which forms beneath these plants. Upon decomposition, this organic matter contributes to the formation of organo-

mineral complexes, thereby improving the mineral status of the soil. According to Beringer [40], variations in CEC based on Ca^{2+} concentrations are due to the significant role of this mineral, which accounts for 65% of exchangeable bases.

Chemical analysis revealed a lower potassium content in soils covered with vegetation compared to bare or control soils. This could be explained by plant uptake of this nutrient. Potassium is an essential nutrient for legumes, as well as for all other crops. It serves as an activator of numerous enzymes, particularly those involved in protein synthesis. Additionally, potassium plays a crucial role in maintaining the plant's water balance. In legumes, potassium is necessary for the proper development and functioning of root nodules. These plants require high levels of nutrients, including potassium, to enhance their performance in symbiotic nitrogen fixation and overall growth [41].

The sodium content was also low in soils under cover crops. This observation suggests that legumes may have the ability to restore salt-degraded soils [42]. Indeed, salt accumulation particularly Na^+ from saline irrigation water [43] and excessive use of chemical inputs [44] can lead to ionic imbalance and toxicity in plants, potentially affecting vital metabolic processes [45]. The levels of Cu, Fe, and Zn varied. The results showed that soil trace element concentrations were not affected by the different evaluated treatments, except for Fe content, which was higher in the control soil. This result is likely influenced by edaphic factors, particularly soil pH, which affects the availability of minor elements in the soil solution [46]. Indeed, iron becomes more available as soil pH decreases [47]. In this study, soils covered with legumes exhibited higher pH values than the control or bare soil. This trace element is essential for plants due to its physiological importance [48]. However, this minor element is a heavy metal and is not biodegradable. As a result, it remains persistent in soils over the long term and can become toxic to plants [49], [50].

Regarding growth parameters, such as the circumference and height of banana plants, the results highlighted an impact of the different treatments only during the second planting cycle. Indeed, the averages of these two parameters were higher in plants from the control plots. These observations could be explained by the delayed effects of cover crops on banana plants. Although these plants largely contributed to the improvement of soil chemical parameters, the implementation of this contribution may depend on various factors, such as the duration of cover crop growth, soil type, cash crop characteristics, and meteorological conditions [51].

The results revealed a variation in the number of leaves at flowering and harvest across the two banana production cycles in the experimental plots. The number of leaves was lower in banana plants associated with *Arachis repens*. These observations suggest that defoliation, generally applied to all banana plants, was more intensified in these plants, which had fewer leaves. According to Robinson [52], defoliation is an agronomic practice primarily conducted for two reasons: first, to reduce the inoculum of black streak disease (BSD) by eliminating necrotic leaves exceeding 50% damage, and second, to improve fruit quality by preventing young leaves from rubbing against the developing bunch. Several studies have evaluated the minimum number of leaves required to achieve maximum yield. Robinson *et al.* [53] found that vigorous banana plants can produce acceptable fruits with only 2 to 4 leaves during the filling period, due to a compensatory increase in CO_2 assimilation that can reach up to 35% in defoliated plants.

Regarding production parameters, the planting-to-flowering interval (PFI) and the planting-to-harvest interval (PHI) were influenced by the treatments. Flowering and harvest in banana plants associated with *Arachis repens* were delayed exclusively during the second cultivation cycle. This delay appears to be linked to variations in the number of leaves at flowering and harvest. Indeed, the growth and development of the banana bunch from inflorescence emergence to harvest depend on the physiological activity of functional leaves that remain present upon the appearance of the inflorescence at the apex of the pseudostem [54]. Thus, the lower number of functional leaves observed in the cited treatments, following defoliation conducted for banana plant maintenance, seems to have delayed the accumulation of dry matter during fruit development.

The treatments influenced certain yield components, including the number of hands before thinning per bunch (NMAVA/bunch), the number of hands after thinning per bunch (NMAPA/bunch), the number of fingers per bunch, and fruit grade. During the second planting cycle, variability in NMAVA/bunch, NMAPA/bunch, and the number of fingers per bunch was observed, with higher values recorded both in pure banana cultivation and in banana plants associated with *Desmodium adscendens*. This observation may be related to the flux of carbon and nitrogen assimilates available at the time of inflorescence emergence, as described by [55]. According to this author, maximum photosynthetic production at floral initiation influences the potential number of banana fruits. Thus, the high leaf count during the vegetative growth phase of banana plants in control plots and plots covered with *D. adscendens* likely contributed to an increase in the number of hands and fingers per bunch. Another explanation for the variability in the number of hands and fingers may be the existence of a hormonal flux, whose concentration at floral initiation determines the potential number of hands with female flowers to be formed, as indicated by Kwa and Tomekpe [56]. Moreover, during the first production cycle, banana fruit grade was influenced by the treatments. However, the values obtained in this study complied with quality standards in the banana sector. Indeed, the minimum grade for bananas intended for export and fresh consumer sales has been set at 27 mm [57]. In this study, the lowest recorded grade was 32.70 mm, observed in bananas from plots covered with *Arachis repens*.

Yield was not affected by cover crops. Thus, they did not have any adverse effect on dessert banana production, as the yield values of plants associated with legumes were statistically identical to those of pure cultivation (monoculture of dessert bananas). Similar results were reported by Olson *et al.* [58].

5 CONCLUSION

The legumes used as cover crops in the trials, namely *Arachis repens* and *Desmodium adscendens*, contributed to soil fertility restoration. Based on soil chemical analysis, the study revealed that these plants not only increased soil pH and cation capacity (CEC) but also enriched the soil with nitrogen, organic matter, and calcium compared to bare soil. Overall, cover crops influenced the agromorphological parameters of dessert bananas during the second cultivation cycle. Banana plants associated with these cover crops exhibited earlier production in the second cycle. Although *A. repens* did not significantly increase the number of hands and fingers during the second cultivation cycle, the yield values obtained from bananas treated with this legume were statistically identical to those obtained with *D. adscendens* and the control treatment.

REFERENCES

- [1] D. Loeillet, «The international banana trade: between evolution and revolution,» *Fruitrop*, vol. 129, pp. 2–19, 2005.
- [2] CIRAD, «Banana and Plantain,» *CIRAD Website*, 2023.
- [3] M. F. Réveillard, «Is the Dessert Banana Threatened by a Mass Extinction Crisis?,» *La Tribune Afrique*, 2023.
- [4] S. Rantrua, «Raw materials: Africa organizes to save its banana industry,» *Le Point Afrique*, 2022.
- [5] J. H. Kotir, «Climate change and variability in Sub-Saharan Africa: a review of current and future trends and impacts on agriculture and food security,» *Environment, Development and Sustainability*, vol. 13, pp. 587–605, 2011.
- [6] P. Roudier, B. Sultan, P. Quirion, and A. Berg, «The impact of future climate change on West African crop yields: What does the recent literature say?,» *Global Environmental Change*, vol. 21, pp. 1073–1083, 2011.
- [7] F. E. Rosales, L. E. Pocasangre, J. Trejos, E. Serrano, and W. Peña, «Guía de diagnóstico de la calidad y salud de suelos,» *Bioversity International*, pp. 1–79, 2008.
- [8] K. Dossa, E. O. Sogbohossou, and A. Yabi, «Cover crops and soil improvement in tropical environments: A case study in Benin,» *African Journal of Soil Science*, vol. 45, no. 3, pp. 198–210, 2017.
- [9] B. Koulibaly, G. N. Azo, and M. Yeo, «Effects of cover crops on erosion and soil stability in humid tropical Africa,» *International Journal of Geosciences and Environment*, vol. 19, no. 3, pp. 145–162, 2021.
- [10] K. Yao, S. Konaté, and B. Sanogo, «Plant biomass and nutrient retention in tropical soils: a cover crop approach,» *African Journal of Soil Fertility*, vol. 29, no. 3, pp. 152–169, 2020.
- [11] A. D. E. Amon, D. Soro, and D. Traoré, «Assessment of Loranthaceae infestation on woody plants in agroecosystems in the South Comoé region (Ivory Coast),» *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 9, no. 4, pp. 1822–1834, 2015.
- [12] A. H. G. Koua, «Coffee production situation in Côte d'Ivoire: the case of the Aboisso department, current situation and prospects,» *Dissertation in Agricultural Engineering*, 2007.
- [13] MPD, «Monographic and economic studies of the districts of Côte d'Ivoire (PEMED-CI): Comoé District, Summary note,» *Ministry of Planning and Development*, pp. 1–69, 2015.
- [14] B. Koné, S. Diatta, A. Saïdou, I. Akintayo, and B. Cissé, «Responses of interspecific upland rice varieties to phosphorus applications in forested areas of Nigeria,» *Canadian Journal of Soil Science*, vol. 89, no. 5, pp. 555–565, 2009.
- [15] K. Reid, «Soil Sampling and Analysis in Nutrient Management,» *Fact Sheet, Ontario*, no. 06-031, 2007.
- [16] R. Blake and K. Hartage, «Bulk density,» *Methods of Soils Analysis. Soil Science*, vol. 1, no. 2, pp. 363–375, 1986.
- [17] C. Vallée and A. Fédoroff, «Water behavior of a granite weathering soil under a spruce forest,» *Sciences Sol*, no. 3, pp. 119–113, 1974.
- [18] J. L. Blondé, «Influence of the water regime induced by rock cracking on humification and soil organization in a calcic environment,» *3rd Cycle Doctoral Thesis, Université Franche-Comté*, pp. 1–145, 1989.
- [19] AFNOR, «Determination of pH,» *Soil Quality, AFNOR NF ISO 10390*, pp. 339–348, 1999.
- [20] J. Kjeldahl, «Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern,» *Zeitschrift für Analytische Chemie*, vol. 22, pp. 366–382, 1883.
- [21] A. Walkley and I. A. Black, «An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method,» *Soil Science*, vol. 37, pp. 29–38, 1934.
- [22] B. Dabin, «Modified Olsen method,» *ORSTOM Notebook. Pedology*, pp. 1–335, 1967.
- [23] J. Murphy and J. P. Riley, «A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters,» *Analytica Chimica Acta*, vol. 27, pp. 31–36, 1962.
- [24] H. Ciesielski and T. Sterckeman, «A comparison between three methods for the determination of cation exchange capacity and exchangeable soils,» *Agronomie*, vol. 25, pp. 9–16, 1997.
- [25] CEAEQ, «Determination of metals, trace elements, phosphorus and sulfur using Mehlich-III extraction methods, hot water boron extraction and argon plasma emission spectrometry,» *Quebec Ministry of the Environment*, pp. 1–19, 2003.
- [26] G. Orjeda, «Evaluation of banana resistance to cercospora and fusarium wilt,» *Inibap Technical Guides*, pp. 1–61, 1998.

- [27] D. H. Lynch, N. Halberg, and G. D. Bhatta, «Environmental impacts of organic agriculture in temperate regions,» *CAB Reviews*, vol. 7, no. 10, pp. 1–17, 2012.
- [28] H. Blanco-Canqui, M. M. Mikha, D. R. Presley, and M. M. Claassen, «Addition of Cover Crops Enhances No-Till Potential for Improving Soil Physical Properties,» *Soil Science Society of America Journal*, vol. 75, no. 4, pp. 1471–1482, 2011.
- [29] L. W. Mbuthia, V. Acosta-Martínez, J. DeBryun, S. Schaeffer, D. Tyler, E. Odoi, M. Mpheshea, F. Walker, and N. Eash, «Long term tillage, cover crop, and fertilization effects on microbial community structure, activity: Implications for soil quality,» *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 89, pp. 24–34, 2015.
- [30] Z. Konaté, T. J. Gala Bi, F. G. Messoum, A. Sékou, A. Yao-Kouamé, M. Camara, and Z. J. Keli, «Alternatives to mineral fertilization of rainfed upland rice: Contributions of soybean and cowpea crops to the fertility of a hyperdystric ferralsol in west-central Côte d'Ivoire,» *Journal of Applied Biosciences*, vol. 54, pp. 3859–3869, 2012.
- [31] M. S. Mokolobate and R. J. Haynes, «Comparative liming effect of four organic residues applied to an acid soil,» *Biology and Fertility of Soils*, vol. 35, pp. 79–85, 2002.
- [32] R. Swennen and D. Vuylsteke, «Banana,» *Agriculture in Tropical Africa*, pp. 611–636, 2001.
- [33] G. A. Tanoh, J. B. D. Ettien, and F. B. O. Bouadou, «Effects of two legume biomass on soil fertility and yam yield in southwest Côte d'Ivoire,» *International Journal of Engineering Science Invention*, vol. 11, no. 2, pp. 13–23, 2022.
- [34] M. K. Jarecki and R. Lal, «Crop management for soil carbon sequestration,» *Critical Reviews in Plant Sciences*, vol. 22, pp. 471–502, 2003.
- [35] F. C. Hoyle, M. D'Antuono, T. Overheu, and D. V. Murphy, «Capacity for increasing soil organic carbon stocks in dryland agricultural systems,» *Soil Research*, vol. 51, pp. 657–667, 2013.
- [36] S. P. Wani, O. P. Rupela, and K. K. Lee, «Sustainable agriculture in the semi-arid tropics through biological nitrogen fixation in grain legumes,» *Plant and Soil*, vol. 174, pp. 29–49, 1995.
- [37] P. M. Chalk, «Dynamics of biologically fixed N in legume-cereal rotations: a review,» *Australian Journal of Agricultural Research*, vol. 49, pp. 303–316, 1998.
- [38] B. V. Bado, «Role of legumes on the fertility of tropical ferruginous soils in the Guinean and Sudanese zones of Burkina Faso,» *Ph.D. Thesis, Laval University*, pp. 1–197, 2002.
- [39] E. Barrios, F. Kwasiga, R. J. Buresh, J. J. Sprent, and R. Coe, «Relating pre-season soil nitrogen to maize yield in tree legume-maize rotations,» *Soil Science Society of America Journal*, vol. 62, no. 6, pp. 1604–1609, 1998.
- [40] H. Beringer, «Adequacy of soil testing for predicting fertilizer requirements,» *Plant and Soil*, vol. 83, pp. 21–37, 1985.
- [41] PDA, «Potash and Sulphur for Grain Legumes,» *Potash Development Association*, pp. 1–8, 2020.
- [42] M. A. Abiala, M. Abdelrahman, D. J. Burritt, and L. S. P. Tran, «Salt stress tolerance mechanisms and potential applications of legumes for sustainable reclamation of salt-degraded soils,» *Land Degradation and Development*, vol. 29, no. 10, pp. 3812–3822, 2018.
- [43] M. Benaceur, C. Rahmoun, H. Sdiri, M. Medahi, and M. Selmi, «Effect of salt stress on wheat germination, growth and grain production,» *Secheresse Review*, vol. 12, pp. 167–174, 2001.
- [44] M. Quadir and J. D. Coster, «Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture,» *Science of the Total Environment*, vol. 323, no. 1–3, pp. 1–19, 2004.
- [45] F. Le Dily, J. P. Billard, J. Le Saos, and C. Huanlt, «Effects of NaCl on chlorophyll and proline levels during growth of radish cotyledons,» *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 31, pp. 303–310, 1993.
- [46] M. Uchimiya, I. M. Lima, K. T. Klasson, and L. H. Wartelle, «Contaminant immobilization and nutrient release by biochar soil amendment: Roles of natural organic matter,» *Chemosphere*, vol. 80, no. 8, pp. 935–940, 2010.
- [47] K. Belden, K. L. Panter, and B. Stevens, «Iron Deficiency Chlorosis on Woody Landscape Plants in Wyoming,» *College of Agriculture, Office of Communications and Technology*, pp. 1–4, 2018.
- [48] L. O. Parent and R. Rivest, «Nutrients in the Fertilization Guide,» *CRAAQ*, pp. 1–294, 2003.
- [49] P. Kopittke, F. P. Blamey, B. McKenna, P. Wang, and N. Menzies, «Toxicity of metals to roots of cowpea in relation to their binding strength,» *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 30, pp. 1827–1833, 2011.
- [50] N. Bolan, A. Kunhikrishnan, R. Thangarajan, J. Kumpiene, J. Park, T. Makino, M. B. Kirkham, and K. Scheckel, «Remediation of heavy metal (loid)s contaminated soils – To mobilize or to immobilize?,» *Journal of Hazardous Materials*, vol. 266, pp. 141–166, 2014.
- [51] J. C. M. A. Juan and M. B. Villamil, «Short-Term Effects of Cover Crops and Compaction on Soil Properties and Soybean Production in Illinois,» *Agronomy Journal*, vol. 106, no. 3, pp. 860–870, 2014.
- [52] J. C. Robinson, «Bananas and Plantains,» *CAB International*, pp. 1–238, 1996.
- [53] J. C. Robinson, T. Anderson, and K. Eckstein, «The influence of functional leaf removal at flower emergence on components of yield and photosynthetic compensation in banana,» *Journal of Horticultural Science*, vol. 67, no. 3, pp. 403–410, 1992.
- [54] J. L. Barrera, G. Cayón, and J. Robles, «Influence of festival exposure and fruit epicarp on the development and quality of the Hartón plane tree race (Musa AAB Simmonds),» *Colombian Agronomy*, vol. 27, no. 1, pp. 73–79, 2009.
- [55] M. Jannoyer, «Determinism of the number of reproductive organs in a banana inflorescence (Musa acuminata, cv 'grande naine'),» *Thesis, National Institute of Agronomy Paris-Grignon*, pp. 1–230, 1995.

- [56] M. Kwa and K. Tomekpe, «Observations of the transition from female to male flowers on the inflorescence of banana and plantain trees,» *Fruits*, vol. 55, no. 3, pp. 171–179, 2000.
- [57] EC, «Commission Implementing Regulation (EU) No 1333/2011 of 19 December 2011 laying down marketing standards for bananas, provisions for monitoring compliance with those marketing standards and requirements for communications in the banana sector,» *Official Journal of the European Union*, vol. 336, pp. 23–34, 2011.
- [58] K. R. Olson, S. A. Ebelhar, and J. M. Lang, «Cover Crop Effects on Crop Yields and Organic Carbon Content,» *Soil Science*, vol. 175, pp. 89–98, 2010.

Etude de la diversité variétale du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) dans trois bassins de culture en Côte d'Ivoire

[Study of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) varietal diversity in three growing basins in Côte d'Ivoire]

Thiémélé Deless Edmond Fulgence¹, Daramcoum Wentoin Alimata Marie Pierre¹, and Sékongo Kofori²

¹Département de Biochimie-Génétique, Unité Pédagogique et de Recherche de Génétique, Université Peleforo GON COULIBALY, UFR Sciences Biologiques BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

²Laboratoire de Production Végétale, Institut de Gestion Agropastorale, Université Peleforo GON COULIBALY, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Cassava is a staple food that plays a very important role for the Ivorian population. In the Central, Central-Western and Western regions of Côte d'Ivoire, where cassava is a staple food, growers cultivate several varieties whose diversity remains poorly understood. The aim of the present study was to analyze the agromorphological variability of cultivars collected in these growing basins, in order to make better use of this varietal diversity. Agromorphological characterization was carried out on a collection of 70 accessions collected from growers, using ten quantitative variables. Analysis of variance (ANOVA) showed significant phenotypic differences for all the traits studied. Principal component analysis (PCA) confirmed this polymorphism at 83.49% for the first three axes. Accessions were structured into 5 groups of morphological variability following Hierarchical Ascending Classification (HAC). These groups are distinguished by plant height, height of first branching, central lobe length, central lobe width, number of lobes, leaf length to width ratio, petiole length, tuberous root weight per plant and total yield. The first three groups have cultivars with yields in excess of 20 t/ha and constitute the best genetic resources for increasing cassava production in these growing basins and in Côte d'Ivoire.

KEYWORDS: Cassava, agromorphological diversity, growing basins, Côte d'Ivoire.

RESUME: Le manioc est une denrée alimentaire qui joue un rôle très important pour la population ivoirienne. Dans les régions du Centre, Centre-Ouest et Ouest de la Côte d'Ivoire où le manioc constitue un aliment de base, les producteurs cultivent plusieurs variétés dont la diversité reste méconnue. La présente étude avait pour objectif d'analyser la variabilité agromorphologique des cultivars collectés dans ces bassins de culture afin de mieux valoriser cette diversité variétale. Ainsi, une caractérisation agromorphologique a été réalisée sur une collection de 70 accessions collectées auprès des producteurs à l'aide de dix variables quantitatives. L'analyse de variance (ANOVA) a montré des différences phénotypiques importantes pour tous les caractères étudiés. Une analyse en composante principale (ACP) a confirmé ce polymorphisme à hauteur de 83,49 % pour les trois premiers axes. Les accessions ont été structurées en 5 groupes de variabilité morphologique à la suite de la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). Ces groupes se distinguant par la hauteur de la plante, la hauteur de la première ramification, la longueur du lobe central, la largeur du lobe central, le nombre de lobe, le ratio longueur sur largeur de la feuille, la longueur du pétiole, le poids des racines tubéreuses par pied et le rendement total. Les trois premiers groupes possèdent des cultivars ayant des rendements supérieurs à 20 t/ha et constitue de meilleures ressources génétiques pour accroître la production du manioc dans ces bassins de culture et en Côte d'Ivoire.

MOTS-CLEFS: Manioc, diversité agromorphologique, bassins de culture, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

En Côte d'Ivoire, la culture du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) constitue une activité principale pour près de 80 % des agriculteurs [1]. Il est une culture très importante dans plusieurs régions du pays en particulier dans les bassins du Centre, Centre-Ouest et Ouest de la Côte d'Ivoire [2]. En Côte d'Ivoire, le manioc occupe le deuxième rang des productions vivrières après l'igname et une place prépondérante dans le système alimentaire [3]. Il est utilisé pour produire divers produits transformés tels que l'attiéké, le placali et sa production est estimée à plus de 6 à 7 millions de tonnes et fournit 20 à 25 % du PIB vivrier pour une consommation de 100-110 kg/an par habitant vivant en zones urbaines [1]. Malgré cette importance socioéconomique, la production reste faible (< 10 tonnes/ha contre 20 à 30 tonnes) en station de recherche pour couvrir les besoins alimentaires de la population à cause de l'utilisation de variétés de tout venant, à faible rendement et sensibles aux maladies et ravageurs [4]. Les bassins de culture du Centre, Centre-Ouest et Ouest de la Côte d'Ivoire, connue comme des zones productions de manioc dans le pays brasse plusieurs variétés de tout venant dont la diversité dans les exploitations familiales reste peu connue [5]. La connaissance de la variabilité agromorphologique des cultivars dans ces bassins de culture permettra de mieux connaître et sélectionner les variétés à haut rendement pour accroître la production dans ces régions et dans les autres zones de production. Ainsi, l'objectif de cette étude vise à analyser la diversité agromorphologique des cultivars de manioc provenant des bassins de culture du Centre, Centre-Ouest et Ouest de la Côte d'Ivoire en vue d'une exploitation efficace de ces ressources génétiques pour accroître la production nationale.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 SITE D'ÉTUDE

L'étude s'est déroulée à la station de recherche du Centre Suisse de Recherches Scientifiques (CSRS) à Bringakro. Le site expérimental est situé entre la latitude (6°25'0" N) et la longitude (5°4'60" W) au centre de la Côte d'Ivoire dans la ville de Toumodi. La zone d'étude est une zone de transition, située entre la forêt et la savane. Les sols de la région sont des sols ferralitiques, argileux et hydromorphes. Le climat de la zone est humide avec des précipitations annuelles moyennes de 1200 mm, reparti sur 5 à 8 mois et des températures comprises entre 24° et 28°C.

2.2 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal était constitué de 70 accessions de *Manihot esculenta* (Crantz) collectées auprès des paysans dans bassins de culture du Centre, Centre-Ouest et Ouest de la Côte d'Ivoire. Ces accessions ont été collectées de façon participative avec les producteurs sur la base de leur nom vernaculaire.

2.3 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

L'expérience a été mise en place selon un dispositif complètement randomisé. Chaque accession a été représentée par 5 plants. Une densité de plantation de 10 000 pieds/ha, soit un écartement de 1 m x 1 m entre les plants et entre les lignes a été adoptée. Le matériel de plantation était constitué de bouture de tige mature d'environ 20 cm de long, contenant entre 6 et 8 nœuds et plantées horizontalement sur un sol labouré, à une profondeur inférieure à 10 cm.

2.4 COLLECTE DES DONNÉES

Les données ont été principalement recueillies en utilisant les descripteurs proposés par [6] à 3, 6, 9 et 12 mois après plantation. Les racines tubéreuses ont été analysées lors de la récolte, soit 12 mois après la plantation. Dix (10) variables quantitatives ont été observées, prenant en compte la tige, les feuilles et les racines tubéreuses. L'observation des variables a été réalisée sur l'ensemble des plantes de chaque accession (Tableau 1).

Tableau 1. Caractères agromorphologiques mesurés au cours de l'expérimentation

Caractères	Unité	Code	Méthode de mesure
1-Nombre de racines tubéreuses par pieds	Unité	NTP	Compter les tubercules sur les pieds
2-Hauteur de la première ramification	cm	HRAM1	Mesurer la hauteur de la première ramification
3- Hauteur de la plante	cm	HPL	Mesurer la hauteur verticale du sol à la première branche primaire.
4-Largueur du lobe central	cm	LARLOC	Déterminer à l'aide d'un mètre ruban gradué
5-Longueur du lobe central	cm	LONLOC	Déterminer à l'aide d'un mètre ruban. Mesurer le lobe qui se trouve au milieu de la feuille
6- RATIO longueur/largeur de la feuille		RATIO L/W	Calculer le rapport entre la longueur et la largeur de la feuille
7- Nombre de lobes		NDLO	Compter le nombre de lobe sur une feuille
8- poids des racines tubéreuses par pieds	PTP	Kg	Peser à l'aide d'une balance les tubercules
9- Longueur du pétiole	LPE	cm	Déterminer à l'aide d'un ruban mètre gradué. Mesurer sur trois feuilles par plante
10- Rendement total	RDT	Kg/ha	Peser à l'aide d'une balance les tubercules.

2.5 ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES

Une analyse descriptive (moyenne, minimum, maximum, écart type, coefficient de variation) a été effectuée pour chaque descripteur. Ces analyses ont permis d'apprécier la variabilité des caractères mesurés chez les accessions. Le Coefficient de Variation (CV) a été considéré élevé lorsqu'il est supérieur à 20 %. Une analyse de corrélation de Pearson a permis d'évaluer les relations existantes entre les variables. Des analyses multivariées (Analyse en composante principale (ACP), Classification ascendante hiérarchique (CHA) ont été réalisées pour structurer les accessions de manioc. Une analyse de variance (ANOVA) a permis de comparer les moyennes des différents groupes pour déterminer les différences significatives au seuil de 5 % par le test de Newman-Keuls. Ces analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel XLSTAT 2019 version 2.2.

3 RÉSULTATS

3.1 VARIABILITE DES CARACTERES AGROMORPHOLOGIQUES DES VARIETES DE MANIOC

L'analyse descriptive des caractères mesurés sur les accessions montre une variabilité au sein de la collection de manioc. La plupart des variables présentent un coefficient de variation (CV) élevé variant entre 16,7 et 70,3 %. Ainsi, les caractères comme la hauteur de la plante (HPL), la hauteur de la première ramification (HRAM1), la largeur du lobe central (LARLOC), le ratio longueur sur largeur (RATIO L/W), le nombre de racines tubéreuses par pieds (NTP), le poids des racines tubéreuses par pieds (PTP) et le rendement (RDT) ont été plus variables entre les accessions avec des coefficients de variation supérieur à 20 %. En outre, les caractères comme le nombre de lobe (NDLO), la longueur du lobe central (LONLOC) et la longueur du pétiole (LPE) ont été peu variables. La hauteur de la première ramification (HRAM1) a présenté la plus forte variabilité (CV = 70,3 %) avec des valeurs allant de 25 à 333 cm et une moyenne de $112,199 \pm 76,65$ cm. En outre la longueur du lobe central (LONLOC) a été peu variable avec le plus faible Coefficient de Variation (CV = 16,7 %). Les résultats de l'analyse de variance montrent une différence significative ($p < 0,001$) entre les variétés en ce qui concerne toutes les variables mesurées.

Tableau 2. Statistiques descriptives des caractéristiques quantitatives prises en compte dans cette étude

Caractères	Minimum	Maximum	Moyenne $\pm$ écart-type	CV (%)	F
HPL (cm)	103	348	236,674 $\pm$ 49,416	20,5	***
HRAM1 (cm)	25	333,333	112,199 $\pm$ 76,65	70,3	***
NDLO	4	11	7,137 $\pm$ 1,403	19,7	***
LARLOC (cm)	1,8	7	3,826 $\pm$ 1,241	31,4	***
LONLOC (cm)	8	21	13,828 $\pm$ 2,585	16,7	***
RATIO L/W	1,624	7,51	4,016 $\pm$ 1,479	35,8	***
LPE (cm)	11,667	29	18,811 $\pm$ 3,521	18,7	***
NTP	1	10	6,614 $\pm$ 2,058	31,6	***
PTP (Kg)	0,1	4	2,038 $\pm$ 0,886	43,9	***
RDT (Kg/ha)	2	40	20,380 $\pm$ 8,863	44,5	***

HPL: hauteur de la plante; HRAM1: hauteur de la première ramification; LONLOC: longueur du lobe central; LARLOC: largeur du lobe central; NDLO: nombre de lobe; RATIO L/W: Ratio longueur sur largeur de la feuille; LPE: longueur du pétiole; NTP: nombre de racines tubéreuses par pied; PTP: poids des racines tubéreuses par pied; RDT: rendement total; CV: coefficient de variation. F: Fisher's coefficient; *** = significant at $P < 0.001$.

3.2 ANALYSE DES CORRELATIONS ENTRE LES CARACTERES QUANTITATIFS MESURES

L'analyse des corrélations entre caractères (Tableau 3) a révélé des liaisons positives entre certains caractères. Ainsi, le nombre de lobe (NDLO) a été significativement et positivement corrélé au nombre moyen de racines tubéreuses par pied (NTP, $r = 0,827$), au poids moyen des racines tubéreuses (PTP, $r = 0,752$) et au rendement en racines tubéreuses ($r = 0,752$). La hauteur de la plante (HPL) a été aussi significativement et positivement corrélée à la hauteur de la première ramification (HRAM1, $r = 0,639$) et à la longueur du lobe central (LONLOC, $r = 0,643$). La corrélation entre le nombre de racines tubéreuses par pieds (NTP), le poids moyen des racines tubéreuses par pieds (PTP) et le rendement a été respectivement de 0,763 et 0,763. Aussi, la longueur du lobe central (LONLOC) a été significativement et positivement corrélé à la longueur du pétiole (LPE, $r = 0,686$), à la hauteur de la plante ($r = 0,643$) et à la hauteur de la première ramification ($r = 0,696$). Enfin, la hauteur de la première ramification (HRAM1) a été significativement et positivement corrélée à la hauteur de la plante ($r = 0,639$) et à la longueur du pétiole ($r = 0,656$) (Tableau 3).

Tableau 3. Matrice de corrélation entre les variables mesurées

Variables	HPL	HRAM1	NDLO	LARLOC	LONLOC	RATIO L/W	LPE	NTP	PTP	RDT
HPL	1									
HRAM1	0,639	1								
NDLO	0,407	0,397	1							
LARLOC	0,013	0,141	0,41	1						
LONLOC	0,643	0,696	0,154	0,107	1					
RATIO L/W	0,18	0,091	-0,355	-0,825	0,404	1				
LPE	0,389	0,656	0,47	0,197	0,686	0,046	1			
NTP	0,309	0,231	0,827	0,374	-0,034	-0,439	0,277	1		
PTP	0,328	0,204	0,752	0,415	0,007	-0,424	0,384	0,763	1	
RDT	0,328	0,204	0,752	0,415	0,007	-0,424	0,384	0,763		1

HPL: hauteur de la plante; HRAM1: hauteur de la première ramification; LONLOC: longueur du lobe central; LARLOC: largeur du lobe central; NDLO: nombre de lobe; RATIO L/W: Ration longueur sur largeur de la feuille; LPE: longueur du pétiole; NTP: nombre de racines tubéreuses par pied; PTP: poids des racines tubéreuses par pied; RDT: rendement total.

3.3 STRUCTURATION DE LA DIVERSITE DES ACCESSIONS

3.3.1 ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP)

La variabilité agromorphologique entre les accessions de manioc a été appréciée par l'Analyse en Composante Principale (ACP) à partir des caractères mesurés. Il ressort de cette analyse que les trois premiers axes ont eu des valeurs propres supérieures à 1 et exprimant 83,49 % de la variabilité totale (Tableau 4). Ainsi, l'axe 1 qui exprime 47,03 % de variabilité totale est principalement corrélé au nombre de lobe (NDLO), à la longueur du pétiole (LPE) au nombre de racines tubéreuses par pieds (NTP), au poids des racines tubéreuses par pieds (PTP) et au rendement total (RDT). Cet axe capte principalement les caractéristiques liées à la feuille, à la quantité et au poids des tubercules. L'axe 2 qui exprime 25,83 % de la variabilité totale est corrélé à la hauteur de la plante (HPL), la hauteur de la première ramification (HRAM1), la longueur du lobes central (LONLOC), au RATIO L/W. Cet axe traduit en majorité les caractéristiques liées à l'aspect de la plante et au développement de la feuille. L'axe 3 qui exprime 10,63 % de la variabilité totale est corrélé à la largeur du lobe central (LARLOC).

Tableau 4. Matrice des valeurs propres et corrélations des variables avec les 2 premiers axes factoriels issues de l'Analyse en Composante

Composantes principales	Axe 1	Axe 2	Axe 2
Valeur propre	4,704	2,583	1,063
% Variabilité	47,035	25,829	10,631
% Cumulé	47,035	72,864	83,495
HPL	0,274	0,383*	0,000
HRAM1	0,256	0,480*	0,041
NDLO	0,804**	0,015	0,018
LARLOC	0,350	0,167	0,443*
LONLOC	0,193	0,603*	0,076
RATIO L/W	0,158	0,578*	0,212
LPE	0,462*	0,169	0,014
NTP	0,693**	0,072	0,052
PTP	0,757**	0,058	0,104
RDT	0,757**	0,058	0,104

HPL: hauteur de la plante; HRAM1: hauteur de la première ramification; LONLOC: longueur du lobe central; LARLOC: largeur du lobe central; NDLO: nombre de lobe; RATIO L/W: Ration longueur sur largeur de la feuille; LPE: longueur du pétiole; NTP: nombre de racines tubéreuses par pied; PTP: poids des racines tubéreuses par pied; RDT: rendement total. Les valeurs en gras sont les corrélations significatives au seuil de 5%: *: significatif; **: hautement significatif.

3.3.2 CLASSIFICATION ASCENDANTE HIÉRARCHIQUE (CAH)

La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) réalisée à partir des moyennes des variables quantitatives révèle cinq groupes agromorphologique (Fig. 1). Les caractéristiques des différents groupes obtenues sont résumées dans le Tableau 5 et presque toutes les variables analysées présentent des variations significatives entre les classes sauf le nombre de racines tubéreuses par pied (NTP). Le groupe 1 comporte 10 cultivars de taille moyenne (HPL = 227,31 cm) et une hauteur moyenne de la première ramification (HRAM1= 187,21 cm), un nombre de lobe (NDLO = 8,24) et une longueur du pétiole (LPE = 24,55 cm) élevés et un bon rendement (RDT = 24,65 t/ha).

Le groupe 2 rassemble 23 cultivars de taille modérée (HPL = 273,15 cm) avec la taille de la hauteur de la première ramification de (HRAM1 = 94,33 cm), un nombre de lobe (NDLO = 7,75) élevé, avec un rendement élevé (RDT = 24,77 t/ha).

Le groupe 3 est constitué de 7 cultivars de très grande taille (HPL = 342,91 cm), une grande hauteur de la première ramification (HRAM1 = 327,21 cm), une longueur modérée du pétiole (LPE = 21,00 cm) et un rendement moyen (RDT = 20,89 t/ha).

Le groupe 4 est composé de 18 accessions de petite taille (HPL = 195,90 cm), une hauteur modérée de la première ramification (HRAM1 = 98,74 cm), une faible longueur du pétiole (LPE = 16,96 cm) et un rendement moyen (RDT = 19,691 t/ha).

Le groupe 5 comprend de 12 cultivars de faible taille (HPL = 210,39 cm), une petite hauteur de la première ramification (HRAM1 = 35,28 cm), une faible longueur du pétiole (LPE = 14,33 cm) et un faible rendement (RDT = 15,01 t/ha).

Tableau 5. Caractéristiques des 5 groupes d'accessions de manioc issues du CAH

Variables	Groupes					P-Value
	1	2	3	4	5	
HPL	227,309 c	273,151 b	342,914 a	195,904 d	210,399 cd	< 0,0001
HRAM1	187,205 b	94,327 c	327,205 a	98,744 c	35,284 d	< 0,0001
NDLO	8,242 a	7,749 a	7,914 a	6,873 ab	6,172 b	< 0,0001
LARLOC	4,640 a	3,971 ab	3,310 b	4,104 ab	3,146 b	< 0,0001
LONLOC	14,748 b	14,064 b	18,576 a	12,494 c	11,616 c	< 0,0001
RATIO L/W	3,254 b	3,761 b	5,664 a	3,507 b	4,306 b	< 0,0001
LPE	24,554 a	19,617 b	21,007 b	16,968 c	14,333 d	< 0,0001
NTP	7,417 a	7,234 a	7,318 a	6,008 a	6,131 a	0,160
PTP	2,465 a	2,477 a	2,089 ab	1,969 ab	1,501 b	< 0,0001
RDT	24,647 a	24,766 a	20,893 ab	19,691 ab	15,006 b	< 0,0001

HPL: hauteur de la plante; HRAM1: hauteur de la première ramification; LONLOC: longueur du lobe central; LARLOC: largeur du lobe central; NDLO: nombre de lobe; RATIO L/W: Ration longueur sur largeur de la feuille; LPE: longueur du pétiole; NTP: nombre de racines tubéreuses par pied; PTP: poids des racines tubéreuses par pied; RDT: rendement total. Les moyennes suivies des mêmes lettres à l'intérieur des lignes ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % selon le test de Newman-Keuls.

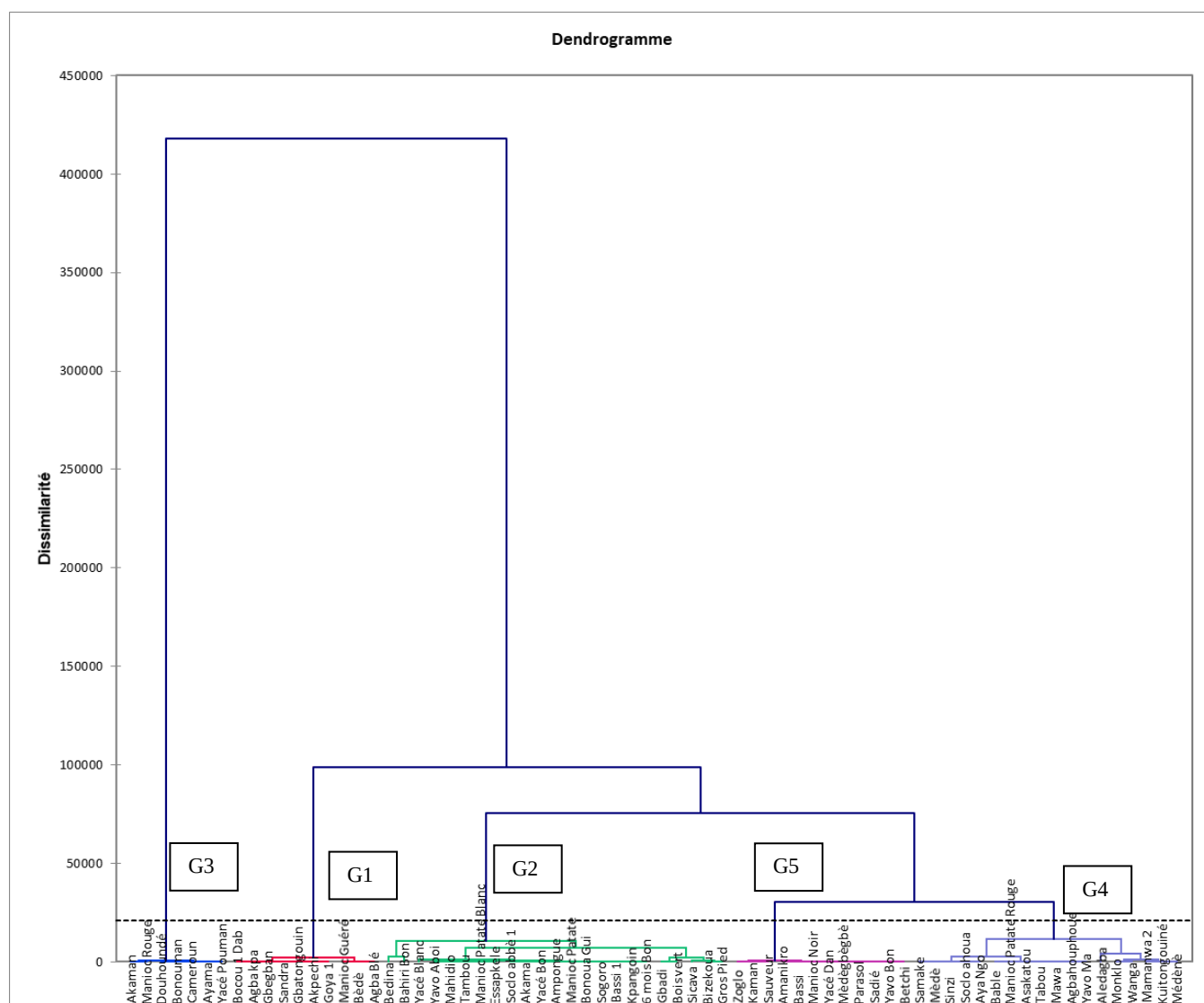


Fig. 1. Dendrogramme issu de la Classification Hiérarchique Ascendante (CAH) des 70 accessions de *Manihot esculenta* cultivées dans la région du Sud Comoé de la Côte d'Ivoire

4 DISCUSSION

L'évaluation agromorphologique des cultivars de *Manihot esculenta* cultivées dans les bassins de culture du Centre, Centre-Ouest et Ouest de la Côte d'Ivoire a montré une forte variabilité via les caractères étudiés. L'analyse en composante principale (ACP) a confirmé cette variabilité à hauteur de 83,49 %. Cette variabilité est supérieure à celle de [3] et [2]. En effet, ces auteurs ayant étudié la diversité agromorphologique des accessions de manioc collectées en Côte d'Ivoire ont obtenus respectivement des variabilités de 71,01 % et 57,45 %. La variabilité obtenue dans le cadre de notre étude est également élevée à celle de [7] en Sierra Leone et [8] au Tchad qui ont obtenus respectivement des variabilités de 67,27 % et 47,54 %. Cette diversité variétale pourrait s'expliquer par la forte hétérozygotie au sein des variétés de manioc. Ces résultats sont en accord avec les recherches de [9], lorsqu'ils ont étudié la diversité génétique des accessions de manioc à partir des marqueurs microsatellites.

Des corrélations positives et significatives ont été mise en évidence entre les caractères étudiés dans cette étude. En particulier la liaison entre le nombre de lobe et les caractéristiques de production (Nombre de racines tubéreuses par pied, poids des racines tubéreuses par pied et rendement). Ces résultats sont similaires avec ceux obtenus sur le manioc [10], [3] et [4].

La classification ascendante hiérarchique réalisée a mise en évidence cinq groupes morphologiques (G1, G2, G3, G4 et G5) dans les bassins de culture du Centre, Centre-Ouest et Ouest de la Côte d'Ivoire. Le nombre de groupes obtenus dans cette étude est supérieur à ceux obtenus par [2], [3], [11], [12]. En effet, ces auteurs ayant étudié la diversité agromorphologique

des accessions de manioc collectées en Côte d'Ivoire ont montré que les variétés se regroupent en trois groupes génétiques. En revanche, nos résultats sont similaires à ceux obtenus par [5], qui ont également obtenus 5 groupes phénotypiques en travaillant sur 200 cultivars en provenance de cinq zones de production sur la base des critères de reconnaissances en milieu paysan. La diversité élevée dans les bassins de culture du Centre, Centre-Ouest et Ouest pourrait s'expliquer par les introductions régulières des cultivars de manioc en provenance des autres zones de production, des échanges élevés de matériel végétal entre les producteurs dans ces zones de forte diversité ethnique [13]. Il faut également noter que dans ces bassins de culture, le manioc est un aliment de base et est très prisé pour produire des mets locaux comme "attiéké" et "placali" très consommés et vendus sur les marchés [14]. Aussi, les producteurs cultivent plusieurs variétés dans le même champ et cette pratique culturelle occasionne une forte diversité dans la zone à la suite des flux gènes entre les variétés contribuant à la production d'hybrides [15], [16].

Les accessions des groupes 1, 2 et 3 ont eu des rendements supérieurs à 20 t/ha, qui sont des rendements similaires aux rendements des variétés améliorées [11], [17]. Ces accessions constituent de potentiels candidats pour accroître la production nationale de manioc.

5 CONCLUSION

L'étude de la variabilité agromorphologique des cultivars de manioc collectés dans les bassins de culture du Centre, Centre-Ouest et Ouest de la Côte d'Ivoire a montré une forte variabilité entre celle-ci et a permis de mettre en évidence des potentiels candidats pour accroître la production. Les 70 accessions ont été structurées en 5 groupes (G1, G2, G3, G4 et G5) de diversité sur la base des variables étudiées. Les variétés des groupes 1, 2 et 3 ont eu des rendements supérieurs à 20 t/ha. Ces variétés présentent un réel atout pour le monde paysan et des géniteurs potentiels pour un programme de création variétale de variétés à haut rendement en Côte d'Ivoire.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par le FIRCA (Fonds Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricoles) que nous remercions vivement. Nous exprimons notre gratitude au Programme Racines Tubercules et Plantain (RTP) du FIRCA.

REFERENCES

- [1] Faostat. Agricultural production, crop primary database. Food and Agricultural Organisation of the United Nations, Rome. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>, 2022.
- [2] D. E. F. Thiémélé, V. K. Hgaza and M. C Koffi. Evaluation of Agromorphological Characters of Cassava Cultivars (*Manihot esculenta* Crantz) from Eight Agroecological Conditions in Côte d'Ivoire. *Research in Plant Sciences*, Vol. 12, No. 2, 11-17, 2024a.
- [3] D. A. Kouakou, K. K. Koffi, C. M. V. Angui, A. O. Komenan, I. Arsène and A. Zoro Bi Agro morphological variability of cassava varieties cultivated in five regions of Côte d'Ivoire based on quantitative traits. *Journal of Applied Biosciences*, Vol. 181, pp. 18962-18973, 2023.
- [4] D. E. F. Thiémélé, D. Koné, E. N. G. Noumouha. Quelle variété de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) est la plus adaptée aux zones sèches de production agricole ? Une étude agromorphologique des variétés de manioc dans la Région du PORO, au nord de la Côte d'Ivoire. *Science de la vie, de la terre et agronomie*. Vol. 12, n° 1, pp. 56-61, 2024b.
- [5] A. D. Kouakou, A. O. Komenan., C. M. V. Angui and K. K. Koffi. Variabilité morphologique du manioc (*Manihot esculenta*, Crantz) dans cinq zones de production sur la base des critères de reconnaissances en milieu paysan. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, Vol. 18, no. 4, pp. 1421-1431, 2024.
- [6] W. G. Fukuda, C. Guevara, R. Kawuki and M. Ferguson M. *Selected Morphological and Agronomic Descriptors for the Characterisation of Cassava*. (IIITA Éd.: Ibadan, Nigeria, p. 19, 2010.
- [7] A. Vandi, E. S. Alusaine, E. N. Prince, A. K. Sheku., Y. K. Kumba, F. Tiendrebeogo, A. O. Eni, J. S. Pita. Characterization of the Cassava (*Manihot esculenta*) Germplasm in Sierra Leone Based on Agro-Morphological and Culinary Traits. *Horticulturae*, Vol. 10, no. 6, pp. 1-18. 2024.
- [8] D. Nadjiam P.S. Sarr M. Naïtormbaïdé, J. M. M. Mbaïguinam and A. Guisse. Agro-Morphological Characterization of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) Cultivars from Chad. *Agricultural Sciences*, Vol. 7 pp. 479-492, 2016.
- [9] M. Soro, S. M. F. W. P. Zida, K. Some, F. Tiendrebeogo, D. H. Otron, J. S Pita, J. B. Neya and D. Kone. Estimation of Genetic Diversity and Number of Unique Genotypes of Cassava Germplasm from Burkina Faso Using Microsatellite Markers. *Gènes*, Vol. 15, pp. 73, 2024.

- [10] P. Ntawuruhunga and A. Dixon. Quantitative variation and interrelation ship between factors influencing cassava yield. Journal of Applied Biosciences, Vol. 26, pp.1594-1602. 2010.
- [11] B. N'Zué, M. Okana, A. Kouakou, K. Dibi, G. Zouhoury and B. Essis, B. Morphological characterization of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) accessions collected in the centre-west. South-west and west of Côte d'Ivoire. Greener Journal of Agricultural Sciences, Vol. 4, no. 6, pp. 220-231, 2014.
- [12] K. E. Djaha, K. Abo, B. S. Bonny, T. Kone, W. J. L. Amouakon, D. Kone and M. Kone, Caractérisation Agromorphologique de 44 Accessions de Manioc (*Manihot esculenta* Crantz) Cultivés en Côte d'Ivoire. International Journal of Biological and Chemica Sciences, Vol. 11 no. 1, pp. 174-84, 2017.
- [13] M. E. Ferguson, T. Shah, P. Kulakow and H. Ceballos H. A global overview of cassava genetic diversity. Plos ONE, Vol. 14, no. 11, e0224763, 2019.
- [14] O. Coulibaly, A. A. Djalalou-Dine, A. M. Faye, A. Tahirou, A. Calle-Goulivas, R. Ahoyo. Regional cassava value chains analysis in west Africa: case study of Côte-d'Ivoire. DOI: 10.13140/2.1.4476.3201, 2014.
- [15] S. Lekha, J. Teixeira and S. Pillai. Genetic variability studies between released varieties of cassava and central Kerala cassava collections using SSR markers. Journal of Stored Products Research, Vol. 2, no. 4, pp.79- 92, 2011.
- [16] D. E. F. Thiémélé, S. Silué, A. G. T. Noba. Agromorphological diversity of local cassava (*Manihot esculenta* Crantz) accessions cultivated in the South of Côte d'Ivoire. Greener Journal of Agricultural Sciences. Vol. 14, no. 1, pp. 113-122, 2024c.
- [17] S. Bakayoko, K. K. H. Kouadio, D. Soro, A. Tschannen, C. Nindjin, D. Dao and O. Girardin O. Rendements en tubercules frais et teneurs en matière sèche de soixante-dix nouvelles variétés de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) cultivées dans le centre de la Côte d'Ivoire. Journal of Animal & Plant Sciences, Vol. 14, Issue 2, pp. 1961-1977, 2012.

Les inondations pluviales à Boma et Kinshasa, aléas naturels dus aux vulnérabilités environnementales

[Rainfall Floods in Boma and Kinshasa: Natural Hazards Due to Environmental Vulnerabilities]

Mavinga Mvumbi Sylvain¹, Lankwese Niati Sylvain², Mananga Mananga Placide³, and Shuku Onema Nicola⁴

¹Université Président Joseph Kasa-Vubu, Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement, Département des Ressources Naturelles, BP 314 Boma, RD Congo

²Université de Kinshasa, Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement, Département de Gestion de Ressources Naturelles et Biodiversité, Apprenant au DEA en Agronomie et Environnement, BP 117 Kinshasa XI, RD Congo

³Chef de travaux à l'Université Président Joseph Kasa-Vubu, Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement, Département des Ressources Naturelles, BP 314 Boma, RD Congo

⁴Université Laval, Canada, Département des Sciences du bois et de la forêt, Enseignant-Chercheur en Sciences forestières et membre du Centre de Recherche sur les matériaux renouvelables, Chef de département de Géographie et Gestion de l'Environnement à l'Institut Supérieur Pédagogique de la Gombe, RD Congo

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: For centuries, urban dwellers have tended to settle on fertile lands and floodplains, simply because living conditions there seem more convenient than elsewhere due to proximity to water and food resources. In the Democratic Republic of Congo, this phenomenon is highly visible along lotic hydrosystems, including the Ndjili and Kalamu rivers in the city of Kinshasa, and the Kalamu River in the city of Boma. Conversely, the same waterways that provide life to surrounding inhabitants pose the threat of cyclical and severe flooding. Moreover, intense activities carried out within the areas comprising the hydrographic network repeatedly expose it to multiple ecological problems: sedimentation, narrowing of main channels, reduced flow, pollution, etc. In the face of this dramatic and drastic phenomenon, it is worth noting that very few efforts are made for large-scale maintenance, functional management of waterways, or their proper sanitation. As a result, almost all rivers in Kinshasa and Boma are rarely managed or dredged. Sediment accumulation in riverbeds is observed in all rivers, causing overflows and flooding in urban areas, leading to significant human and material damage during heavy rains or downpours.

KEYWORDS: rainfall floods, natural hazards, lotic hydrosystems, Boma, Kinshasa, human activities, environmental vulnerabilities.

RESUME: Depuis les siècles passés, les citoyens ont toujours tendance d'habiter dans les terres fertiles et des plaines d'inondations, simplement parce que les modalités de vie semblent être plus commodes qu'ailleurs à cause de la proximité des ressources en eau et alimentaires. En République Démocratique du Congo, ce phénomène est très visible le long des hydrosystèmes lotiques, entre autres, les rivières Ndjili, Kalamu (ville de Kinshasa); Kalamu (ville de Boma). A contrario, les mêmes cours d'eau qui donnent la vie aux habitants environnants font peser sur eux la menace des inondations cycliques et monstrueux. De plus, les activités intenses qui sont exercées dans les périmètres constitutifs du réseau hydrographique font en sorte que ce dernier soit confronté de manière répétitive à plusieurs problèmes écologiques: sédimentologie, étiollement des lits majeurs, diminution de débits, pollution, etc. Face à ce phénomène dramatique et drastique, il y a lieu de dire que très

peu d'efforts sont fournis pour des entretiens de grande envergure, de maintien fonctionnel de cours d'eau et de leur assainissement adéquat. D'où, presque toutes les rivières de Kinshasa et Boma sont rarement aménagées ou curées. Des engraissements de lits de cours d'eau sont notés dans toutes les rivières et causent de débordements et inondations de sites urbains, en provoquant des dégâts humains et matériels importants lors de grandes pluies ou averses.

MOTS-CLEFS: inondations pluviales, aléas naturels, hydrosystèmes lotiques, Boma, Kinshasa, activités anthropiques, vulnérabilités environnementales.

1 INTRODUCTION

Las Vegas ne reçoit que 100 mm de précipitations environ chaque année, mais celles-ci tombent souvent si rapidement que les inondations engendrées posent problème. Les inondations, qui causent la mort des personnes et provoquent des dégâts matériels, sont aggravées par les surfaces goudronnées. Le sol goudronné étant imperméable, l'eau ruisselle le long des rues et des trottoirs au lieu de s'infiltrer dans le sol. Les eaux de ruissellement transportent des polluants dans le lac Mead (l'huiles des moteurs, les déchets animaux des jardins, engrais des terrains de golf) (Raven et *al.*, 2011). Kiyombo (2007), précise que les pathologies associées aux inondations pluviales sont soit les maladies virales (fièvre typhoïde, choléra et hépatites), soit vectorielle (paludisme). Ces pathologies sont effectivement dominantes. Elles émergent de façon fulgurante dans les villes précitées et persistent dans le milieu biophysique.

Les inondations fréquentes survenues dans les milieux urbains sont celles de grands débits d'eau. Elles sont essentiellement dues à la topographie de la basse altitude, à la faible conductibilité hydraulique des sols alluvionnaires, au mauvais drainage des eaux pluviales, à l'occupation spontanée et non contrôlée de lits majeurs des cours d'eau du réseau hydrographique local, au changement climatique, etc. Les autres inondations, couramment rencontrées sont celles qui se développent *in situ*: parcelles, rues, places publiques, stades, provoquant de crevasses et excavations d'origines diverses. Dans les parties basses de Boma et Kinshasa, l'on identifie annuellement, les inondations avec ou sans écoulement d'eau. Ces dernières, sont variables et amplifient la vulnérabilité écologique des zones affectées, savoir: les zones inondables, les zones sensibles, qui sont habituellement caractérisées, par leur faible perméabilité due exclusivement à la mauvaise conservation des réserves foncières de maintien de berges, à l'habitat précaire, à la mauvaise qualité de latrines, au manque de moyens de substances, etc.

2 MILIEU

Les vulnérabilités environnementales liées aux inondations sont multiples. Les plus importantes d'entre elles sont: la destruction de l'habitat et de la voirie, les pertes en vies humaines et de biens, les pollutions et nuisances, la dégradation de la végétation, l'impraticabilité de routes, la stagnation d'eaux le long des avenues, etc. Il est utile de signaler qu'en situation d'inondations pluviales à Boma (figure 1) et Kinshasa (figures 2 et 3), le grand risque de vulnérabilité environnementale est sanitaire.



Fig. 1. L'eau de la rivière portant atteinte tout autour de la maison communale de Kalamu, à Boma (photo Makiese, 2025)



Fig. 2. *L'eau de la rivière Yolo submergeant quelques maisons du quartier Mombele dans la commune de Limete/Kinshasa (photo Mavinga, 2021)*



Fig. 3. *L'eau de la rivière portant atteinte au quartier Kilambu, cité de Vermane et Lemba Imbu, Commune de Mont-Ngafula/Kinshasa (photo Lankwese, 2025)*

2.1 VOIRIES

Les voiries des villes de Boma et Kinshasa ne remplissent pas correctement leur mission. Elles sont mal construites, tantôt sous-dimensionnées, par conséquent inadaptées et mal intégrées au réseau communal fonctionnel sur la base du schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme. D'où, elles sont toujours abordées lors de fortes averses ou pluies et obstruées par les matières solides de tous genres: sables, immondices et autres rejets solides dans le réseau d'assainissement.

UNICEF (1993), souligne que dans la plupart des villes de l'intérieur, il n'existe pas d'infrastructures d'assainissement des eaux usées domestiques, ce qui pose un réel problème environnemental. En effet, chaque ménage gère selon ses propres moyens les déchets liquides, les eaux de douches étant souvent éliminées dans un puits perdu et les autres dans les caniveaux à ciel ouvert ou dans la nature. Pour ce qui concerne les excréta, l'assainissement individuel est le système le plus répandu. Il est dominé par les latrines traditionnelles

Suite à la destruction de la voirie (figures 4 et 5), plusieurs types d'inondations dues aux crues de cours d'eaux, aux ruissellements et torrents boueux détruisent le fonctionnement de l'écosystème urbain. Le mauvais curage et le non aménagement de rivières qui traversent les villes sont à l'origine de fréquentes inondations.



Fig. 4. *Elévation du niveau de l'eau de la rivière Kalamu envahissant l'habitat de la commune de Kalamu/Boma (photo Makiese, 2025)*



Fig. 5. *La pollution plastique sur la rivière Kalamu traversant le quartier Mombele à Kinshasa/Limete (photo, Mavinga, 2021)*

2.2 FACTEURS FAVORISANTS DES CRUES DEFERLANTES ET CELLES DE LA RIVIERE

Notons que dans les deux villes étudiées, les crues déferlantes qui apparaissent moins de quatre heures du temps après le début de pluies battantes sont régulièrement liées avec l'apparition de cumulus géants, d'orages violents, etc. Elles sont souvent l'effet d'un écoulement résultant d'une pluie diluvienne, surtout lorsque les ouvrages de captage d'eau ne sont pas en mesure d'absorber et de contenir une importante quantité d'eau. Ces crues peuvent être dangereuses surtout lorsque le sol est abrupt, que la surface du ruissellement est étendue, que l'eau coule dans les canyons étroits et que le risque des tempêtes des pluies est élevé. De plus, Mavinga (2022) affirme que les conséquences de l'insalubrité les plus criantes sont en effet, la pollution de la nature (rivière, air, sol), des infrastructures, des odeurs nauséabondes. Les latrines collectives qui dominent plus le milieu d'étude sont les modes de Water-closet (WC).

Les crues de rivière de Boma et Kinshasa sont synonymes de fortes précipitations sur une étendue d'écoulement (bassin hydrologique étendue). En effet, ces crues trouvent leurs origines sur des cours d'eau dont les affluents pouvant drainer des vastes zones géographiques et englober de nombreux bassins autonomes. Lambin (2009), signale que les villes doivent être des lieux d'épanouissement, des réseaux sociaux denses et multiculturels d'innovation, de participation politique, de changement culturel, de normes sociales plus souples et d'accès à l'éducation, à l'information et aux services. En parcourant les villes de Boma et Kinshasa, les facteurs favorisant les crues sont entre autres, la perturbation de l'état du sol, du degré d'humidité du sol, de la couverture végétale. Aussi, la présence des surfaces urbaines recouvertes de matières imperméables comme le béton, ainsi que les dimensions du bassin hydrologique portent atteintes à la structure pédologique.

2.3 CONTRIBUTION DES CITADINS AUX INONDATIONS A BOMA ET KINSHASA

Une partie importante de populations bomatraciennes (population de la ville de Boma) et kinoises (population de la ville de Kinshasa) occupent les plaines illuviales. Dans ce milieu, l'explosion démographique devient de plus en plus remarquable. En effet, les populations préfèrent prendre les risques humains au lieu de rechercher des lieux cohérents d'habitabilité. Elles méprisent la bonne gestion des ressources, et ce, engendre de nouveaux types d'inondations. Les nouveaux bâtiments et de nouvelles routes qui recouvrent le sol empêchent l'infiltration, la percolation de l'eau, etc., ce qui fait que les pluies qui tombent sur une surface imperméable dans les deux villes étudiées forment des cours d'eau artificiels.

2.4 METHODOLOGIE

Des visites de terrain ont été entreprises à Boma et Kinshasa entre novembre 2024 et Avril 2025, en République Démocratique du Congo, précisément sur les sites où les inondations étaient plus visibles, afin d'apprécier l'état des lieux hydrologique, hydrique et hydrographique, ensuite recueillir des renseignements de base sur l'étude, grâce à la méthode d'observation directe doublée de l'approche systémique. Ainsi, la hauteur de l'eau, la durée des inondations et la vitesse du courant de l'eau et celle d'élévation d'eau ont été ciblées. En ce qui concerne la hauteur de l'eau, l'on s'est basé sur les fondations des constructions (figure 6), entrepôts, etc. y compris la végétation qui ont des marges de tolérance fluctuantes aux inondations. Pour ce qui est de la durée des inondations, il était question d'analyser de l'ampleur de dommages que subissent les immeubles, les infrastructures de base, la végétation. Quant à la vitesse du courant de l'eau et celle d'élévation de l'eau, il était utile de comprendre le phénomène de l'augmentation de l'eau des rivières qui entraînent des forces de pression spécifiques, capables de détruire ou d'affaiblir, les fondations des infrastructures de base se trouvant surtout dans le lit principal des rivières.



Fig. 6. Les eaux des pluies envahissant le quartier Mososo, à Kinshasa (photo Mavinga, 2023)

2.5 PHENOMENES DE CAUSALITE

La figure 7 présente les phénomènes de causalité des inondations. Elle permet de mieux faire l'analyse sur les inondations dans l'environnement urbain.

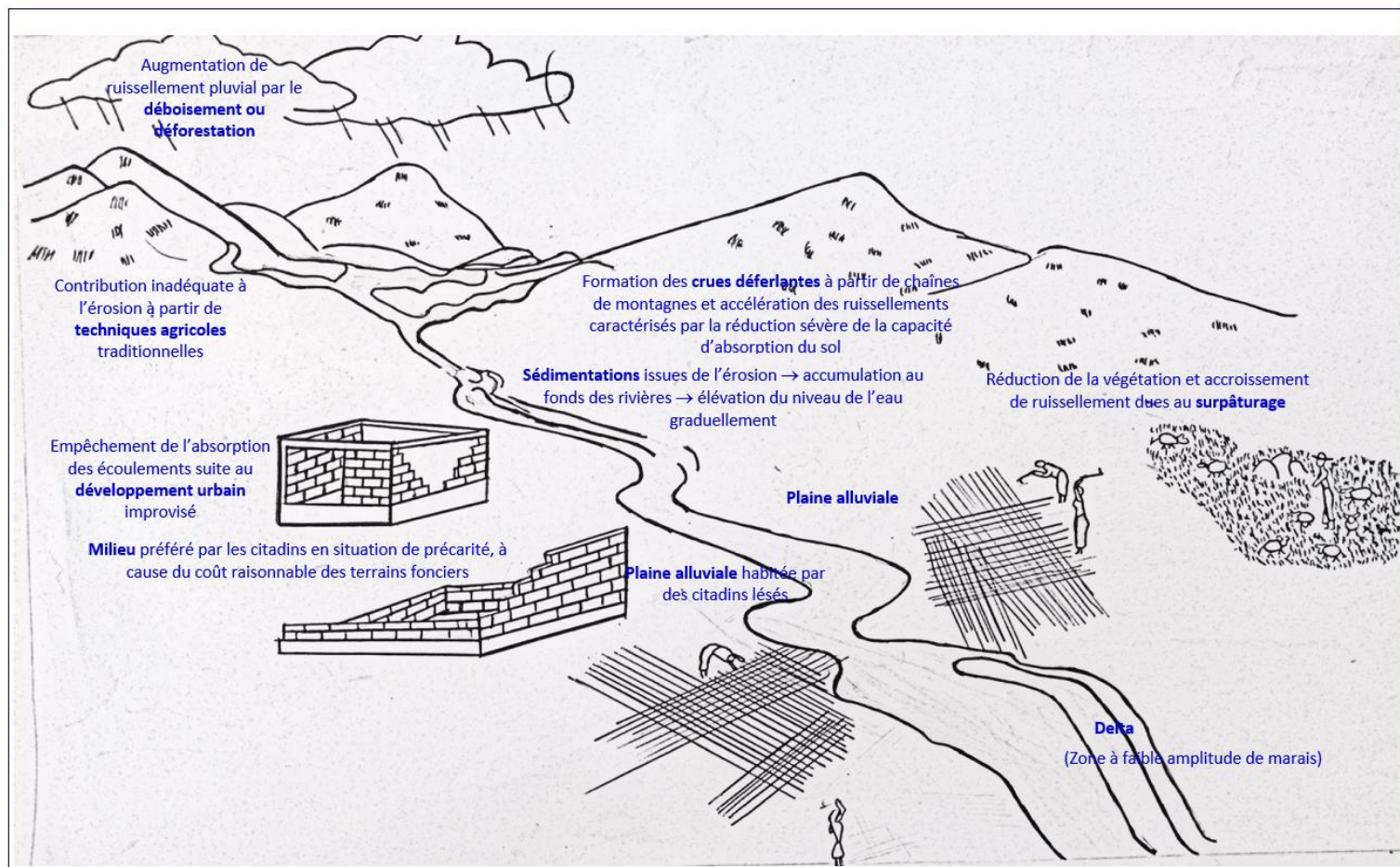


Fig. 7. Une vue assimilée aux phénomènes des causalité de l'inondation, dans le milieu urbain

Source : Mavinga, 2025

3 RESULTATS

Les résultats de cette publication scientifique concernent les faits identifiés sur le terrain concourant à l'aggravation des inondations de villes de Boma et Kinshasa. Il s'agit de l'urbanisation sauvage et incontrôlée, aux activités intenses et de survie, à la crise de gouvernance environnementale, aux inondations fréquentes, etc.

3.1 URBANISATION SAUVAGE ET INCONTROLEE

Boma et Kinshasa sont parmi des villes peuplées de la République Démocratique du Congo. Toutefois, la ventilation coloniale a permis la viabilité de ces villes. Cependant, à ce jour, leur démographie amplifiante induit, une surconsommation de l'espace et la destruction de l'équilibre de l'environnement naturel urbain. Comme on peut le remarquer, dans ces deux villes, l'urbanisation, est un processus spontané, incontrôlé, désordonné. Elle devrait en principe être cadrée et réalisée grâce à l'aménagement qui en définit l'opérationnalité, afin d'éviter les fragilités qui accompagnent les mauvaises pratiques de l'urbanisation. Or, les données de l'observation directe sur le terrain, font voir que les occupations spontanées dans les villes de Boma et Kinshasa y sont légion, savoir: carence d'infrastructures d'évacuation d'eau, réseau d'assainissement moins performant, etc. Ce contexte de crise d'aménagement et d'urbanisation détruit l'équilibre dynamique de cours d'eau.

3.2 ACTIVITES ANTHROPIQUES INTENSES ET DE SURVIE

D'après la configuration environnementale des villes de Boma et Kinshasa, l'on certifie que l'écologie urbaine et la qualité environnementale urbaine sont en fortes régression, parce que les activités anthropiques à impacts environnementaux variés

sont croissantes. Il s'agit de l'agriculture urbaine, extraction de sable de rivière, etc. Ces activités ne permettent pas aux citoyens de sauvegarder les eaux de surface selon les normes environnementales.

3.3 CRISE DE GOUVERNANCE ENVIRONNEMENTALE

Les villes étudiées sont des cadres à la fois précieuses et fragiles qui exigent la gouvernance environnementale, permettant de respecter l'équilibre naturel et de maintenir le fonctionnement de cours d'eau, grâce à des principes écologiques. Cependant, l'observation faite sur le terrain pousse à dire que l'Etat congolais ne s'affirme pas dans ses fonctions régaliennes. En plus, Boma et Kinshasa se caractérisent par la démission de l'autorité de l'Etat dans la gestion gouvernementale urbaine, la faiblesse de politique environnementale et d'instruments juridiques, l'absence d'aménagement écologique et de pratique de planification... Tous ces griefs renforcent la mal gouvernance environnementale et soumettent la gestion environnementale urbaine à l'épreuve d'une crise multidimensionnelle, savoir: dualité de droits foncier et essor d'occupations spontanées, étalement de l'espace urbain, fragilisation des espaces biophysiques, des atteintes environnementales multiples, etc.

3.4 INONDATIONS FREQUENTES

Sur le plan de risques de catastrophes naturelles, Boma et Kinshasa sont des villes à forte pluviosité provoquant des inondations. Ces risques sont grands dans les agglomérations de la partie basse de la ville. A Boma, une grande partie des communes de Kabondo et Kalamu, sont souvent victimes des inondations y compris une portion de la commune de Nzadi (quartier Sampa). A Kinshasa, les communes qui sont touchées par les inondations sont les suivantes: Barumbu, Bandalungwa, Kalamu, Kisenso, Limete, Makala, Masina, Matete, Mont-ngafula, Ngaba, N'djili.

Les zones pentues ou collinaires sont moins vulnérables aux débordements des cours d'eau qui créent des inondations. Néanmoins, les vulnérabilités sont dues aux débordements de cours d'eau sont liés à des pluies torrentielles. La véhémence des torrents vulnérabilise la structure et la texture des sols. Les zones à risques sont les couloirs de circulation des eaux pluviales, du sommet (bassin de rétention) à la vallée (cône de déjection). Ces couloirs aggravent la vulnérabilité environnementale dans les zones en pente.

4 CONCLUSION ET DISCUSSION

Autour de préoccupations soulevées sur l'objet de cette étude, plusieurs analyses ont été faites. Ce qui permet de dire que les deux villes étudiées connaissent de façon générale, une évolution régressive, noté sur plusieurs plans environnementaux. Cette régression de la qualité du bien-être de ménages doublée de constructions improvisées accélère les inondations.

En outre, les tendances démographiques amplifiantes de Boma et Kinshasa, l'urbanisation sauvage et incontrôlée (occupations spontanées, urbanisation anarchique sauvage et désordonnée), incidence de la pauvreté urbaine ou croissance accélérée du phénomène dans les villes et forte intensité d'activités anthropiques de survie de communautés urbaines (agriculture le long des cours d'eau, construction non assistée des ouvrages, exploitation non écologique des ressources, etc.). De la sorte, Lambin (2009), signale que les villes doivent être des lieux d'épanouissement, des réseaux sociaux denses et multiculturels d'innovation, de participation politique, de changement culturel, de normes sociales plus souples et d'accès à l'éducation, à l'information et aux services.

Les deux facteurs dominants des villes de Boma et Kinshasa sont à la base de vulnérabilités environnementales sanitaires: l'assainissement déficitaire et les inondations. Ces vulnérabilités écologiques ont un impact direct négatif sur l'économie du milieu citadin. Les inondations par exemple, engloutissent les ressources naturelles de celui-ci et entraînent: la perte de ressources alimentaires, la contamination de ressources en eau, l'affaiblissement de l'économie de ménages, la détérioration de la santé humaine, la destruction ou la fragmentation des habitats naturels, etc. C'est ainsi que beaucoup de ménages implantés au long de rivières sont abois lors de crues déferlantes ou des rivières, et épisodes d'inondations. Ce constat a été révélé par Munkuamo (2016) en précisant que plusieurs systèmes de causes de vulnérabilités coexistent à Kinshasa. Ces systèmes influent négativement sur la qualité de vie sociale des citoyens. Binzangi (2014) fait remarquer qu'avant la colonisation, l'environnement qui abritait l'anthropo-écosystème kinois était une véritable portion de biosphère, c'est-à-dire une mosaïque d'écosystèmes rivières, formations herbeuses, villages ou "géo-biosphères"... où plusieurs espèces vivantes ou communautés pouvaient vivre, se reproduire, se nourrir, prospérer, durablement, de manière agréable. Mais, la disparition des écosystèmes forestiers de Kinshasa, dans tous les sites où ils ont existé jadis, porte atteintes à la photosynthèse avec ses corollaires.

5 PERSPECTIVES

Pour réduire les risques d'inondations dus à la mauvaise gestion environnementale, les villes de Boma et Kinshasa sont appelées à être saines, harmonieuse, radieuse, viable, continuellement restauré, etc. Ainsi, il faudrait que l'Etat travaille concomitamment avec les scientifiques en vue de:

- réglementer la manière d'exploiter des terres dans les plaines illuviales, c'est-à-dire, mettre en œuvre un ensemble de mesures préventives contre les crues.
- prohiber certaines activités dans les zones qui connaissent des crues en moyenne une fois au moins tous les dix ans.
- enlever des matériaux qui sont à la base de passage des eaux de pluies, etc.

REFERENCES

- [1] Binzangi, K. et Falanka, N. (2014), *Réflexions sur l'évolution de l'environnement de Kinshasa: d'une portion biosphérique à une « cupidosphère »*, in Cahiers congolais de l'aménagement et du bâtiment (n° 003), IBTP, Kinshasa, pp. 83-91.
- [2] Kiyombo, M. (2007), Notes de cours d'hygiène et santé publique, DES/GE, Faculté des Sciences, Département des Sciences de l'Environnement. Université de Kinshasa /RDC.
- [3] Lambin, E. (2009), *Une écologie du bonheur*, éd. Le Pommier, Paris.
- [4] M., Sylvain Mavinga (2022), Constructions stratifiées des logements des quartiers Kauka et Yolo-Nord dans la commune de Kalamu: Indices de ségrégation du cadre de vie dans International Journal of Innovation and Applied Studies ISSN 2028-9324 Vol. 38 No. 1 Nov. 3 2022, pp. 33-50 © 2022 Innovative Space of Scientific Research Journals <http://www.ijias.issrjournals.org/>.
- [5] Munkuamo, G. (2016), Vulnérabilités environnementales et résiliences urbaines à Kinshasa/RDC. Une contribution à la résolution de la crise environnementale urbaine. Orientation: Ecologie urbaine. Département des Sciences de l'Environnement. Thèse de doctorat, Université de Kinshasa/RDC.
- [6] UNICEF (1993), Rapport mondial sur le développement humain. L'ampleur du déficit en assainissement, Unicef, La Haye, Hollande.
- [7] Ramade, F. (2005), *Eléments d'Ecologie-Ecologie appliquée*. Dunod, Paris.

Africans and the challenges of corruption: An analysis of Achebe's *The Trouble with Nigeria*

Maina Ouarodima and Idi Bahari Hamza

Department of English Language, Literature and Civilizations, Abdou Moumouni University, Niamey, Niger

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: From the declaration of independence of African countries and up to date, many African countries struggle hard to tackle the problems of corruption in Africa. The challenge of corruption is considered as one of the greatest challenges that destabilizes, blocks and impedes the development of many African countries. There is no doubt, corruption is a subject-matter that can be regarded as one of key points in the struggle of many African leaders. In fact, some civil servants, political leaders and army officers themselves consider and embrace corruption as a way of life that facilitates easy earning. Moreover, the aim of the current paper is to demonstrate how corruption can be considered as a source of underdevelopment of Africa through depicting the types of corruption in *The Trouble with Nigeria*. The paper seeks to provide some examples, through *The Trouble with Nigeria*, on how corruption impacts Africa negatively. Finally, applying postcolonial theory, the paper concludes with some useful recommendations that can help reduce and alleviate the corrupt practices in Africa.

KEYWORDS: corruption, Africa, development, challenge.

1 INTRODUCTION

Corruption exists for centuries in other parts of the world before being introduced into many African countries. Corruption is one the greatest phenomena that impedes the development of many African countries. For instance, the essential point to retain is that corruption is not even an African word even though it becomes a key point in the struggle of Africans. Anazodo et al. point out that "the word "corruption" originates from the Greek word "*corruptus*" meaning an aberration or misnomer" (47). Following this, we should maintain that the word 'corruption' is a foreign word in Africa despite its aggravation and impacts on the whole continent.

For instance, corruption may be described as political, social, financial, religious, moral, and so on. These types of Corruption thrive in many African countries with the assistance of some corrupt leaders, recklessness, greediness of both political leaders and populations by holding corruption as their way of life at the same time a means of self-enrichment. Gradually, corruption becomes a routine and its rampage and omnipresence can be detected in every sector of African countries. Achebe assumes that "anybody who can say that corruption in Nigeria [Africa] has not yet become alarming is either a fool, a crook or else does not live in this country [continent]" (37).

Once again, the worse is that, in Africa, corruption does not concern only one country, regime, people, politics, but the whole African continent. Okorantah and Joseph believe that "corruption is found in democratic and dictatorial politics, feudal, capital, capitalism and socialist economics. And corrupt practices did not begin today; its history is as old as the world" (496). The point here is that, as said earlier, corruption is omnipresent and can be found in every kind of government whether it is a democratic, military or dictatorial regime.

Intensively, the corrupt practices continue to invade many African political arenas where the political leaders can embezzle, patronize, favorize and abuse without the interruption of anyone for their own interest by considering public funds as their own. Moreover, the misappropriation of public funds may be critically remarked from the days of independence of many

African countries to the present day where many post-independent leaders serve themselves instead of serving people. They just run for politics for self-enrichment by using corruption as a tool.

Furthermore, this bad practice allows many African civil servants to act corruptly by relying on corruption as a means of exploitation, manipulation, and as well as sources for satisfying themselves in many administrations. In fact, what is worrying about corruption, in African countries, is that the ones who are supposed to combat corruption take the lead. This is the reason why many individuals socialize corruption as the only way to easy earning. In the same purpose, some African leaders who try to combat corruption find it difficult to retrieve themselves from it as they are deeply involved. Ogbeyi says, "when the political leadership class of a country espouses corruption, it becomes difficult for it to act positively to the benefit of the states and its citizens" (5).

Along with corruption, many African writers and critics write to inform and warn their fellow Africans. To reflect that corruption is a source of impediment to the African development, Chinua Achebe writes *The Trouble with Nigeria* in which he depicts the attitudes of Africans towards corruption by focusing on Nigerian as a microcosm. Achebe tries to point out that corruption is a cancer even though it is combatable. To decorticate this situation of corruption, he uses a vivid example of goat and yam as yam is as a food to goat, it can be difficult to prevent a goat from eating yam. Indeed, there are many types of corruption but the main focus of the current study is on fraud and embezzlement as depicted in *The Trouble with Nigeria*.

The main objective is to bring to surface how corruption leads many African societies to be socially, economically, financially and politically underdeveloped. Despite the calls of African intellectuals, corruption is still like a center of gravity in African leadership in many countries. The paper provides also some useful recommendations that help reduce and alleviate the corrupt practices in Africa countries. To achieve this goal, postcolonial theory is applied.

2 AN OVERVIEW ON POSTCOLONIALISM

Postcolonialism is a theory often made for a specific purpose of analyzing or studying the colonial effects on a country that was colonized by European powers such as France, England, Portugal or Germany. Ashcroft Bill et al. explain that "postcolonialism (often post colonialism) deals with effects of colonization on cultures and societies. As originally used by historians after the second World War in terms such as The Post-Colonial state, 'post-colonial' had clearly chronological meaning, designating the post-independence period" (168).

In the same order, postcolonialism is nothing else but the period after the departure of the colonizers. It indicates the period in which the colonized people take charge of themselves as leaders of their new nations. In this sense, postcolonialism becomes a common and the most used in a study that deals with the impacts of colonization on a continent like Africa. Wang Yufeng mentions that "Postcolonialism has nowadays become a popular and important theory for literature research" (650). Thus, postcolonialism is not only important but the most appropriate in dealing with postcolonial studies. This is because the main concern of postcolonial theory is the study of the effects that colonizers left into their former colonies. Wang maintains also that "postcolonialism is concerned about the study of cultures formerly or (currently) colonized power, struggle between cultures, and interaction of cultures" (651).

Therefore, Postcolonial theory is now considered as the most important ingredient in analyzing the study of the so-called independent countries. Postcolonial theory stands as a salt in the food despite the presence of other ingredients it remains unavoidable. Jain Ruchika asserts, "the postcolonial studies also become indispensable in assessing the similar trajectories of colonization being traced around us in the political world today" (47). Postcolonial study is simply like a disenchantment, a struggle against bad governance, corruption, and many other bad things. Abrahams upholds:

an important text in establishing the theory and practice in this recently developed field of study was *Orientalism* (1978) by the Palestinian-American scholar Edward Said, which applied a revised form of Michel Foucault's historicist Critique of Discourse (see under new *Historicism*) to analyze what he called "cultural imperialism. (236)

Postcolonialism becomes one of the best theories in examining the effects of bad leadership which gives birth to corruption, terrorism, conflict etc. on colonized people. To do so, we first explain what corruption is, identify the types of corruption that exist, as well as demonstrating how corruption can be an impediment to the African development and its impacts on Africans before the paper closes with some useful recommendation that can help mitigating the power of corruption in African countries.

3 THE CONCEPT OF CORRUPTION

The term corruption has no exact or specific definition that reflects what it typically is. Corruption is one of the most complicated terms that everyone defines according to what seems to be appropriate to his own understanding. Anazodo et al. define corruption as “a perversion of or change from the general accepted rules or laws for selfish gain” (48). According to Sommer Udi et al., “corruption is the use of government powers by government officials for illegitimate private gain” (2). For Ateiah Gani, “corruption is defined as a bad behavior and functional behavior, aiming at deviation and unlawful gain, and breaking out of the system for a personal benefit” (15103). Therefore, all the above definitions can be considered as conceptual definitions of corruption. Corruption can also be defined as an act of negotiating to have something illegally for self-interest. Therefore, the current study relies on the definition of corruption as a pervasion of or change from the general accepted rules or laws for selfish gain.

4 THE CAUSES OF CORRUPTION IN AFRICA

At this point, many thinkers give their point of views about the factors that contribute to the existence and occurrence of corruption in African countries. Then, some of the scholars substantiate that the causes of corruption may be linked to the colonial effects, political system, greed etc. and it is acceptable but what we need to recall is that this may not be the only reason why corruption takes place in many African countries even though the system can be held as the main motivator.

According to Achebe, what contributes to the existence of corruption is nothing else but the systems. Therefore, what Achebe wants to demonstrate is that if the system makes it difficult for the corruptors to find their way, they will be obliged to reduce corrupt practices. In other words, if the laws and punishment are applied on the corrupt people, it will be difficult for others to get involved in the corrupt affairs. In the book, Achebe writes that “Nigerians [Africans] are corrupt because the system under which they live today makes corruption easy and profitable; they will cease to be corrupt when corruption is made difficult and inconvenient” (38). Commenting on the previous quotation, it is undeniable that the system allows both the administrators and populations to embrace corruption but self-interest is the main motivational factor that leads one to act accordingly.

Then, the rigid cause of corruption, as said earlier, is the system. It is crucial to acknowledge that the fragility of the institutions, the difficulty of living conditions can be held as factors that cause corruption. Progressively, this allows the propagation of corruption in many places in Africa. In the same purpose, many decisionmakers misallocate, misappropriate and steal or embezzle the funds entrusted to them for self-interest.

Medani Bhandari believes that “corruption can be influenced by a range of factors, including systematic issues, weak governance structures, cultural norms, and socioeconomic conditions” (5). To clarify this statement, it is important to understand that what can cause corruption is the system of a country, lack of structure of governance as well as the conditions of one’s society, pressure of both family and peer, and self-interest of the corruptor.

The causes of corruption can be placed at many levels, but the most important thing to retain is that corruption may likely occur where self-interest is at the first point, on one hand, and greediness on another hand. Similarly, Burak and Alghandouri assume that:

There are many causes of corruption such as weakness of ethical controls in state institutions and society, which leads to giving priority to an individual interest on the public interest, and the second cause is difficult economic and social conditions, with the growing influence of the physical impact on the community, the third cause which consider as one of the important cause is the reduction of the concept of integrity and righteousness and uprightness with repressive dictatorships in loyalty to the regime etc... (39-40)

The previous quotation demonstrates that the main causes of corruption are self-interest, economic difficulty and the reductions of self-integrity while the principal cause is self-interest. It means that in a place where self-interest is put before everything else, it is difficult to lead fairly whether it is in the political arena or in the administration.

In a country where the political leaders play their role and answer to the calls of their populations, corruption may not occur easily. In the same process, the culture provides meaningful contribution in fighting corruption if one can take into account the importance of his or her own culture as Usman Yusuf puts it, “the political system and culture of a society could make the citizen more prone to corrupt activities” (6). What is quite clear is that corruption can be influenced by culture of a society.

Along with corruption, many critics and writers themselves put the responsibility on the political leaders when it comes to the spread of corruption. They show that corruption always goes with power and the people in the position of power allow corruption to take place. What misses here is that the political leaders themselves apply corruption as a means of self-enrichment instead of fighting against it. Therefore, if those who are sensed and supposed to stop it practice it, this will motivate many other individuals to involve in the business. Achebe utters:

It will be impossible and, even if possible, of little value to attempt a comprehensive picture of the types and scope of Nigerian corruption. I would only say that most people agree that corruption has grown enormously in variety, magnitude and brazenness since the beginning of the second Republic because it has been extravagantly fueled by budgetary abuse and political patronage on an unprecedented scale. (41-2)

Within the context of *The Trouble with Nigeria*, saying that corruption has been encouraged by the second republic of Nigeria, Achebe wants the readers to realize the attitudes of military leaders in Nigeria and in Africa in general towards corruption. They pretend to take power to settle the problems, but the reality is that they just feed themselves. Thereover, talking about the cause of corruption, many African intellectuals rationalize about the cause or causes of corruption in the African continent. The well-known pan Africanist, PLO Lumumba, who is worrying about African situation in terms of development, provides the causes of corruption. Lumumba upholds:

Some of the identifiable causes of corruption include the negative colonial legacy, poor leadership, politics of the belly, omnipotent state, greed and selfishness, clientelism and patronage nepotism, absence of popular participation of the public in government, weak institutions of governance, lack of accountability and transparency, lack of political will, weak ethical values, centralist nature of the state and concentration of state power, weak judicial system and constant insecurity and conflicts. (13)

Furthermore, as there is no good system to fight against corruption in the governance, the context gives green light to many Africans to embrace corruption. In *The Trouble with Nigeria*, Achebe makes it clear in explaining how corruption can be caused and who can contribute to its occurrence. Achebe accordingly puts the matter where it is by holding the powerful or the people in the position of power as the main cause of corruption. Achebe describes that "corruption goes with power; and whatever the average man may have it is not power. Therefore, to hold any useful discussion of corruption we must first locate it where it properly belongs-in the ranks of the powerful" (38). Following the above quotation, one may understand that political corruption is the first to be condemned as political leaders are well armed and have the potential to prevent the diffusion of corruption but unfortunately it is not the case.

Similarly, Pilapitiya Thusitha assesses also how corruption can likely take place by providing some elements that are undeniable in contributing to the occurrence of corruption. She highlights that corruption may probably take place where greed, lack of punishment, lack of mentorship etc. dominate. Moreover, Pilapitiya mentions, "the causes of corruption can be listed as greed, need, opportunity, lack of punishment, lack of inquiry or fellow up, peer pressure, and habit" (12). Following the above quotation, it is significant to say that the cited elements can easily facilitate the corrupt practices.

As for Hyacinth, he describes also the elements such as the weakness of the institution as the main and principal cause of corruption in Nigeria or Africa in general. He insists that if the laws and regulations are well respected, corruption will not be energized. Hyacinth rationalizes, "several reasons can be adduced for the prevalence of corruption in Nigeria but principally weak institutions emanating from state fragility are largely responsible" (54). This means that corruption can be rampant if the States take the right decisions to stop it.

To sum up, the above cited elements are undoubtedly considered as the causes of corruption. It is significant to retain that there are other facilitators that can contribute to the spread of corruption like lack of experiences, incompetence of the actor, extravagancy, love of being promoted, self-centeredness of the actor, bad intention of the corruptor, carelessness to the consequences ect... Indeed, there is no doubt that the elements cited above may push one to be involved in the corrupt practices.

5 CORRUPTION AS AN IMPEDIMENT TO THE DEVELOPMENT OF AFRICA

Corruption is undoubtedly one of the greatest phenomena that impedes the African development for many decades. Many scholars prove that corruption is a source of underdevelopment of Africa. Suleiman Rafiu states that "the elites have been contaminated with the cancer of corruption and perpetuate the reign of corruption and slavish mentality which debilitate the people economically, socially, and spiritually" (264). As a result, corruption impedes African progress because some African

leaders consider it as a means of empowering one's families, friends and relatives. Corruption as a parasite to the African development is supported by Suleiman who puts forwards that "Africans are still forced to live in penuriously pauperized conditions without food, housing, accessibility to quality health care, affordable housing, quality but cheaper education at all levels of our education ladder" (264).

Ostensibly, Corruption under develops many African countries because their leaders do not only misallocate the funds destined for the development process but force their kinsmen to live under difficult conditions which can no longer allow them to think about development. The worst is that many African leaders consider the countries' wealth as their own by doing whatever they want with it. Then, the problem is that the misappropriation of funds has no specific regime, age or time. Every leader can embezzle the wealth for his personal gain. With such practice, many African countries will never reach the level of sustainable development.

Oladayo Awojobi supports the idea of corruption as an impediment to the development of African countries. He maintains that "new political thinkers in Africa have blamed corruption by African leaders for the underdevelopment of the continent. Huge sum of money that would have been used to provide infrastructural facilities are stolen by African leaders and send to Western countries for safe keeping at the expense of African development" (6). Without any shadow of doubt, corruption is one of the greatest causes of African underdevelopment. What worries in African politics is that many African people elect the individuals who are not morally equipped to govern the countries but to amass money in order to enrich themselves. Awojobi also adds, "corruption remains the cause of underdevelopment in Africa. This can be attested to by the massive looting of public funds by African leaders" (6).

Corruption is truly a cancer and pandemic to the African development because it is only in Africa that an individual can misallocate more than 200 billion dollars, naira or CFA or other currencies and stands as a candidate for the election. In *The Trouble with Nigeria*, Achebe states that "knowledgeable observers estimated that as much as 60 per cent of the wealth of this nation is regularly consumed by corruption. I have no doubt that defenders of our system would retort: mere rumors! Where is the proof?" (40). This misappropriation of funds can never allow African development.

Demystifying corruption as an impediment to the African development, it is crucial to remark that almost everyone acknowledges that corruption is a hindrance to the development of Africa countries. Muhammad et al. also put forward that "corruption acts as significant hindrance to good governance and sustainable development" (40). Corruption is a hindrance to both governance and development.

Moreover, the problem of corruption is not only the misappropriation of African funds but also the chances given to the hook and crook leaders to govern. In the political arena, the populations choose 'the thieves' to lead them as role model. The individuals who do not even know what their fellow Africans want but they govern to devastate public funds for self-desire as Lawal Gbenga puts it, "since the post-colonial Africa, corruption has been a cause for concern because it diverts already limited funds, undermines economic progressed and impedes policy changes required for development" (4). Corruption is undoubtably an obstacle to the African development.

As a matter of fact, in many African countries, corruption remains a barrier to the improvement of the living conditions. Corruption hinders African development because the majority of African wealth is being 'eaten' by the corrupt leaders who have no intention to develop the countries but to enrich themselves. It under develops African countries as the youth inherit nothing from old politicians who dilapidate public funds for self-interest. Similarly, Wokabi Francis argues that "the youth have learned and embodied self-centeredness, greed for wealth, moral cowardice, aversion to honest and hard work, disregard for the law and moral apathy" (6).

Corruption devastates African development because many Africans know that corruption is a cancer to the development as well as the source of underdevelopment of their countries but accept it as the only and fastest way for self-enrichment. In this particular racket, Armah also gives his view point on how young Africans accept corruption as the only way to live their life. In *The Beautiful One Are Not Yet Born*, Armah utters, "there would always be only one way for the young to reach the glean. Cutting Corners, eating the fruits of fraud" (95). Therefore, corruption is no longer an abstract practice in Africa.

Corruption is still a barrier to the development of African countries because both the politicians, civil servants and even the populations assume that corruption helps them have money and materials though illegally in a very short moment. What is more, many civil servants, in African countries, even forget about their salaries because they 'eat and drink' in the business of corruption such as bribery, favoritism, fraud that they have turned into a rule.

Achebe describes how corruption under develops African countries by pointing at the way Africans are tied to corruption. Achebe argues that "the weekly star 15 May 1983 has on its front page under the title The Nigerian and corruption: keeping an average Nigerian from being corrupt is like keeping a goat from yam" (38). Above all, it is undeniable that corruption in

Africa is a practice that is difficult to avoid despite its impacts on the development of many African countries. Therefore, in order to understand the way corruption haunts in the hearts and minds of many Africans, it is necessary to investigate how it occurs and what are the types of corruption expressed in the novel? Finally, how does it affect the African development? To answer these questions, it is crucial to analyze the different types of corruption in *The Trouble with Nigeria* and other related works by bringing out the negative impacts of corruption.

6 TYPES OF CORRUPTION IN THE TROUBLE WITH NIGERIA

As said earlier, corruption may have different types such as political, social, financial etc. The main focus of the current research is on political corruption in which we can have certain forms like Fraud, Embezzlement, bribery, patronage, favoritism or nepotism. In fact, Fraud and Embezzlement become a known practice that almost everyone may bear witness in many African countries. Fraud and embezzlement are the only ones to be discussed in *The Trouble with Nigeria*.

6.1 FRAUD

Fraud is a routine and known practice that takes place in almost every African country either publicly or privately. It mainly appears in the political arena where members of governments may act illegally for self-interest by relying on fraud as a means for achieving their goals. In this case, an individual may deviate from the norms or rules to misallocate the funds entrusted to him. For instance, fraud is another type of corruption which can be seen as crime in the political arena because many political leaders think that fraud stands as the only and the most appropriate way to become rich in a very short time. Amundsen Inge argues that "fraud" is an economic crime that involves some kind of trickery, swindle or deceit. It is a broader legal and popular term that covers more than bribery and embezzlement" (2). Indeed, fraud can be seen as a practice that many African leaders wish to apply in both politics and administrations.

In *the Trouble with Nigeria*, Achebe states that "The Concord carries a banner headline: FRAUD AT P and T, followed by a story with no less authority than that of the Federal Minister of communications, Mr. Audu Ogbe, that "the Federal Government is losing 50million Naira every month as salaries" to non-existent Workers" (39). What is significant here is that fraud, in the politics of some African countries, is accepted as the easiest way to become rich. Therefore, lack of transparency or lack of communication to inform the population what is happening in the governmental affair is one of the features of the fraud. Furthermore, fraud is a reality in almost every African country and the problem is that the population cannot tell where the money was invested. As Achebe explains, "and please Remember that Minister Audu Ogbe is not telling us about all the Fraud in the Post and Telegraphs department but only about one particular racket which has just come to light: payment of salaries to fictitious workers" (39).

Fraud may be detected in many ways. It may be detected, for instance, as the payment of the non-existent workers or else investing on something that was never realized. In the same process, Achebe maintains that "The Fake Importers brings us another revelation, this time at the ports-story of Nigerian importers who having applied for and obtained scarce foreign exchange from the Central Bank ostensibly to pay for raw materials overseas, leave the money in their bank abroad and ships to Lagos of muds and sand!" (40). One can understand through the above quotation how fraud occurs is quite manifest. Since fraud stands as a habit to many African leaders, it is significant to note that fraud can be exercised in both public and private sectors. In order to get rid of fraud, government should be strong enough to apply laws in every kind of act without tolerance as well as put transparency at all level.

6.2 EMBEZZLEMENT

Embezzlement is another form of corruption that occurs in the political arena of many African countries. In such a way, the political leaders use their position to embezzle public funds for selfish gain. This type of misappropriation of some African countries' funds is described by Achebe. Achebe depicts the attitudes of African leaders towards embezzlement by taking the case of Nigerian as a microcosm of the whole African countries. What one can also understand is that embezzlement of public funds becomes like a fashion and subject of competition to many African leaders in African politics.

In *The Trouble with Nigeria*, Achebe insists that "in the course of one year then Nigeria loses 600million Naira in this particular racket. a series of little comparisons may bring home the size of this loss" (39). The main idea of the quotation is to depict the way Africans lose huge amount of money as the result of embezzlement by some African greedy leaders. With such practice from different context of situation, development will never be a reality.

Thereover, Armah explains how some members of government dilapidate the public funds for self-interest. By doing so, Armah takes the fictional characters such as Abednego, Zacharias Lagos, Joseph Koomson to demonstrate that kind of

misappropriation of public funds. In *The Beautiful Ones Are Not Yet Born*, Armah mentions, “Abednego Yamoah, still free, perhaps never to be caught. Selling government petrol for himself, but so cleverly there is always someone else, a messenger, cleaner, to be jailed, never Abednego. The whole world says he is a good man, and the whole world asks why we are not like him” (96). What Armah wants to express is that the embezzlement of public funds becomes the only way for self-enrichment.

The surprising thing is, in the history of African post independent leadership, it is difficult to have a regime, democratic or military without the embezzlement of public funds. The crux of the matter is that those who embezzle are rarely to be jailed. What the government can do to them is just to change their political positions. The ideology embraced by many African leaders is that public funds are for everyone. They can eat and book for themselves without being arrested. In the same process, in the *Trouble with Nigeria*, Achebe depicts that many African leaders take countries’ resources to give to their friends and relatives in the name of contract, but in reality, they just want to enrich themselves as well as their accomplice. Achebe upholds:

Public funds are now routinely doled out to political allies and personal friends in the guise of contractors to executive public works of one kind or another, or licenses to import restricted commodities. Generally, a political contractor will have no expertise whatsoever nor even the intention to perform. He will simply sell the contractor to a third party and pocket the commission running into hundreds of the sands of naira or even millions for acting as a conduit of executive fiat. (42)

The above quotation depicts how some individual misallocates the funds of their countries for selfish gain. Embezzlement of public funds becomes a subject of contemplation in many African countries. Today, many individuals enter into politics just to amass money and buy many luxurious things because they see other people act accordingly. So, what is amazing is that it is only in the African countries that individuals can steal public money and be elected by people to govern them. This kind of practices is a drawback to the continent. Chinua Achebe writes another book entitled *A Man of the People* in which he depicts how some African post-independent leaders behave through the characters of Chief Nanga and Odili.

In the novel, Odili narrates, “the first thing critics tell you about our Ministers official residences is that has seven bedrooms and seven bathrooms, one for every day of the week. All I can say is that on that first night there was no room in my mind for the criticism” (36). Through the above quotation, it is significant to realize how African Ministers use public funds to build houses for self-interest.

The problem of embezzlement in most African countries is not only the stealing of money but also the monopoly of government officials in every sector which can cost more on the populations themselves. What hurts, the funds they steal can no longer satisfy them but they add with patronage in every share so that the people can notice that they are the ones who are powerful. In Addition, in *A Man of the People*, the narrator reveals, “that row of ten houses belongs to the minister of construction, ’ he said. They are all let to different embassies at three thousand a year each” (54).

As far as embezzlement is concerned, many political leaders forget about what they should do for the interest of their own people. They can just take public money to prepare for the next election. And he who thinks about the next election, rather than the next generation, will never have the idea of doing good to the people. Most importantly, in *The Trouble with Nigeria*, Achebe indicates that “alternatively he can raise cash not by selling the contract but by collecting a “mobilization fee” from the treasury, putting aside the contract for the time being or forever buying himself a Mercedes Benz car and seeking elective office through open and massive bribery” (42).

Embezzlement of public funds becomes a subject of competition from top to bottom. What worsens the situation is the behavior of some African post independent leaders who regard embezzlement as part of leadership. Scholars provide evidence of how members of parliament steal public funds for self-interest in many parts of Africa. Bopa points out that “it is alleged that p250million pula was embezzled by those who were supposed to safeguard it. The purpose of the funds, according to Mr. Merapelo Tautona (principal Energy officer), is to cushion the retail prices as government doesn’t give out money to cushion prices (qtd.in P Muton no and T Mikazhu78).

Similarly, several African intellectuals show their own discontentment about the way African leaders steal public funds for their own satisfaction. The ideology embraced by most of the leaders is to become rich with public office. Onyeashie James argues that “new leaders would simply take into their hands, new powers to steal the nation’s wealth for their own satisfaction” (144). Embezzlement which is regarded as one part of the attitudes of African leaders is without any doubt a financial crime that needs more efforts to be combatted both in politics and in the administrations by setting the laws and applying them on anyone who tries to embezzle.

7 THE CONSEQUENCES OF CORRUPTION IN THE DEVELOPMENT PROCESS

7.1 IMPACTS OF CORRUPTION ON ECONOMIC DEVELOPMENT

The negative impact of corruption on African countries is not a speculation. It is a reality that can be noticed in every domain. Corruption undermines political leadership, annihilates the improvement of many people specially the poor. It disrupts the strength of many institutions. It destroys the economic growth, educative system and the independence of many non-governmental organizations. The effects of corruption harm everyone who lives in Africa whether he or she is in the villages or in the cities. Many empirical studies demonstrate the reality about the impacts that corruption has on the economic development of African continent.

In the book, Achebe explains that the money lost because of corruption can buy many things in terms of development. This is because the leaders do not only misallocate public funds destined for development but also refuse to take the direction that can bonify the economic development of Africa. By explaining this, Achebe describes how Nigeria loses an important sum of money due to corruption. Achebe writes, "with 600 million Nigeria could build two more international airports like Murtala Muhammed Airport in Lagos; or if we are not keen on more airports the money could buy us three refineries; or build us a dual express motorway from Lagos to Kaduna; or pay the salary of 10,000 workers on grade level 01 for forty years! (39). Wakobi Francis rightly maintains that "corruption leads to the erosion of public trust which further undermines democratic institutions and processes" (4). In this process, we may notice that corruption does not harm only one sector but the whole continent.

Once again, the impact of corruption in many African countries does not stand at politic or administration, but it goes beyond that. In many countries, corruption leads many African countries not only to be economically weak but also to be socially disorganized and democratically backward. Nuhu Ribadu reports that "corruption is one of serious challenges which undermine the effectiveness of institutions and entire governments in many African countries. It seems to be appropriate to hold it responsible for impediment investor confidence and depriving citizens of true governance, democracy and development" (1). Therefore, the above sufficiently depicts how corruption harms the entire country.

Identically, the evidence of corruption as a cancer, a danger to the development of a country, is substantiated by some scholars such as Kodah and Traore who state that "corruption is a phenomenon which is certainly the cancer of the developing countries, to such an extent that one can wonder if the so-called developing countries are rather not "under developing". Corruption takes several forms based on the society one is examining" (2). Interesting to retain, corruption can destroy everything and everyone.

In other words, corruption is not only a bane to the economic development but also antagonist of any vision about development of a country. Many people agree that corruption is what prevents many African countries to make progress. In this case, even the political leaders acknowledge there is no development with corruption though self-interest pushes them to use it as a means of becoming rich. Achebe maintains also in the book, "but be that as it may, we are living witness to the failure of helpless integrity to solve the problem of rampant corruption which threatens now to paralyze this country in every sinew and every limb" (43).

On the other hand, Ouarodima Maina explains the problem of corruption in the economic growth of African continent. Even though it is undeniable that many people know that corruption is what hampers economic potential in African countries. He asserts, "the battle against corruption must be given priority in any efforts to support Africa's growth and development because it has negative effects on the continent's politics, economy and society as well" (457). In this case we can say that the negative effect on the African continent is real and still alive and well.

Corruption is truly harmful to the sustainable development scales in many African countries. Appiah John points out that "corruption can hinder the achievement of all the seventeen (17) sustainable development goals in Africa" (111). The most difficult time for a country is when corruption goes beyond the limits and becomes a rampant. With such practice, a country or a continent will never reach its potential. This is the reason why many African countries remain backward in terms of development.

7.2 IMPACTS OF CORRUPTION ON SOCIETAL DEVELOPMENT

Corruption affects societal development in many African countries. Corruption is one the greatest phenomena that prevents the majority of African societies to get access to the basic services such as housing, healthcare, education, watering and many other necessary things. Aattah Amana et al. mention, "other consequences of corruption in Nigeria includes unemployment and underdevelopment; infrastructure decay; poor quality and delivery of public projects; poor public service;

production and sale of substandard goods; incompetent political leadership; image and reputation bashing” (67). The above elements are considered as the main consequences of corruption on societal development.

To hold any useful debate about the impact of corruption, it is even painful to say that corruption is a poison to the societal progress. Therefore, Achebe tries to show that corruption does not only affect the population or country but the whole African continent. In the same process, in the book under analysis, Achebe maintains that “corruption in Nigeria [Africa] has passed alarming and entered the fatal stage; and Nigeria [Africa] will die if we keep pretending that she [Nigeria or Africa] is only slightly indisposed” (34). In other words, it is significant to remind us that if Nigerians or Africans keep watching corruption without doing something, the continent will die.

What is more, corruption engenders the misappropriation of funds estimated for the improvement of the societies’ welfare. Nmah states “other consequences of corruption include oppression of the weak, loss of public trust, adaptation of utilitarian ethic, destruction of the moral fiber of the society, poor productivity and incompetence, ineffective development and administration, limited foreign and domestic investment undermining of democracy, and general underdevelopment” (124). There is no doubt, corruption is a bane to the societal development.

Corruption is a danger to the development of the society as it prevents the main part of the societies to achieve meaningful development. Corruption does not only impact African people but also contributes to their marginalization. In the same manner, it exacerbates poverty as well as joblessness of the youth. Additionally, Aattah et al. maintain also that “the greatest consequence of corruption is one that affects individuals and in particular the poor members of the society. This because the poor solely depend on government for health care, housing security, welfare, education etc. when these are not provided, they are the most affected” (65).

Additionally, Oneyashie depicts that corruption affects the poor in African countries to the extent that they cannot afford toilet for themselves but use public latrines. Onyeashie states that “the poor have no decent toilet facilities rather they make use of latrines. The whole system is rotten and everywhere stinks while the politicians use public funds to enrich themselves” (141). Commenting on the above quotation, it is useful to notice how the system used by the leaders pollutes everything in the life of Africans.

In *The Trouble with Nigeria*, Achebe passionately explains how corruption undermines Nigerians and Africans to a larger extent. Achebe believes:

Although Nigeria is without any shadow of doubt one of the most corrupt nations in the world there has not been one high public officer in the twenty-three years of our independence who has been made to face the music for official corruption. And so, from fairly timid manifestation in the 1960, corruption has grown bold and ravenous as, with each succeeding regime, our public servants have become more reckless blatant. (42)

Therefore, corruption is no doubt a hindrance to the societal development as the leaders refuse to combat the bane of corruption which is now and then stagnating the progress of the society.

Indeed, one of the greatest critics on corruption, Tanzi Vito, scientifically expresses the problem of corruption on both societal and economic development. Since corruption becomes one of the worldwide preoccupations, Tanzi depicts the impacts that corruption has on societal development by pointing out the monopoly of the government officers that highly stagnate the development process. Tanzi asserts, “corruption is likely to increase income inequality because it allows well positioned individuals to take advantage of the government activities at the cost of the rest of the population” (28).

Further, corruption is against any good way that can ameliorate the life of many Africans. It leads to the excessive frustration and lack of understanding between the members of the society. The impact of corruption is heavy on the societal life. Faleye Olukayede says that “the misallocation of resources due to corruption is responsible for the teaming unemployed youths in the country” (181). Following the previous quotation, it is significant to say that the misallocation of the country’s funds may lead to the shutting of economic growth as well as the creation of the teams of area boys.

Furthermore, corruption becomes not only a subject matter but also one of the greatest enemies of the societal development. Because it creates difference within the people themselves, the poor and the rich. Karianga Hendra argues, “corruption causes sharp and significant differences between individuals and certain social groups, especially in terms of income, prestige, even power, etc.” (10). As a result, one can say that corruption opposes the societal development.

Unfortunately, corruption, in many African countries, can be a source of conflict, terrorism as well as other practices such as kidnapping. The funds destined to many areas are diverted and stolen by the decision makers which may lead to the unemployment of the country. Faleye demystifies that “these unemployed youths (Alma Jeri in the North, Agbero in the south

west, Bakassi boys in the south East and Niger Delta militants in the South- South) are often recruited as political thugs or terrorists by disgruntled politicians and opportunists' religious leaders" (181). To go further, corruption is a cancer to Africa.

The worst is that corruption can harm those who have not. This is because what is supposed to be given to them is used by the greedy leaders for their personal interests. This is because, if a society does not feel at ease, the country will never be at ease and if a country is not at ease, the whole continent will be underdeveloped. Lawal rightly points out that "there is increasing evidence that the social and economic cost of corruption disproportionately affects the poor, who not only suffer from the lack of services and efficient government, but who are powerless to resist the demands of corrupt officials" (4).

Assessing the impact of corruption on societal development, it is interesting to point out that the corrupt do not only impede the poor to progress but also push them to forget about any successful way that can help them to have primary services. Appiah, from his own perspective, depicts how corruption affects poor Africans by stating, "corruption in Africa deprives the majority poor of their essential needs for foods, health, education, housing, access to clean water, and sanitation in Africa" (111). What is more, corruption has so many consequences.

To end the section, it is good to hold the view that corruption is one of the greatest enemies of societal development which requires great attention to combat in order to reach effective development of the society.

7.3 IMPACTS OF CORRUPTION ON EDUCATIONAL DEVELOPMENT

The problem of corruption is not only the misappropriation of economic or societal development but also the hampering of educational development in many African countries. This impact of corruption on educational development can be realized on the misappropriation of the funds allocated for the educational development. Basak Barun indicates that "research suggests that corruption in education can hinder economic growth by diminishing human capital accumulation and lowering ethical standards among professionals. This negative impact on education quality conclusively impedes total fatality productivity and hindered progressive" (9-10).

As a matter of fact, in the educational sector, corruption threatens any successful way for the improvement of the education. Corruption impedes the investment for quality education, infrastructures, state of meritocracy and the recruitment of teachers both in quantity and quality. Bhandari states that "corruption in education undermines the principles of meritocracy, equal opportunity, and quality education for all" (7). What we come to realize through the previous quotation is the way corruption devastates the whole educational system in many African countries.

What one should note is, in a country where corruption exists, the question of education will never be thrived in any way. If the corrupt leaders misdirect the funds to be supplied for education, then the school officials will also take something from what they receive for their own interests. This misappropriation, misallocation of the funds can hinder the whole educational system. As said earlier, corruption is a danger to the economic, societal and educational development of African countries.

Akinola et al. explicate the impacts that corruption has on the educational development by stating, "reduction of funds for school administration, inadequate of professional teachers, inadequate infrastructural facilities, poor quality education, examination malpractices, educational planning and poor implementation of educational programme, poor supervision, poor staff development, hindered achievement of educational objectives" (196).

Despite the elements considered as the negative impacts of corruption, corruption may also have certain impacts such as lack of freedom of speech in certain countries in Africa, misunderstanding between both the populations and the leaders, shutting of educative system and uneasiness of the populations in many African countries.

8 CONCLUSION

Being a threat to the betterment of a country, corruption is, no doubt, one of the greatest challenges that blocks the progress of many African countries to be autonomous. It disrupts many institutions. It undermines ruling systems of many African countries. It impedes the rights of many individuals by preventing them to get access to the basic services, both in the public and private sectors. The challenge of corruption is not a strange or a new phenomenon in many African countries. Its negative impacts have been dating for many years despite the efforts to eradicate it. Nevertheless, the corrupt practices remain the headstoned in many African countries unless the Africans change their ruling systems by putting transparency in every sector. The behavior of certain political leaders and administrators and government should also be redirected. The educational systems should be established in such way to teach both the heart and the mind.

9 RECOMMENDATIONS

Adopting a ruling system that conforms to the realities of African countries can impede the corrupt practice in many places in Africa. Creating ombudsmen in many administrations can help the government to alleviate the diffusion of corruption both in the urban and rural areas. Riding the African Administrations by Putting civil servant in good conditions will prevent a civil servant to look for additional incomes to satisfy their selfish desires. Putting Transparency at all levels can contribute to decreasing corrupt practices in a country both in the villages and the cities. Prosecuting and punishing small act may also mitigate corruption. Applying the Laws and Equal Treatment can successfully reduce the misunderstanding that can bring conflict between the leaders and the populations.

REFERENCES

- [1] Achebe, Chinua. *The Trouble with Nigeria*. Heinemann, 1983.
- [2] Achebe, Chinua. *A Man of the People*. African Writers Series, 1966.
- [3] Armah, Ayi Kwei. *The Beautiful One Are Not Yet Born*. Heinemann African Writers Series, 1969.
- [4] Abrahams, M. H. *A Glossary of Literary Terms*. Henle& Henle, 1999.
- [5] Ateiah, Gani Zkaier. «Constitutional Mechanisms to Combat Corruption in Iraq » The Integrity Commission as a Model. *Pal arch's Journal of Archeology of Egyptology*, Vol.17, No.6, 2020.
- [6] Amundsen, Inge. «Corruption Definitions and Concepts.» *Chro Michelsen Institute Development Studies and Human Rights*, 17 January, 2000.
- [7] Ashcroft, Bill, et al. *Post-colonial Studies*. Taylor Francis Library, 2007.
- [8] Anazodo, R.O, et al. «Leadership, Corruption and Governance in Nigeria: Issues and Categorical Imperative.» *International Multidisciplinary Journal*, Ethiopia, Vol.9 (2), Serial No. 37, April, 2015, pp 41-58. Academic research premier, <http://dx.doi.org/10.4314/afrev.v9i2.4>.
- [9] Appiah, John. «Bribery and Corruption in Matthew 28: 11-15: A lesson for The Church in Africa.» *E-Journal of Humanities, Arts and Social Sciences*, Vol.4, No.2, February, 2023, pp. 102-117. Academic Research premier. <http://doi.org/10.38159/ehass.2023421>.
- [10] Aattah, Amana Phillip, et al. «Corruption and its impacts on the Socio-economic Development of Nigeria.» *Journal of Good Governance and Sustainable development In Africa*, Vol.4, No.4? August, 2019, PP62-69.
- [11] Awojobi, Oladayo Nathaniel. «Corruption and Underdevelopment in Africa a Discourse Approach.» *International Journal of Economics, Commerce and Management*, Vol.2, No.10, Oct 2014.
- [12] Burak, Souad Ali Omer, and Alghandouri, Abdallah Mohamed AL Mabrouk. «Administrative& Financial Corruption in Developing Countries (Case of Study).» *International Journal of Engineering and Science*, Vol.7, No.5, 2018, PP 38-43.
- [13] Bhandari, Medani P. «The corruption a chronic Disease of Humanity: Causes, Effects and Consequences.» *Scientific Journal of Bielsko-Biala School of Finance and Law*, Vol.27, No.1, 2023, p13.
- [14] Barun, Basak. «Analyzing the Impact of Corruption for Underdevelopment in African Countries.» *Journal for Multidisciplinary Research*, Vol.6, No.2, March-April 2024.
- [15] Faleye, Olukayode Abiodun. «Religious Corruption: A Dilemma of Nigeria State.» *Journal of Sustainable Development in Africa*, Vol.15, No.1, 2013.
- [16] Jain, Ruchika. «The Relevance of Postcolonial Studies Today.» *Impact: International Journal Of Research in Humanities, Arts and Literature*, Vol.3, No.10, Oct 2015, pp 45-48.
- [17] Karianga, Hendra. «State Financial Corruption and Its Impact on Development.» *GSA- Revista de Gestão Social et Ambiental*, Vol.18, No.9, 2024, Academic research, <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n9-027> organization: Interinstitutional scientific Committee.
- [18] Kodah, Mawuloe Kofi, and Traore Moussa. «Corruption and Democracy as Inextricable Bed- Fellows: Acritical Reading of *Money Galore and A Man of The People*.» 1st Interdisciplinary conference of the institute of educational planning and Administration, 27th April-1st May 2015, University of Cape Coast, Ghana.
- [19] Lawal, Gbenga. «Corruption and Development in Africa: Challenges for Political and Economic Change.» *Humanity & Social Sciences Journal*, Vol.2, No.1, 2007.
- [20] Lumumba, PLO. «Corruption in Africa: The Impediment to Economic Development on the Continent.» The 42ND Session of The Organization of African Trade Union Unity General Council Meeting, 19th day of September 2019, At Stanley Hotel Nairobi, Kenya.
- [21] Muhammad, Ibrahim S et al. «Corruption and its Impacts on Socio-economic development in Selected Countries of Africa.» *African Journal of Politics and Administrative Studies*, Vol.12, No.2, December, 2023, pp 23-46.
- [22] Myint, U. «Corruption: Causes, Consequences and Cures.» *Asia-Pacific Development Journal*, Vol.7, No.2, December 2000.

- [23] Nmah, Patrick Enoch. «Corruption in Nigeria: A Culture or Retrogressive Factor?» *A New Journal of African Studies*, Vol.13, 15 Sep, 2017, Academic Research, <http://dr.doi.org/10.4314/og.v13;1.6>.
- [24] Ogbeyi, Michel M. «Political Leadership and Corruption in Nigeria Since 1960: A Socio-economic Analysis.» *Journal of Nigeria Studies*, volume1, Number2, Fall 2012.
- [25] Olivier de Sardan, J.P. «A Moral Economy of Corruption in Africa? *Cambridge University Press, The Journal of Modern African Studies*, Vol.37, No.1, Mar, 1999, pp 25-52.
- [26] Okorantah, Chikeziem Fortunatus, and Joseph, Chukwudi Odionye. «Corruption, Corrupt Practices and Economic Development: The Nigerian Experience.» *International Journal of Advanced Research*, Vol.3, No.2, 2015, PP 494-505.
- [27] Onyeashie, James. «Corruption: A Bequest in the Modern African Novel.» *Veritas Journal of Humanities*, vol.1, no.1, accessed 3 January 2025.
- [28] Ouarodima, Maina. «African Leaders and the challenges of Time: A Reading of Achebe's *The Trouble with Nigeria*.» *Editions Francophones Universitaires d'Afrique*, novembre 2024.
- [29] Pilapitiya, Thusitha. «The Impacts of Corruption on the Human Rights based Approach to the Development.» *United Nations Development Programme – Oslo Governance Centre*, September 2004.
- [30] P Mutonono, B Motshegwa, and Mikazhu, T. «Embezzlement of the national Petroleum Fund In Botswana.» The 4TH Annual International Conference on Public Administration and Development Alternatives, 03-05July 2019, Southern Sun Hotel, Johannesburg, South Africa.
- [31] Ribadu, Nuhu. «Challenging Corruption in Africa: Beyond the Bleak Projections.» *Center for Global Development Essay*, August 2010.
- [32] Sommer, Udi, et al. «Does Faith limit Immorality? The politics of religion and corruption.» *Taylor and Francis*, 2012, PP 1-23. <http://dx.doi.org/10.1080/13510347.2011-650914>.
- [33] Tanzi, Vito. «Corruption Around the World: Causes, Consequences, Scope, and Cares.» *International Monetary Fund*, May 1998.
- [34] Wakobi, Francis Gikonyo.« The Value of Moral Education and Leadership in Fighting Corruption in Kenya.» *Journal of Education and Research*, Vol.7 No.5, May 2019.
- [35] Usman, Yusuf. «Causes and effects of corruption in Nigeria.» *International Journal of Economics, Commerce and Management United Kingdom*, Vol.2, No.4, 2014.
- [36] Wang, Yufeng. «The Cultural Factors in Postcolonial Theories and Application.» *Journal of Language Teaching and Research*, Vol.9, No.3, May 2018, PP 650-654. Academic Research, <http://dx.doi.org/10.17507/jltr.0903.26>.

EVALUATION DU NIVEAU DE CONNAISSANCE DES MARAÎCHERS SUR LES BONNES PRATIQUES AGRICOLES DE LA TOMATE DANS LA VILLE DE KORHOGO

[EVALUATION OF MARKET GARDENERS' KNOWLEDGE LEVEL ON GOOD AGRICULTURAL PRACTICES FOR TOMATOES IN THE CITY OF KORHOGO]

N'Goran-Bla Ahou Régine¹, Sekongo Kifori¹, Ouattara Fatoumata¹, Ki Aboudramane Yacouba¹, Kouakou Tanoh Hilaire², and Kone Daouda³

¹Institute of Agro-Pastoral Management, University Peleforo GON COULIBALY, PO Box-1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

²Laboratory of Biology and Improvement of Plant Production, Training and Research Unit of Natural Sciences, University Nangui ABROGOUA, 02 PO Box 801, Abidjan 02, Côte d'Ivoire

³Laboratory of Biotechnology, Agriculture and Development of Biological Resources, Department of Biosciences, University Félix HOUPHOUËT-BOIGNY, Center of Excellence on Climate Change, Biodiversity and Sustainable Agriculture, University Félix HOUPHOUËT-BOIGNY, 22 PO Box 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In Côte d'Ivoire, tomatoes are among the most widely grown and consumed vegetables. However, tomato production faces several biotic and abiotic constraints. Technical data sheets for good agricultural practices exist and are available. The aim of this study is to examine the agricultural practices of tomato market gardeners. The target population consisted of all market gardeners in the urban and peri-urban area of Korhogo. All urban and peri-urban areas with market garden crops were surveyed. Information on the sociodemographic profile of the market gardeners, the variety of tomato grown and the agricultural practices of the market gardeners surveyed were collected. The results showed a dominance of women (71%) in tomato cultivation. Furthermore, 55% of the market gardeners were between 45 and 50 years old, 80% were not educated and 75.80% had more than 10 years of experience. The variety of tomato grown was mainly the local variety with ribbed fruit. Regarding the choice of land, the establishment of the nursery and the cultivation, the market gardeners had practices similar to good agricultural practices. However, clearing, weeding and irrigation were done manually. In addition, organic fertiliser was used more widely. Chemical control was the only method used. At the end of this study, it appears that the agricultural practices of tomato growers in Korhogo are generally similar to the good agricultural practices recommended by research structures.

KEYWORDS: Tomato, Market gardening, Agricultural practices, Côte d'Ivoire.

RESUME: En Côte d'Ivoire, la tomate fait partie des légumes les plus cultivés et consommés. Cependant, la production de tomate est confrontée à plusieurs contraintes biotiques et abiotiques. Les fiches techniques de bonnes pratiques agricoles existent et sont disponibles. Le but de cette étude est d'examiner les pratiques agricoles des maraîchers de tomate. La population cible était constituée de tous les maraîchers de la zone urbaine et périurbaine de Korhogo. Tous les espaces urbains et périurbains portant des cultures maraîchères ont été enquêtés. Les informations sur le profil sociodémographique des maraîchers, la variété de tomate cultivée et les pratiques agricoles des maraîchers enquêtés ont été recueillies. Les résultats ont montré une dominance des femmes (71 %) dans la culture de la tomate. Par ailleurs 55 % des maraîchers avaient entre 45 et 50 ans, 80 % n'étaient pas scolarisée et 75,80 % avaient plus de 10 ans d'expérience. La variété de tomate cultivée était majoritairement la variété locale à fruit côtelé. Concernant le choix du terrain, la mise en place de la pépinière et de la culture,

les maraîchers avaient des pratiques similaires aux bonnes pratiques agricoles. Cependant, le défrichage, le désherbage et l'irrigation étaient manuels. Par ailleurs l'engrais organique était plus utilisé comme fertilisant. La lutte chimique était la seule méthode utilisée. Au terme de cette étude, il ressort que les pratiques agricoles des maraîchers de tomate de Korhogo sont dans l'ensemble similaire aux bonnes pratiques agricoles préconisées par les structures de recherche.

MOTS-CLEFS: Tomate, Cultures maraîchères, Pratiques agricoles, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

La tomate (*Solanum lycopersicum*) est l'un des légumes les plus essentielles à l'échelle mondiale [1]. Grâce à sa capacité d'adaptation à diverses conditions pédoclimatiques, elle est cultivée dans de nombreuses régions [2]. La production mondiale de tomate atteint environ 160 millions de tonnes [3]. La Chine est le principal pays producteur avec près de 67 millions de tonnes par an [4]. D'après [5], la culture de la tomate s'étend sur 5 millions d'hectares, avec un rendement moyen de 36,57 tonnes par hectare selon les conditions de culture. Appartenant à la famille des Solanacées, la tomate est principalement cultivée pour ses fruits riches en vitamines (provitamine A, vitamines B et C), en minéraux (potassium, phosphore, magnésium et oligo-éléments), en caroténoïdes et en antioxydants. Ce qui en fait un aliment aux multiples usages nutritionnels et thérapeutiques [6]. En Côte d'Ivoire, la tomate fait partie des légumes les plus cultivés et consommés, aux côtés du gombo, de l'aubergine et du piment [7]. Elle occupe une place de choix tant chez les producteurs que chez les consommateurs. Bien que présente dans toutes les zones agroécologiques du pays, elle est principalement cultivée dans les régions du Béliet et du Gbêkê qui constituent les principales zones de production [8]. La production nationale annuelle de tomate est estimée à 48 804 tonnes [4]. Un volume encore insuffisant face aux besoins nationaux qui dépassent les 100 000 tonnes par an [9]. Comme d'autres cultures maraîchères, la tomate représente une source de revenus essentielle pour les agriculteurs [10]. Malgré son importance pour la sécurité alimentaire et le bien-être des agriculteurs, la production de tomate est confrontée à plusieurs contraintes biophysiques et socioéconomiques. Parmi les défis biophysiques figurent la dégradation des sols, la pression des maladies et des ravageurs ainsi que la variabilité climatique qui influence les précipitations et les températures. En Côte d'Ivoire, des fiches techniques de bonnes pratiques agricoles élaborées par les structures de recherche existent et sont disponibles [10]. Ces fiches ont été vulgarisées auprès des producteurs. Selon [10], une grande partie des agriculteurs du pays ne suivent pas les bonnes pratiques agricoles. Cette étude menée dans la ville de Korhogo, a pour but d'examiner les pratiques agricoles des maraîchers de tomate afin de contribuer à l'amélioration de la production.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 POPULATION CIBLE

La population cible était constituée de tous les maraîchers de la zone urbaine et périurbaine de Korhogo.

2.2 METHODE

2.2.1 CHOIX DE LA ZONE D'ÉTUDE

Tous les espaces urbains et périurbains portant des cultures maraîchères ont été concernés par l'enquête. Le nombre total de sites enquêtés était de 15. Il s'agissait des sites de Natiokobadara, Kassirimé, Ossiéné, Sinistré, Barrage de koko, Bas-fond à côté de l'UPGC, Résidentiel 1, Nouveau quartier (route de Kapélé), Koko nanguin, Cocody, Galagologo, Waraniéné, Takali et napiédougou, Diokha. Sur ces sites enquêtés, 50 maraîchers ont été visités.

2.2.2 COLLECTE DES DONNÉES DE L'ENQUÊTE

Les maraîchers sur ces sites ont été interrogés. La collecte des données a été réalisée auprès des maraîchers à l'aide de questionnaire. Dans la pratique, l'enquête est réalisée le matin sur les sites. L'enquête a permis d'obtenir les informations suivantes: (i) le profil sociodémographique des maraîchers (ii) la variété de tomate cultivée, (iii) les différentes étapes de la mise en place de la culture, (iv) les méthodes phytosanitaires de lutte contre les ennemis de culture, (v) le type de fertilisation utilisé et le mode d'application (vi).

2.2.3 MÉTHODOLOGIE D’ANALYSE STATISTIQUE

La saisie des données a été réalisée dans une base Excel structurée, vérifiée par double saisie pour limiter les erreurs. Les analyses ont été principalement réalisées avec le logiciel R (version 4.2.1), utilisant notamment les packages ‘car’ pour les ANOVA, ‘agricolae’ pour les comparaisons multiples. Pour toutes les variables ayant montré des différences significatives ($p < 0,05$), un test post-hoc de Tukey a été effectué afin d’identifier précisément les groupes distincts.

3 RÉSULTATS

3.1.1 PROFIL SOCIODÉMOGRAPHIQUE DES MARAÎCHERS

Le tableau 1 montre le profil sociodémographique des maraîchers enquêtés. Les résultats ont montré que 71 % des maraîchers interrogés étaient des femmes, contre 29 % d’hommes (Figure 19). La plupart des maraîchers enquêtés avaient un âge compris entre 45 et 50 ans, soit un taux de 55 %. Ceux qui étaient dans la tranche d’âge de 40-45 ans avaient un taux de 35 % et 10 % avaient entre 15 et 30 ans. Par ailleurs, il ressort que 80 % des enquêtés n’ont pas été scolarisés, 11 % avaient le niveau primaire, 3 % avaient le niveau secondaire et 6 % avaient un niveau supérieur. Concernant l’année d’expérience en culture de tomate, 15,55 % des maraîchers avaient plus de 10 ans d’expérience, 75,80 % avaient 5 à 10 ans d’expérience, 6,89 % avaient 3 à 5 ans d’expérience et 1,76 % avaient entre 1 à 3 ans d’expérience.

3.1.2 ITINÉRAIRE TECHNIQUE DES MARAÎCHERS

3.1.2.1 VARIÉTÉS DE TOMATE CULTIVÉES

La figure 1 montre la proportion des différentes variétés de tomate cultivée. La majorité des maraîchers (47,05 %) cultivaient la variété locale dont les fruits sont côtelés, 29,41 % des hybrides, et 23,52 % cultivaient les deux types de variétés. Cependant 82,35 % des maraîchers interrogés affirment que la meilleure variété est la variété hybride.

Tableau 1. Profil sociodémographique des maraîchers enquêtés

Profil sociodémographique		Pourcentage (%)
Sexe	Féminin	71 %
	Masculin	29 %
Age	45-50 ans	55 %
	40-45 ans	35 %
	15-30 ans	10 %
Niveau de scolarisation	Non scolarisé	80 %
	Primaire	11 %
	Secondaire	3 %
	Supérieur	6 %
Année d’expérience	Plus de 10 ans	75,80 %
	5-10 ans	15,55 %
	3-5 ans	6,89 %
	1-3 ans	1,76 %

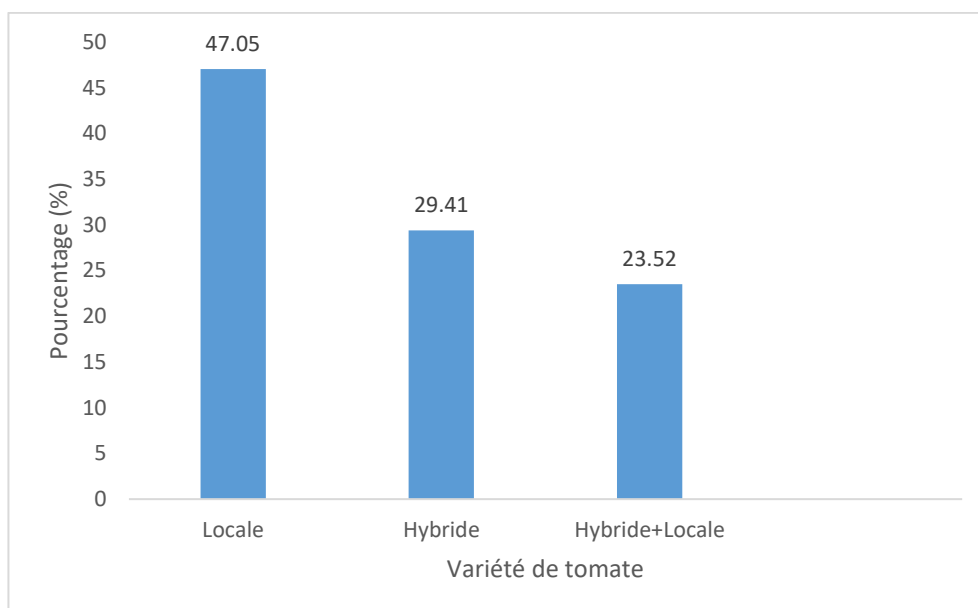


Fig. 1. Proportion des différentes variétés de tomate cultivée

3.1.2.2 PÉPINIÈRE

Lors l'enquête, il a été constaté que tous les maraîchers enquêtés réalisaient une pépinière avant la mise en place de la culture de tomate. La pépinière durait 2 à 3 semaines. Elle était installée près d'un point d'eau.

- **Préparation du sol**

La pépinière était installée sur des planches de 5 m de longueur et de 1 m de large. La majorité des maraîchers enquêtés (90 %) ne faisaient aucun traitement des planches avant le semis. Cependant, 10 % des maraîchers enquêtés apportaient de la bourse de vache ou de la fiente de poulet à la planche une semaine avant le semis afin de l'enrichir. Les quantités n'étaient pas définies. Elles étaient laissées à l'appréciation de chaque maraîcher.

- **Semis**

Les graines de tomate étaient semées en ligne sans dimension précise ou à la volée sur une planche préalablement arrosée. Un paillage léger avec des feuilles de bananier, des feuilles de palmiers ou des pailles était utilisé pour éviter de déterrer les graines lors de l'arrosage.

- **Entretien**

Pendant la pépinière, un entretien est effectué. Il consistait à effectuer des arrosages réguliers (matin et soir). Un binage était effectué régulièrement. Un effectif de 44,45 % des maraîchers enquêtés apportaient de la bourse de vache ou de la fiente de poulet après la levée. Ils prélevaient une poignée qu'ils mettaient aux pieds des plants de tomate. Par contre, 55,55 % des maraîchers utilisaient à la fois l'engrais organique et l'engrais chimique (Figure 2). Concernant l'engrais chimique, ils utilisaient le NPK + Urée à la dose de 15-15-15 ou 17-17-17. Ils prélevaient une pincée de main qu'ils appliquaient aux pieds des plants de tomate.

- **Repiquage**

La moitié des maraîchers enquêtés (50 %) effectuaient le repiquage environ 25 à 30 jours après le semis. L'autre moitié faisaient le repiquage à 21 jours lorsque les plants avaient entre 4 et 5 feuilles vraies (Figure 3). Les maraîchers procédaient au repiquage en fin d'après-midi ou par temps couvert pour éviter le stress hydrique.

3.1.2.3 MISE EN PLACE DE LA CULTURE

- **Choix et préparation du terrain**

Le terrain était généralement choisi dans une zone bien drainée, fertile et facilement accessible à l’eau (bas-fond, puits, barrage, en bordure de cours d’eau). Tous les maraîchers défrichaient et faisaient un labour du sol avant le repiquage. Cependant, 65 % faisaient un labour profond, 30 % un labour simple et 5 % faisaient le bêchage (Figure 4). Ils faisaient des planches de 5 m de longueur et de 1 m de largeur. La distance entre les planches était de 1 m. Tous les maraîchers (100 %) utilisaient de la bourse de vache ou la fiente de poulet comme engrais organique. Ils prélevaient une poignée de main qu’ils appliquaient aux poquets.

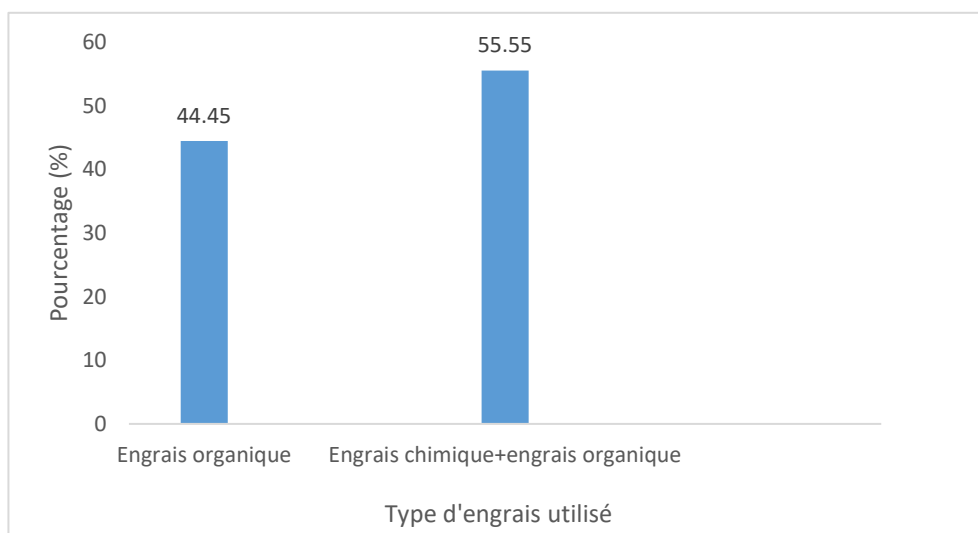


Fig. 2. Répartition des maraîchers en fonction de l’engrais utilisé

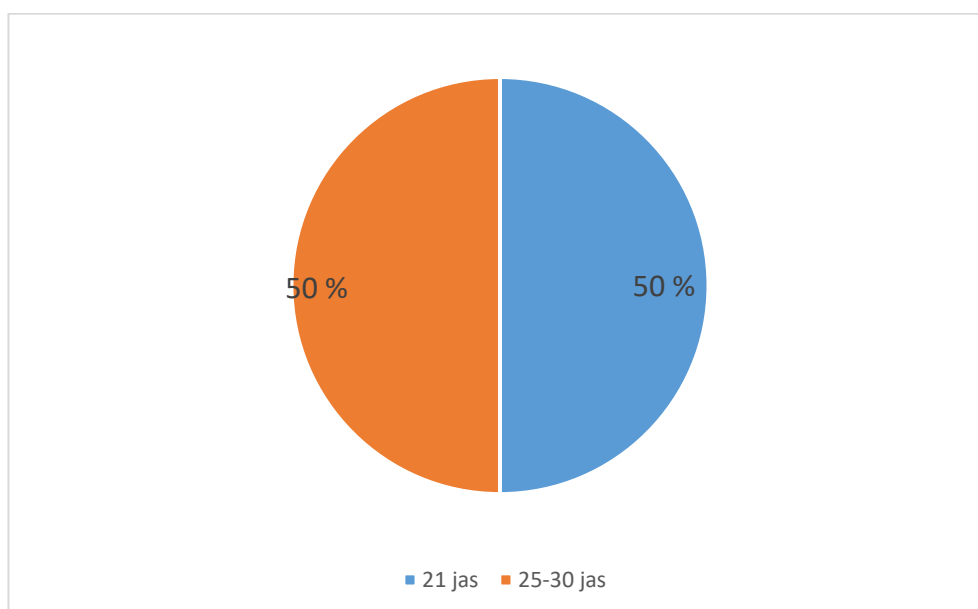


Fig. 3. Répartition des maraîchers en fonction du repiquage
Jas: jours après semis

• Dispositif de plantation et densité de semis

Les maraîchers enquêtés utilisent deux types d'espacement des lignes. Un espacement de 15 à 20 cm entre les lignes qui est pratiqué par environ 70 % des maraîchers et l'espacement de 25 à 30 cm utilisé par environ 30 % des maraîchers (Tableau II). La distance entre les poquets était de 50 cm chez tous les maraîchers. Le repiquage se faisait également en double ligne chez tous les maraîchers.

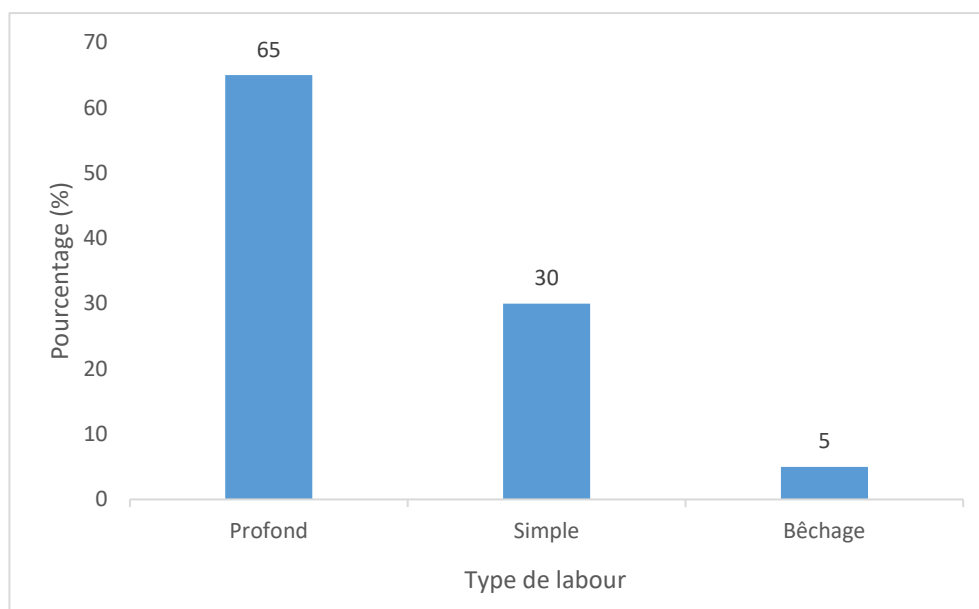


Fig. 4. Répartition des maraîchers en fonction du type de labour

Tableau 2. Répartition des maraîchers en fonction du dispositif de plantation et la densité de semis

Dispositif de plantation et densité de semis		Pourcentage (%)
Espacement des lignes	15-20 cm	70 %
	25-30 cm	30 %
Espacement des poquets	50 cm	100 %
Repiquage	Double ligne	100 %

3.1.2.4 ENTRETIEN DE LA CULTURE

• Désherbage

Le désherbage est effectué manuellement à l'aide de petits outils comme la houe, la machette, la daba. Il est fait régulièrement pour éviter la concurrence avec les adventices.

• Fertilisation

Certains maraîchers (44,45 %) utilisaient uniquement de la bouse de vache et la fiente de poulet comme fertilisant. Les quantités appliquées n'étaient pas calculées. Ils prélevaient généralement une poignée de main qu'ils appliquaient par poquet avant le repiquage. Certains (55,55 %) complétaient avec des engrais chimiques tels que le NPK + Urée à des doses de 15-15-15 ou 17-17-17 (Figure 2). L'application se faisait généralement à des doses non précises, sans protection. Une pincée prélevée avec la main est appliquée par poquet avant le repiquage. Tous les maraîchers enquêtés (100 %) faisaient une deuxième application d'engrais organique deux semaines après le repiquage. Une poignée d'engrais organique était appliquée à la base des plants de tomate.

• Irrigation

La totalité des maraîchers enquêtés faisaient l'irrigation manuel en utilisant des arrosoirs et des seaux. Ils s'approvisionnaient en eau dans les cours d'eau en bordure des champs, les bas-fonds, les puits faits par des ouvriers

occasionnels en plein parcelle. Les arrosages se faisaient chaque deux jours pendant les premières semaines. Après la floraison, l’arrosage se faisait chaque trois jours afin d’éviter les maladies, les pourritures, et le stress hydrique.

3.1.2.5 PROTECTION DES CULTURES

Pour lutter contre les maladies fongiques et les ravageurs, les maraîchers de tomate ont tous affirmé qu’ils utilisaient les pesticides chimiques disponibles sur le marché local lorsque les plantes sont attaquées. Ils appliquaient les pesticides chaque semaine après observation des premiers symptômes. En l’absence de symptôme, certains maraîchers (55,55 %) appliquaient les pesticides une fois dans le mois à titre préventif. Le tableau III montre la liste des pesticides utilisés par les maraîchers de tomate. Cette liste révèle qu’ils utilisent des pesticides tels que Kapaas 80 EC et Top Lambda 25 g/L qui ne sont pas homologués en Côte d’Ivoire. Ils utilisent également coxythrine EC qui est un pesticide destiné à la culture du coton.

Pour la préparation, les maraîchers utilisaient la fermeture du bidon de pesticide pour mesurer. Il mélange cette quantité à 16 L d’eau. Souvent, ils utilisaient des pesticides en sachet dont la quantité à appliquer était fonction de la surface de la parcelle. A l’aide d’un pulvérisateur, la préparation était appliquée sur les plants. Ils utilisaient souvent un balai pour appliquer les pesticides en l’absence de pulvérisateur.

3.1.2.6 RÉCOLTE

Les maraîchers enquêtés faisaient la récolte à partir de 75 jours après le semis. Ils récoltaient généralement au stade rose ou rouge, en fonction de la destination des tomates (consommation ou vente). La récolte se faisait de manière progressive, tous les deux à trois jours, afin de cueillir les fruits à maturité optimale.

Tableau 3. *Liste des pesticides utilisés par les maraîchers de tomate*

Types de pesticide	Nom commercial	Concentration	Matière active
Insecticide	K-optimal EC	25 g/L	Lambda cyhalothrine + acetamipride
	Top lambda	25 g/L	Lambda cyhalothrine
	Kapaas 80 EC	20 g/L	Emamectine benzoate
	Ninguema EC	25 g/L	Lambda cyhalothrine
	Cothrine EC	50 g/L	Cyperméthrine
	Coxythrine EC	186 g/L	Cyperméthrine + profénofos
	INCA 45 WG	45 g/L	Fipronil
	Calilultra	396 g/l	Imidaclopride et cyperméthrine
	Marie-insecte	30 g/L	Cyperméthrine
Fongicide	Boneur	250 g/L	Difénoconazole
	Z-Force 80 WP	80 g/Kg	Mancozèbe
Insecticide + fongicide	Sababu 210 WP	210 g/Kg	Imidaclopride + lambda-cyhalothrine + sulfure + carbendazine

4 DISCUSSION

Cette étude avait pour objectif d’examiner les pratiques agricoles des maraîchers de tomate de la ville de Korhogo afin d’améliorer la production. Les résultats ont montré, concernant le profil sociodémographique des maraîchers qu’il y avait une dominance des femmes (71 %) dans la production de la tomate à Korhogo. Ces résultats sont en accord avec ceux de [11] et [10]. En effet ces auteurs ont montré par leurs différents travaux que le secteur du maraîcher était principalement dominé par les femmes dans la zone urbaine et périurbaine de Korhogo. Cette dominance serait due au fait que les hommes seraient intéressés plutôt par les cultures de rentes telles que le coton, l’anacardier, la mangue selon [11]. Cependant, nos résultats sont contraires à ceux de [12] qui a montré qu’à Abidjan et ses alentours, le maraîchage était pratiqué majoritairement par des hommes (77,98%) contre 22,02% de femmes.

Par ailleurs la majorité des maraîchers avaient entre 45 et 50 ans. La référence [10] a obtenu un résultat similaire à Abidjan avec une faible présence des jeunes. Ce qui est conforme à nos résultats. En effet, l’enquête a montré qu’il y avait 10 % de jeune. Cela pourrait s’expliquer par la forte scolarisation des jeunes. La référence [13] avait montré qu’il y avait une surcharge

des salles de classe due à un effectif élevé d'apprenant dans la ville de Korhogo. Par contre, [14] justifie cette faible présence des jeunes dans le secteur maraîcher par le fait que le maraîchage soit une activité délicate.

La majorité des maraîchers (80 %) n'étaient pas scolarisée et 75,80 % avaient plus de 10 ans d'expérience. Ces résultats sont en accord avec ceux de plusieurs auteurs dont [15]; [11] et [10] qui ont montré respectivement que la population maraîchère de Boundiali, de Korhogo et d'Abidjan était majoritairement non scolarisée. En outre, les résultats ont montré que ce taux de 80 % non scolarisé correspondait à peu près à la tranche d'âge de 40 à 50 ans. Cela pourrait s'expliquer par le faible niveau de scolarisation il y a 35 ans de cela. En effet, à cette époque l'école n'étant pas gratuite, les parents par manque de moyen financier souvent ne scolarisaient pas leurs enfants mais ils les utilisaient plutôt pour la main d'œuvre champêtre [15].

Concernant les pratiques agricoles des maraîchers de tomate de la ville de Korhogo, la variété de tomate cultivée était majoritairement la variété locale à fruit côtelé. Il justifie ce choix par le fait que cette variété soit plus accessible et moins coûteuse que les variétés hybrides. En effet, avec la variété locale, les graines d'une partie des fruits récoltés sont extraites, séchées et conservées pour la prochaine culture. Or avec les variétés hybrides, il faudra acheter à chaque culture de nouvelles semences. Ils reconnaissent cependant que les variétés hybrides sont les meilleures variétés car plus productives et plus résistantes aux maladies et ravageurs. Les raisons du choix de la variété locale confirment les observations de [16]. Selon ces auteurs, les semences des fermes n'assurent pas une bonne production mais leur usage est dû au coût élevé des semences améliorées. En outre, les maraîchers qui cultivent les deux variétés justifient ce choix comme étant une stratégie d'adaptation au marché et de gestion des risques afin de mieux répondre aux besoins des marchés locaux et allonger la période de récolte. Ainsi, avec cette stratégie si une variété est attaquée ou si le prix baisse alors ils pourront compenser avec l'autre variété.

Pour la mise en place de leur culture de tomate, les maraîchers choisissent tous des sols drainés, fertiles et accessible à l'eau ce qui est en accord avec les résultats de [11]. En effet, il stipule que le maraîchage à Korhogo se faisait principalement dans les bas-fond et à proximité des barrages où l'eau était accessible. En outre, [14] a montré que les sites maraîchers d'Abidjan étaient à proximité de la lagune Ebrié.

Le défrichage du sol était manuel. Cela confirme les résultats de [10] qui ont montré que le travail des maraîchers à Korhogo était généralement manuel avec des outils rudimentaires. Par contre, ces résultats sont contraires à ceux de [17] qui a montré qu'en zone périurbaine de Korhogo, il y avait une faible utilisation d'herbicide (15 %) par les maraîchers. Par ailleurs, [10] a montré qu'à Port-Bouët, 67 % des maraîchers utilisaient des herbicides pour le défrichage. Cependant, [18] a montré que 41 % des maraîchers d'Abidjan utilisaient les herbicides pour le désherbage contre 59 % qui désherbaient manuellement leur parcelle.

Concernant la fertilisation, les maraîchers de tomate utilisent tous l'engrais organique pour le traitement des planches avant le repiquage. Pour la mise en place de la pépinière et l'entretien des cultures, 44,45 % utilisent uniquement l'engrais organique et 55,55 % utilisent les deux (engrais organique et engrais minéral). Le NPK et l'urée constituent les fertilisants minéraux utilisés. Les résultats ont montré une prédominance de l'engrais organique qui serait due à sa disponibilité et au coût. En effet, ils utilisent essentiellement la fiente de volaille et la bourse de vache provenant de leur élevage ou des élevages voisins. La référence [10] a montré également une prédominance de l'utilisation de l'engrais organique notamment la fiente de volaille et la bourse de vache par les maraîchers de Korhogo. Ce même constat a été fait par [19] avec la fiente de volaille sur les sites de maraîchage des communes de Marcory et Cocody de la ville d'Abidjan.

Tous les maraîchers de tomate faisaient une irrigation manuelle avec l'arrosoir. Cela est en accord avec les résultats de [20] qui a affirmé que le système d'irrigation des maraîchers de Korhogo était constitué d'arrosoir manuel. Par contre chez les maraîchers de la ville de Bouaké, le choix du type d'irrigation dépendait de la superficie de la parcelle. Lorsque la surface est inférieure à 0,5 ha, ils utilisaient des arrosoirs. Mais pour des superficies supérieures à 0,5 ha, ils utilisaient des motopompes [10].

Concernant la protection des cultures, les résultats ont montré que l'usage des pesticides est la seule méthode de lutte utilisée par les maraîchers de tomate. Cela est en accord avec les résultats de [10] qui a montré que dans la zone urbaine et périurbaine de Korhogo, les maraîchers utilisaient plus les insecticides et les fongicides. La référence [14] a montré que la lutte chimique était également la seule méthode utilisée par les maraîchers de Port-Bouët. Cependant, les pesticides utilisés par les maraîchers de tomate ne sont pas tous homologués en Côte d'Ivoire ou sont fabriqués pour d'autres cultures tel que le coton. En effet, [21] a fait la même observation en cultures maraîchères dans la commune de Port-Bouët. Par ailleurs, [22] a obtenu des résultats similaires à Korhogo. Ces auteurs ont constaté que des pesticides fabriqués pour la culture du coton étaient utilisés sur les cultures maraîchères à cause de leur forte odeur.

5 CONCLUSION

Cette étude a permis de mettre en évidence les pratiques agricoles actuelles des maraîchers de tomate dans la zone urbaine et périurbaine de Korhogo. L’étude a montré que les variétés hybrides, bien que plus performantes en termes de rendement, de résistance aux maladies sont encore peu adoptées par les producteurs en raison de leur coût et de leur disponibilité. Les pratiques agricoles des maraîchers de tomate sont dans l’ensemble similaire aux bonnes pratiques agricoles préconisées par les structures de recherche. Toutefois, l’usage des produits phytosanitaires se fait sans le respect des mesures d’application. Ainsi des produits non homologués sont utilisés, les équipements de protection ne sont pas utilisés et les doses ne sont pas respectées.

REFERENCES

- [1] H. Aouine, F. Z. Mahmoudi, « Contribution à l’étude des facteurs liées à l’infestation du Tomate par *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) », Mémoire Master, Département d’agronomie/Université Echahid Hamma Lakhdar –El Oued, Algérie, 2023.
- [2] S. Morsli, « Proposition d’un modèle de culture biologique Tomate/*Datura* et effet des biopesticides (métabolites secondaires) sur les bioagresseurs », Thèse de Doctorat, Ecole 36 Nationale Supérieure Agronomique, El Harrach, Algérie, 2018.
- [3] K. F. Kouame, D. J. Agre, K. Komoe, Y. R. Baka, E. Y. G. Kouadio, « Effet *in Vitro* des extraits d’algues [*Sargassum natans* (Børgesen) Børgesen et *Sargassum fluitans* (Børgesen) Børgesen, *Sargassaceae*] sur *Fusarium sp.*, Agent Causal de la fusariose vasculaire de la tomate (*Solanum lycopersicum* L., *Solanaceae*) », European Scientific Journal, vol.15, pp 119-135, 2023.
- [4] B. Y. I. H. Kouamé et K. V. Kouassi, « Effet de la fumure organique fortifiée et des conditions de micro-serre sur les performances agronomiques de la culture de Tomate dans la zone de Tioro au Nord de la Côte d’Ivoire », Mémoire de Licence, Institut de Gestion Agropastorale (IGA) / Université pelefro GON COULIBALY de Korhogo, Côte d’Ivoire, 2023.
- [5] The State of Food and Agriculture, « Making agrifood systems more resilient to shocks and stresses », Rome, FAO, 2021. <https://doi.org/10.4060/cb4476en>.
- [6] B. Camille, « Etude de l’impact de la nutrition azotée et des conditions de culture sur le contenu en polyphénols chez la tomate », Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine (INP) / Université de Lorraine, France, 2009.
- [7] L. Fondio, J.-C. N’zi, K. Kobenan, « Comportement agronomique et sanitaire de nouvelles lignées de piment (*Capsicum* sp.) dans le Sud de la Côte d’Ivoire », Journal of Applied Biosciences, vol. 92, pp 8594–8609, 2015.
- [8] P.Q. Oula, « Analyse de l’efficacité économique des systèmes de production de tomates dans les régions du béliér et du gbêkê en Côte d’Ivoire », Thèse de Doctorat, UFR des Sciences Économiques et Gestion, Université Alassane Ouattara de Bouaké, Côte d’Ivoire, 2024.
- [9] S. Soro, M. Doumbia, D.A. Dao et O. Girardin, « Performance de six cultivars de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. contre la jaunisse en cuillère des feuilles, le flétrissement bactérien et les nématodes à galles », Science et Nature, vol.2, n°4, pp 123-130, 2007.
- [10] M. Dosso, A. Koffi, I. Glou Bi, A. Traoré et A. Avadí, « Analyse fonctionnelle de la filière maraîchère périurbaine en Côte d’Ivoire (2021-2022) », *Rapport du WP2 – Diagnostique et évaluation du projet MARIGO*. CIRAD et ESA/INP-HB, Yamoussoukro, Côte d’Ivoire, 2023.
- [11] AJ-F. Traoré, « Analyse socioéconomique de la chaîne de valeur des cultures maraîchères dans la zone de Korhogo », Mémoire de Master II, Institut de Gestion Agropastorale (IGA) de l’Université Peleforo Coulibaly de Korhogo (Côte d’Ivoire), 2022.
- [12] V. Bancal et K Tano, « Etude des modalités de réduction des pertes après récolte dans les cultures maraichères en Côte d’Ivoire », 2019.
- [13] W.I. Siyali, « Croissance de la population scolaire et offre d’établissements scolaires secondaires dans la ville de Korhogo », Géovision, vol.1, n°11, pp 416-424, 2024.
- [14] K.J. Kouakou, K.B. Yao, A.E. Sika, S.J. Gogbeu, L.S.P. Koné et D.O. Dogbo, « Caractérisation de l’activité de maraîchage dans la commune de Port-Bouët (Abidjan, Côte d’Ivoire) », Journal of Animal and Plant Sciences, vol.41, n°1, pp 6747–6756, (2019). <https://doi.org/10.35759/janmplsci.v41-1.2>.
- [15] P-AK. Kouakou, « Déterminants Economiques et Impact Social du secteur maraîcher dans la Commune de Boundiali », Agronomie Africaine, N° Spécial, pp 103–113, 2019.

- [16] M. Kanda, S. Akpavi, K. Wala, G. Djaneye-Boundjou et K. Akpagana, « Diversité des espèces cultivées et contraintes à la production en agriculture maraîchère au Togo », *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol.8, n°1, pp 115-127, 2014.
- [17] KJ-J. Brou, « Problématique de l'utilisation des pesticides dans le maraîchage en zone périurbaine: cas de la ville de Korhogo », 2018.
- [18] A. Bosso, N. Sika, K. Kwadjo et K. Pokou, « Caractérisation des systèmes des cultures maraîchères dans deux localités du district d'Abidjan (Anyama et Port-Bouët) au sud de la Côte d'Ivoire », *Revue de l'Environnement et de la Biodiversité-PASRES*, vol.5, pp 41-50, 2020.
- [19] K.J. Kouakou, Y.A. Bekro, A.E. Sika, D. Baize, D.O. Dogbo, M. Bounakhla, F. Zahry et P. Macaigne, « Diagnostic d'une contamination par les éléments traces métalliques de l'épinard (*Spinacia oleracea*) cultivé sur des sols maraîchers de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire) amendés avec de la fiente de volaille », *European Journal of Sciences Research*, vol.21, n°3, pp 471-487, 2008.
- [20] M. Sangare, O. Kam, K.A. N'dri, « Contraintes socioéconomiques du passage des groupements maraîchers à la société coopérative dans la sous-préfecture de Korhogo », *International Journal of Humanities and Social Science*, vol.10, pp 141–151, 2020. <https://doi.org/10.30845/ijhss.v10n6a17>.
- [21] K.G. Kpan kpan, B.L. Yao, A.C. Diemeleou, R.K. N'guettia, S.K. Traoré, A. Dembelé, « Pratiques phytosanitaires en agriculture périurbaine et contamination des denrées par les pesticides : cas des maraîchers de Port-Bouët (Abidjan) », *Journal of Animal and Plant Sciences*, vol.41, pp 6847–6863, (2019). <https://doi.org/10.35759/janmplsci.v41-1.11>.
- [22] B. Koffié et L. Yéo, « Maraîchage urbain et sécurité sanitaire des aliments à Korhogo », *Revue de géographie, d'aménagement régional et de développement*, vol.2, pp 176-191, 2016.

ANNEXE

Résumé des pratiques agricoles des maraîchers enquêtés

Pratiques agricoles			Pourcentage (%)
Variétés de tomate	Locale		47,05
	Hybride		29,41
	Locale + hybride		23,52
Mise en place de la pépinière			
Préparation du sol	Traitement du sol		10 %
	Pas de traitement		90 %
Semis	En ligne ou à la volée		100 %
	Paillage		100 %
Entretien de la pépinière	Arrosage	Manuel	100 %
	Binage		100 %
	Engrais organique	A la levée	44,45 %
	Engrais chimique + engrais organique	A la levée	55,55 %
Repiquage	21 jours		50 %
	25-30 jours		50 %
Mise en place de la culture			
Choix du terrain	Sol drainé, fertile, accessible à l’eau		100 %
Défrichage	Manuel		100 %
Labour du sol	Profond		65 %
	Simple		30 %
	Bêchage		5 %
Traitement des planches	Engrais organique	Au poquet	100 %
Espacement des lignes	15-20 cm		70 %
	25-30 cm		30 %
Espacement des poquets	50 cm		100 %
Repiquage	Double ligne		100 %
Entretien de la culture			
Désherbage	Manuel		100 %
Fertilisation	Engrais organique		44,45 %
	Engrais chimique + engrais organique		55,55 %
	Engrais organique		100 %
Irrigation	Manuel	Chaque 2 jours avant la floraison	100 %
		Chaque 3 jours après la floraison	
Protection des cultures	Pesticides chimiques	Insecticides et fongicides	100 %
Apparition des symptômes	Application chaque semaine		100 %
Pas de symptômes	Application une fois dans le mois		55,55 %
Récolte	75 jours après semis	Stade rose et rouge	100 %

QUALITE ET POTABILITE DES EAUX SOUTERRAINES DES SYSTEMES AQUIFERES DU BASSIN SEDIMENTAIRE DE KANDI (BENIN, AFRIQUE DE L'OUEST)

[QUALITY AND POTABILITY OF GROUNDWATER IN THE AQUIFER SYSTEMS OF THE KANDI SEDIMENTARY BASIN (BENIN, WEST AFRICA)]

Alowakinnou Sonya¹, F. Avahounlin Ringo¹⁻², C. Kélomé Nelly³, Icoutchika Brunelle², and W. Vissin Expédit³

¹Chaire Internationale de Physique Mathématique et Applications (CIPMA CHAIRE-UNESCO, FAST, UAC), Benin

²Ecole Normale Supérieure (ENS, UNSTIM), Benin

³Université d'Abomey-Calavi, UAC, Benin

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study aims to assess the quality of groundwater in the aquifer system of the Kandi Sedimentary Basin (BSK). The methodological approach adopted is based on the evaluation by the dosage of physico-chemical parameters of groundwater and the calculation of water quality indices (IQE). The results obtained show that the values of electrical conductivity, pH, dissolved solids rate (06ppm and 584 ppm) and temperature (29_32.8 C) are within the quality standards with the exception of EPP samples LOLO and Drogine. The quality of groundwater in a (BSK) is assessed from different criteria. The calculation of water quality indices made it possible to identify the classes of groundwater quality and the different possible uses. Overall, the waters are of good quality and can be used for drinking, irrigation and industry.

KEYWORDS: quality and potability, groundwater, aquifer systems, Kandi sedimentary basin.

RESUME: La présente étude vise à apprécier la qualité des eaux souterraines dans le système acquifère du Bassin Sédimentaire de Kandi (BSK). La démarche méthodologique adoptée est axée sur l'évaluation par le dosage des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines et le calcul des indices de qualité des eaux (IQE). Les résultats obtenus montrent que les valeurs de la conductibilité électrique, du pH, du taux de solides dissous (06ppm et 584 ppm) et de la température (29_32,8 C) sont dans les normes de qualité à l'exception des échantillons de EPP LOLO et de Drogine. La qualité des eaux souterraines dans un le (BSK) est appréciée à partir des différents critères. Le calcul de des indices de qualité de l'eau a permis d'identifier les classes de de qualité d'eau souterraine et les différents usages possibles. Dans l'ensemble, les eaux sont de bonnes qualités et peuvent être utilisé pour la consommation, l'irrigation et pour l'industrie.

MOTS-CLEFS: qualité et potabilité, eaux souterraines, systems aquifers, basin sédimentaire de kandi.

1 INTRODUCTION

La question de l'accès à l'eau potable constitue un enjeu capital pour l'humanité toute entière au point que les instances internationales l'ont inscrite dans les Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD). La pertinence de cet enjeu réside dans le fait que la proportion de personnes n'ayant pas accès de façon durable à une eau de boisson salubre est très élevée. En effet, depuis 2015, l'Organisation des Nations Unies considère que 884 millions de personnes dans le monde n'ont pas accès

à une eau potable de qualité. Au Bénin, les eaux souterraines sont fortement sollicitées pour l'approvisionnement en eau potable (AEP) de la population du fait de leur quantité et de la rentabilité économique de leur exploitation, ceci comparé aux eaux de surface (Gbewezoun, 2013). Mais toute dégradation de leur qualité est en mesure d'affecter la santé des consommateurs. A l'échelle du bassin sédimentaire de Kandi (BSK), l'une des quatre provinces hydrogéologiques et bassin cotonnier du Bénin, les ressources en eau disponibles sont soumises à une forte pression exercée du fait des pratiques agropastorales. En effet, l'agriculture, principale activité du bassin nécessite une utilisation intensive des intrants agricoles. Ces intrants agricoles composés de produits phytosanitaires, de fertilisants et de biostimulants constituent un danger majeur pour les ressources en souterraines et de surfaces (Babut, 1984; Traoré et al., 2006; Ghazi et al., 2013; Adjagodo et al., 2016). La disponibilité et la qualité des eaux souterraines rendraient la ressource relativement propice à l'AEP des populations. Mais la forte pression démographique observée dans la zone et le développement sans cesse et mal contrôlé des activités anthropiques autour des points d'eau peuvent affecter la disponibilité en quantité comme en qualité à moyen et long terme des ressources en eau. L'objectif de cette étude est d'apprécier la qualité des eaux souterraines dans le système aquifère du bassin sédimentaire de Kandi.

2 MATERIELS ET METHODES

PRÉSENTATION DU CADRE D'ÉTUDE

La présente étude a été réalisée dans la commune de Kandi, située au Nord-Est du Bénin (figure 1). Elle est localisée au centre du département de l'Alibori. Située entre 10°55' et 11°39' de latitude Nord et 2°38' et 3°15' de longitude Est, elle s'étend sur une superficie de 3.421 km².

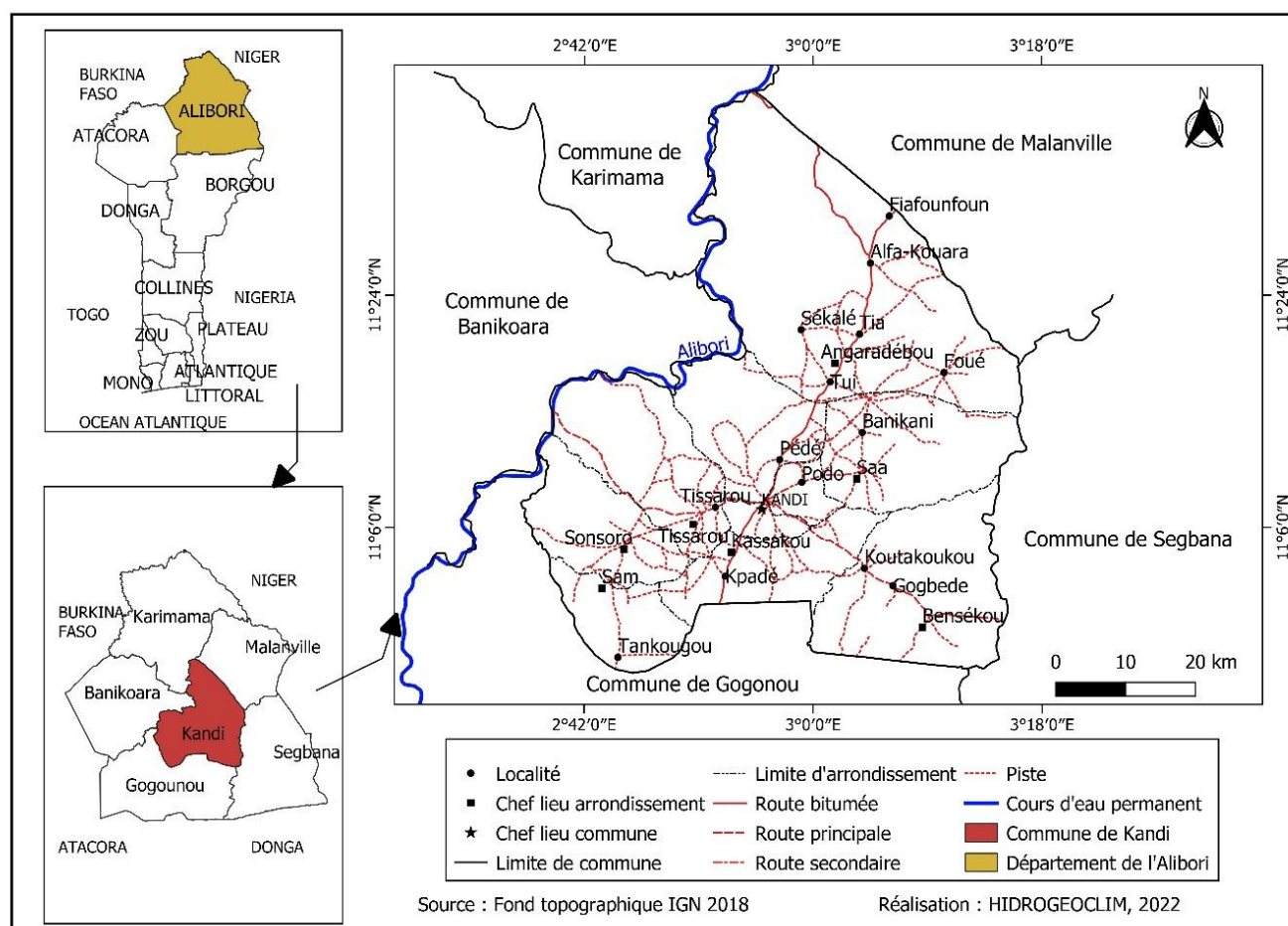


Fig. 1. Situation géographique de la Commune de Kandi

Les caractéristiques des aquifères du bassin ont été amplement décrites par Vinel (2017). Celles-ci présentent deux formations:

- à la base et sur la périphérie nord du bassin, une formation d'épaisseur moyenne 35m, composée essentiellement de grès et de conglomérats reposants en discordance sur le socle précambrien. Elle correspondrait à la Formation Continentale de Wèrè (Cambro-Ordovicien) décrite par Boukari (2007).
- la Formation sus-jacente constitue l'essentiel de l'aquifère phréatique et est traversée par les forages d'exploitation sur une épaisseur moyenne de 60m. Elle est composée essentiellement de grès reposant sur la formation dite de Wèrè. Elle correspondrait donc à la Formation de Kandi (Ordovicien Supérieur à Silurien Inférieur). Elle est surmontée au bord du Niger par une formation à faciès variées, correspondant principalement aux alluvions plus ou moins gréso-argileuses du Niger d'âge Quaternaire (Alidou, 1983). Ces deux niveaux constitueraient l'aquifère supérieur décrit par Boukari (2007).

ECHANTILLONNAGE ET DOSAGE DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES

L'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines dans le secteur d'étude a été possible à l'aide d'échantillonnage d'eau prélevée au cours d'une campagne en Novembre 2022. Ainsi des paramètres physico-chimiques, mesurés au laboratoire, ont servi à l'évaluation de la qualité de ces eaux souterraines.

L'échantillonnage a été fait au niveau de 10 points d'eau qui sont des forages destinés à l'approvisionnement en eau potable (AEP). La figure 2 montre la répartition spatiale des points d'échantillonnage. La taille de l'échantillonnage fait une large couverture de la commune de Kandi. Pour ce faire, des bouteilles en plastique de 1,5 litre préalablement lavées et rincées au laboratoire ont été complètement remplies d'eau. Ces dernières sont ensuite hermétiquement fermées pour éviter toute fuite de gaz. Une fois les échantillons prélevés, les flacons de bouteilles sont placés dans une glacière contenant de la glace pour être conservés à une température de 04°C jusqu'au Laboratoire d'Hydrologie Appliquée de l'Institut National de l'Eau; où ils sont gardés à la même température jusqu'à la date des analyses.

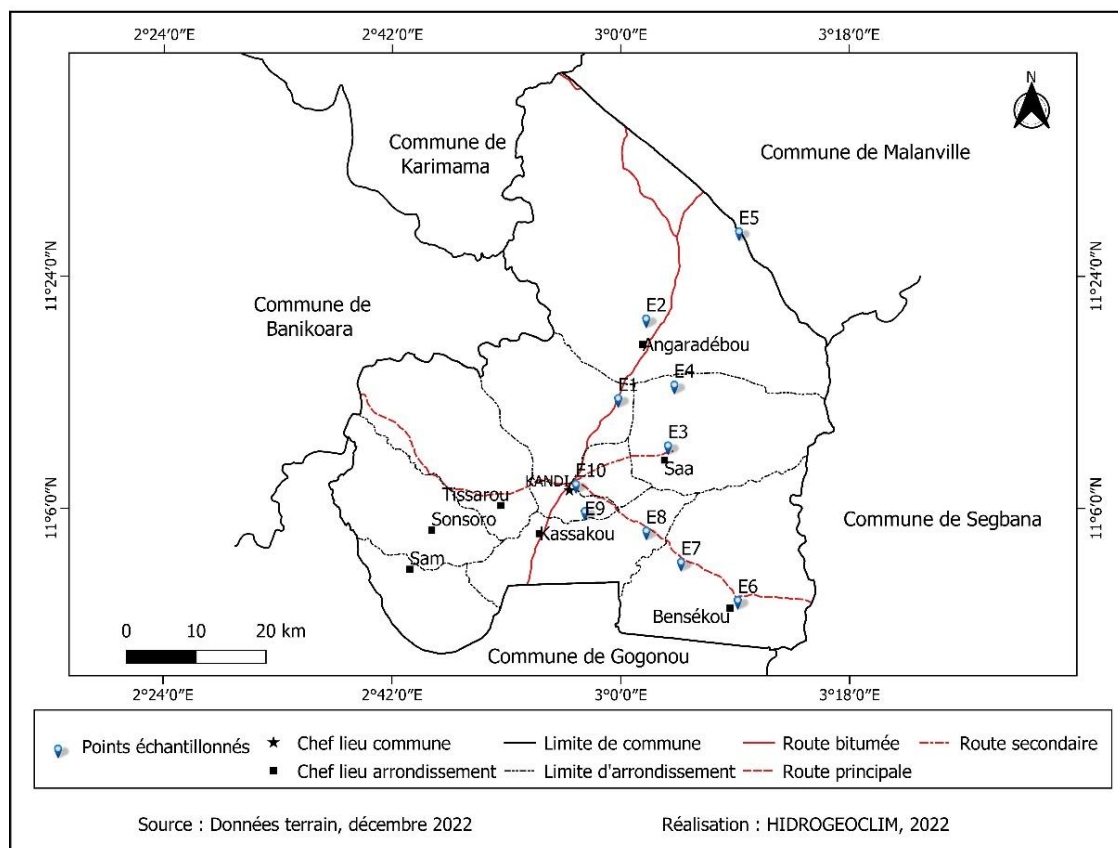


Fig. 2. Répartition spatiale des points d'échantillonnage dans la commune de Kandi

Le pH, la température (T°C), le sel total dissous (TDS) et la Conductivité Electrique (CE) ont été mesurés grâce à un pH/Oxi mètre WTW 340i dont la sonde rincée et plongée dans un bécher contenant l'échantillon affiche à l'écran et après stabilisation, les valeurs relatives des trois paramètres. Les paramètres chimiques tels que le calcium (Ca²⁺), le magnésium (Mg²⁺) et le chlorure (Cl⁻) sont dosés par la méthode volumétrique. D'autres paramètres dont la couleur, le sulfate (SO₄²⁻), le nitrite (NO₂⁻), le nitrate (NO₃⁻), le phosphate (PO₄³⁻), le fluorure (F⁻), l'iodure (I⁻), l'ammonium (NH₄⁺) et le fer (Fe²⁺) sont faits par la méthode de spectrométrie. Les protocoles de dosages de ces paramètres ont été faits par les méthodes standards d'analyse telles que décrites par Rodier et al., (2009) ou suivant les catalogues de l'appareillage utilisé.

APPRECIATION DE LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES

Les valeurs brutes des paramètres physico-chimiques obtenues ont servi au calcul d'Indice de Qualité des Eaux (IQE). L'IQE, par définition, est une méthode qui permet de déterminer le potentiel d'utilisation d'une eau en comparant sa qualité observée avec les critères de qualité exigés pour différents usages (Michel Provencher, 2013). C'est une technique de classification de la qualité de l'eau qui repose sur la comparaison des paramètres de qualité de l'eau avec les normes internationales ou nationales béninoises dans le cadre de cette étude. Il résume de grandes quantités de données sur la qualité de l'eau en termes simples (Excellente, Bonne, Mauvaise, Très mauvaise, etc.). Dix-sept (17) utilisations de l'eau ont été considérées et les paramètres importants pour chaque classe d'utilisation ont été déterminés. Etant donné le très grand nombre de paramètres pouvant être considéré, il a fallu faire un choix. Chaque classe d'utilisation possède ses propres besoins et chacun des groupes de paramètres que nous avons retenus, par classe, fut choisi de façon à représenter le mieux possible les exigences de celle-ci. Les paramètres ainsi définis pour une eau destinée à la consommation sont: la couleur apparente, les solides dissous, la turbidité, les coliformes fécaux, l'alcalinité totale, le chlorure, la dureté, les nitrates, l'oxygène dissous, le pH et les sulfates qui sont les paramètres de base; et les fluorures, les phénols et le mercure qui sont des paramètres complémentaires. Mais ceux utilisés dans notre étude ici sont: le pH, la température, la conductivité, les nitrates, les sulfates, le phosphate et les chlorures. Dans cette étude, l'indice IQE est appliqué pour estimer l'influence des facteurs naturels et anthropiques sur la base de plusieurs paramètres clés du chimisme des eaux. Il est calculé en suivant la méthode de l'indice arithmétique pondéré (Brown et al., 1970; Brown et al., 1972; Chatterji et Raziuddin, 2002; Yidana et Yidana, 2010). Dans cette approche, une valeur numérique appelée poids relatif (Wi), spécifique à chaque paramètre physico-chimique, est calculée selon la formule suivante:

$$W_i = \frac{k}{S_i}$$

Où: k: constante de proportionnalité et peut également être calculée à l'aide de l'équation suivante:

$$k = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (1/S_i)}$$

Où: n: nombre de paramètres; Si: valeur maximale de la norme standard béninoise des eaux de consommation (Normes de qualité des eaux destinées à la consommation de l'eau potable en République du Bénin, 2001) de chaque paramètre en mg/l sauf pour le pH, la T°C et la conductivité électrique. Ensuite, une échelle d'évaluation de la qualité (Qi) est calculée pour chaque paramètre en divisant la concentration par la norme dudit paramètre et en multipliant l'ensemble par 100 comme dans la formule suivante:

$$Q_i = \left(\frac{C_i}{S_i} \right) \times 100$$

Avec Qi: échelle d'évaluation de la qualité de chaque paramètre; Ci: la concentration de chaque paramètre en mg/l. Finalement l'indice global de la qualité de l'eau est calculé par l'équation suivante:

$$IQE = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \times W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

Cinq classes de qualité peuvent être identifiées selon les valeurs de l'indice de qualité de l'eau IQE (Tableau 1).

Tableau 1. Classification et usage possible de l'eau selon l'IQE (Brown et al., 1972; Chatterji et Raziuddin, 2002; Aher et al., 2016)

Classe de IQE	Type d'eau	Usage possible
0-25	Excellente qualité	Eau potable, irrigation et industrie
>25-50	Bonne qualité	Eau potable, irrigation et industrie
>50-75	Mauvaise qualité	Irrigation et industrie
>75-100	Très mauvaise qualité	Irrigation
>100	Eau non potable	Traitement approprié requis avant utilisation

Aussi la qualité des eaux souterraines a été appréciée suivant l'étude des paramètres de pollution et l'interprétation d'une grille simplifiée (tableau 2) à savoir la conductivité électrique et les ions chlorures qui renseignent sur la qualité minéralogique des eaux puis les nitrates qui constituent des indicateurs d'une pollution d'eau souterraine (Nordine Nouayi and al, 2015).

Tableau 2. Grille simplifiée pour l'évaluation de la qualité globale des eaux souterraines

	Paramètres		
	Conductivité Électrique $\mu\text{S/cm}$	Chlorures mg/l	Nitrates mg/l
Excellente	Inférieure à 400	Inférieure à 200	< 5
Bonne	400-1300	200-300	5-25
Moyenne	1300-2700	300-750	25-50
Mauvaise	2700-3000	750-1000	50-100
Très mauvaise	Supérieure à 3000	Supérieure à 1000	>100

L'indice de pollution organique (IPO) de Leclercq (2001) a été utilisé pour évaluer la charge organique des eaux analysés. Son principe est de répartir les valeurs des éléments polluants en 05 classes (Tableau 3 et tableau 4). Cet indice s'obtient au moyen des valeurs des ammoniums, nitrites et des phosphates. Le principe du calcul est de répartir les valeurs des trois éléments polluants en cinq classes et de déterminer, à partir des valeurs obtenues dans l'étude, le numéro de classe correspondant pour chaque paramètre en se servant des données moyennes du tableau. L'indice de pollution organique final est la moyenne des classes de pollution pour l'ensemble des paramètres.

Tableau 3. Grille des classes de l'indice de pollution organique (Leclercq, 2001)

Paramètres Classes	Ammonium (mg/L)	Nitrites ($\mu\text{g/L}$)	Phosphates ($\mu\text{g/L}$)
5	< 0,1	5	15
4	0,1 – 0,9	6 – 10	16 – 75
3	1 – 2,4	11 – 50	76 – 250
2	2,5 – 6	51 – 150	251 – 900
1	>6	>150	>900

Tableau 4. Grille des classes de l'indice de pollution organique (Leclercq, 2001)

Moyenne des classes	Caractérisation de la pollution organique
5 – 4,6	Nulle
4,5 – 4	Faible
3,9 – 3	Modérée
2,9 – 2	Forte
1,9 - 1	Très forte

3 RESULTATS ET DISCUSSION

EVALUATION DES TENEURS DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES

Les figure 3 traduit la variation de la conductibilité électrique, du pH, du taux de solides dissous et de la température des échantillons constitués. Il ressort que les températures comprises entre 29 – 32.8 °C sont supérieures que celle de la norme de potabilité (25 °C) recommandée au Bénin. Aussi le taux de solides dissous comprises entre 06 ppm et 584 ppm sont parfois supérieurs à la norme béninoise (500ppm). Les valeurs des pH sont dans les normes de qualité à l'exception des échantillons de EPP LOLO et de Drogine. Il est en est de même pour les conductibilités électriques.

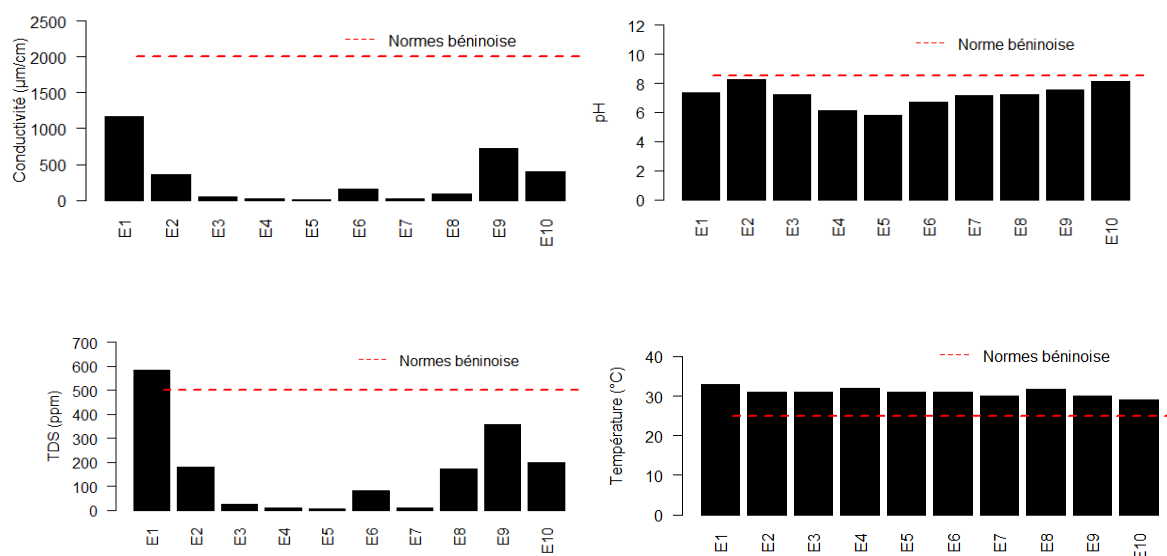


Fig. 3. Valeurs de la conductibilité électrique, du pH, du taux de solides dissous et de la température dans les échantillons

La figure 4 montre les teneurs en composés azotés et phosphatés des eaux souterraines dans la commune de Kandi. On note que les teneurs en nitrates comprises entre 0 - 50,30 mg/l sont parfois au-dessus (E1 et E9) de la valeur admissible par la norme béninoise (45 mg/l). La concentration de l'ammonium est comprise entre 0,13 - 0,73 mg/l et parfois supérieur (0,73 mg/l à E1) à la valeur de la norme béninoise (0,5 mg/l). Les eaux souterraines dans les localités de Idokofo et Sota peulh sont sujettes à un risque de pollution organique. Mais les teneurs sont presque nulles et comprises entre (0.019 - 0.037 mg/l) et reste inférieur à la valeur normale béninoise (3,2 mg/l). Il en est de même pour la concentration en phosphate est très inférieur à 5 mg/l pour le seuil de potabilité.

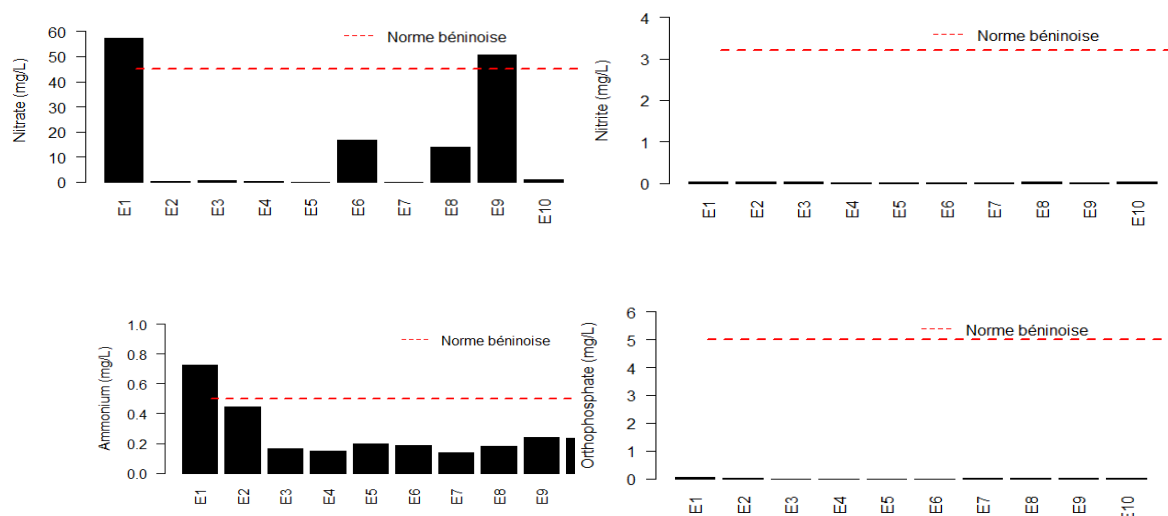


Fig. 4. Teneurs en composés azotés et phosphatés dans les échantillons

Les concentrations en magnésium, calcium, sulfate et chlorure sont présentées dans la figure 5. Ces différentes concentrations dans les eaux sont relativement très faible et sont dans les normes de potabilité de l'eau souterraine.

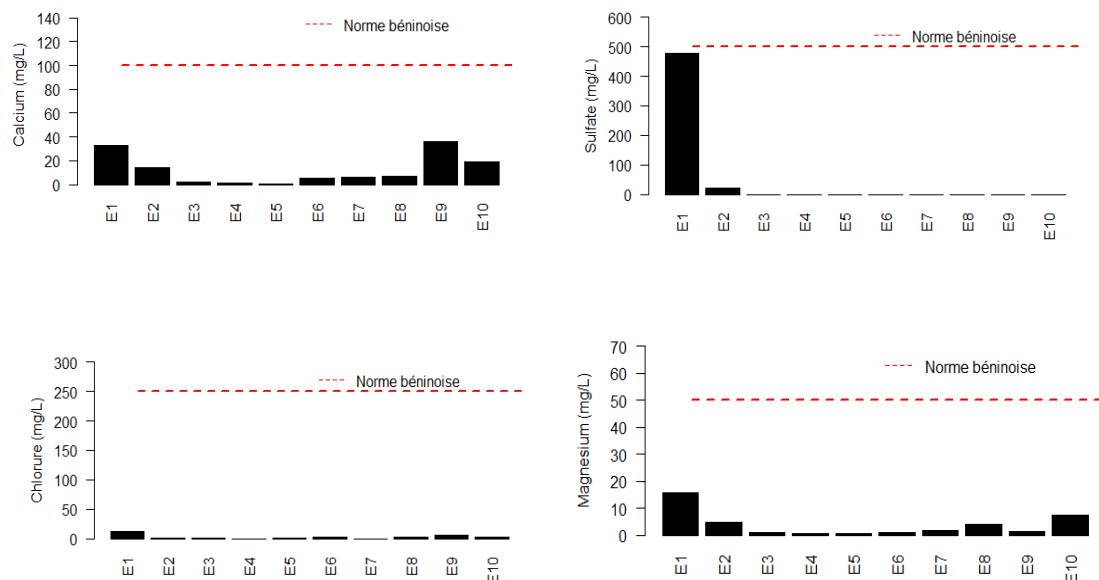


Fig. 5. Teneur en Calcium, Magnésium, Sulfate et Chlorure dans les échantillons

APPRECIATION DE LA QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES

La qualité des eaux souterraines dans le bassin sédimentaire de Kandi a été appréciée à partir de différents critères. Le calcul de l'indice de qualité de l'eau IQE (tableaux 5 et 6) a permis d'identifier les classes de qualité d'eau souterraine et les

différents usages possibles. Dans l'ensemble les eaux sont de bonne qualité et peuvent être utilisé pour la consommation, l'irrigation et pour l'industrie.

Tableau 5. Tableau récapitulatif des Indices de Qualité de l'Eau pour chaque échantillon

Echantillons	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
IQE	102,16	65,88	30,15	23,73	28,65	28,30	22,04	28,37	37,58	38,16

Tableau 6. Tableau récapitulatif de la qualité et des usages de l'eau pour chaque échantillon

Echantillons	IQE	Classes	Types d'eau	Usages possible
E1	102,164	>100	Eau non potable	Traitement approprié requis avant utilisation
E2	65,883	>50-75	Mauvaise qualité	Irrigation et industrie
E3	30,153	>25-50	Bonne qualité	Eau potable, irrigation et industrie
E4	23,733	0-25	Excellente qualité	Eau potable, irrigation et industrie
E5	28,653	>25-50	Bonne qualité	Eau potable, irrigation et industrie
E6	28,308	>25-50	Bonne qualité	Eau potable, irrigation et industrie
E7	22,047	0-25	Excellente qualité	Eau potable, irrigation et industrie
E8	28,380	>25-50	Bonne qualité	Eau potable, irrigation et industrie
E9	37,582	>25-50	Bonne qualité	Eau potable, irrigation et industrie
E10	38,165	>25-50	Bonne qualité	Eau potable, irrigation et industrie

Les différentes classes de l'IPO (tableau 7) ont montré que les eaux analysées sont d'une très forte pollution organique.

Tableau 7. Différentes classes de l'indice de pollution organique des eaux analysées

Echantillons	Ammonium	classes	Nitrite	classes	Orthophosphate	classes	classes éch
E1	0,72	4	0,03	0	0,04	0	1,33
E2	0,44	4	0,02	0	0,01	0	1,33
E3	0,17	4	0,02	0	0,001	0	1,33
E4	0,16	4	0,01	0	0,001	0	1,33
E5	0,19	4	0,01	0	0,001	0	1,33
E6	0,18	4	0,01	0	0	0	1,33
E7	0,13	4	0,02	0	0,008	0	1,33
E8	0,18	4	0,02	0	0,004	0	1,33
E9	0,24	4	0,02	0	0,004	0	1,33
E10	0,23	4	0,02	0	0,019	0	1,33

L'appréciation de la qualité globale des eaux souterraines constituées est illustrée dans le tableau 8 et montre que les eaux souterraines analysées sont d'une qualité moyenne excellente.

Tableau 8. Tableau récapitulatif de la qualité de l'eau souterraine

Echantillons	Conductivité en $\mu\text{m}/\text{cm}$	Qualité	Chlorure	Qualité	Nitrate	Qualité	Qualité éch
E1	1168	Bonne	11,7	Excellente	57,295	Mauvaise	Moyenne
E2	362	Excellente	0,4	Excellente	0,094	Excellente	Excellente
E3	48	Excellente	0,2	Excellente	0,384	Excellente	Excellente
E4	20	Excellente	0,1	Excellente	0,094	Excellente	Excellente
E5	12	Excellente	0,6	Excellente	-0,108	Excellente	Excellente
E6	162	Excellente	2,7	Excellente	16,814	Bonne	Très bonne
E7	20	Excellente	0,1	Excellente	-0,195	Excellente	Excellente
E8	86	Excellente	2,2	Excellente	13,858	Bonne	Très bonne
E9	718	Bonne	5,6	Excellente	50,601	Mauvaise	Moyenne
E10	396	Excellente	1,9	Excellente	0,732	Excellente	Excellente

4 DISCUSSION

L'étude de la qualité et la potabilité des eaux souterraines des systèmes aquifères du Bassin Sédimentaire de Kandi étudié à partir de l'évaluation des paramètres physico-chimiques, de l'indice de qualité de l'eau (IQE), de pollution organique (IPO) puis de la grille pour la qualité minéralogique, indiquent que les eaux souterraines de la région d'étude sont généralement de bonne qualité. L'évaluation des paramètres physico-chimique a été fait à base des échantillons prélevés au niveau de dix (10) points d'AEP, lors de la campagne d'échantillonnage effectuée au mois de Novembre 2022. Cette évaluation physico-chimique indique que les paramètres physiques tels que le pH, la température (29-32°C) et le TDS (584 ppm) ont dépassés le seuil de la norme béninoise sur certains sites. Quant aux paramètres chimiques, les valeurs obtenues sur certains sites pour les paramètres comme l'ammonium (0,7mg/L) et les nitrates (>50 mg/L) ne sont pas conformes à la norme béninoise qui est de 0.5 mg/L pour l'ammonium et de 45 mg/L pour les nitrates. Houéfondé (2014), est dans cette même optique et formule que ce sont des zones de forte activité de culture et d'élevage de bétail facilitant ainsi l'obtention des composés azotés (nitrate et ammonium pour ce qui nous concerne ici). Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Mehounou et al., (2016) au Bénin dans la commune d'Aplahoué où les valeurs obtenues pour la température varient de 27,7 à 31,5°C et les valeurs des paramètres comme l'ammonium, le nitrate et les TDS qui se rapprochent des nôtres. La qualité des eaux souterraines dans le bassin sédimentaire de Kandi appréciée à partir du calcul de l'indice de qualité de l'eau IQE a permis d'identifier les classes de qualité d'eau souterraine et les différents usages possibles. L'analyse de l'IQE sur le BSK indique que seuls deux sites (S1 et S2) sur dix (10) c'est-à-dire 20% des sites étudiés ont une valeur supérieure à 60 qui respectivement est de 102,164 et 65,883 sur chacun de ces deux sites. Ces valeurs obtenues confèrent aux eaux de ces points une nature non potable et de mauvaise qualité sur la base de la classification de la qualité et usage possible de l'eau établie par Brown et al., 1972; Chatterji et Raziuddin, 2002; Aher et al., 2016. Des résultats concordants et très similaires ont été aussi observés au Maroc sur la base de l'indice IQE (Bekri et al., 2020) où 20% des sites possèdent une eau de mauvaise qualité (62.254) à non potable (393,923). L'indice de pollution organique (IPO) sur tous les sites est de 4.66 donc nulle (5-4,6) selon la classification de Leclerc (2001), résultats rapprochés de ceux trouvés par Bekri et al., (2020). L'appréciation de la qualité globale des eaux souterraines montre que les eaux souterraines analysées sont d'une qualité moyenne à excellente. Dans l'ensemble les eaux sont de bonne qualité et peuvent être utilisé pour la consommation, l'irrigation et pour l'industrie.

5 CONCLUSION

Cette recherche est une contribution à une meilleure appréciation de la qualité des eaux. Il est à retenir que dans le bassin sédimentaire de Kandi la qualité des eaux souterraines dépend de l'analyse des paramètres physico-chimiques qu'elles renferment et le calcul des indices de qualité de ces eaux dans les systèmes aquifères. Au Bénin, en matière d'AEP les eaux souterraines sont les exploitées donc il convient que cette eau soit de bonne qualité pour des fins de consommation domestique, industrielle et autres. Pour y arriver il faut une bonne classification et usage possible de l'eau et une évaluation de la charge organique des eaux analysée afin d'apprécier sa qualité pour les usages possibles.

REFERENCES

- [1] Adjagodo A., Agassounon Djikpo Tchibozo M., Kelomè N.C., Lawani R., (2016). Flux des polluants liés aux activités anthropiques, risques sur les ressources en eau de surface et la chaine trophique à travers le monde: synthèse bibliographique. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 10 (3): 1459-1472.
- [2] Aher, D. N., Kele, V. D., Malwade, K. D., & Shelke, M. D. (2016). Lake Water Quality Indexing To Identify Suitable Sites For Household Utility: A Case Study Jambhulwadi Lake; Pune (MS). *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, 6 (5), (pp.16-21).
- [3] Alidou, S. (1983). Etude géologique du bassin paléo-mésozoïque de Kandi, Nord-Est du Bénin (Afrique de l'Ouest). Thèse de doctorat ès-Sciences, 328 p. Université de Dijon, France.
- [4] Marc Babut, (1984). Eaux d'alimentation en zone rurale ivoirienne: approche de la qualité chimique (éléments toxiques et indésirables) et de la vulnérabilité des aquifères, *Journal des missions évangéliques* > n°4 [01/12/1984]. - pp. 177-178.
- [5] Hachem Bekri, M., El Hmaidi, A., Jaddi, H. J., Kasse, Z., Mati El Faleh, E. M. E. F., Essahlaoui, A., & El Ouali, A. (2020). Utilisation Des Indices De Qualité Et De Pollution Organique Dans L'évaluation De La Qualité PhysicoChimique Des Eaux Superficielles Des Oueds Moulouya et Ansegmir (Haute Moulouya, NE Du Maroc). *European Scientific Journal, ESJ*, 16 (27), 55. <https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n27p55>.
- [6] Boukari, M., (2007). Hydrogéologie de la République du Bénin (Afrique de l'Ouest). *Africa Geoscience Review* Vol. 14 No. 3, pp. 303-328.

- [7] Brown, R. & Hanlon, C. (1970). Derivational complexity and order of acquisition in child speech. In Hayes, J. R. (ed.), *Cognition and the development of language*. New York: Wiley.
- [8] Brown, J. J., Davies, D. L., Ferriss, J. B., Fraser, R., Haywood, E., Lever, A. F., & Robertson, J. I. S. (1972). Comparison of Surgery and Prolonged Spironolactone Therapy in Patients with Hypertension, Aldosterone Excess, and Low Plasma Renin. June, 729–734.
- [9] Chatterji, C., & Raziuddin, M. (2002). Determination of water quality index (WQI) of a degraded river in Asanil industrial area, Ranigunj, Burdwan, west Bengal. *Nature: Environment and Pollution Technology*, 1 (2), 181–189.
- [10] Gbewezoun, H. G. V. (2013). Caractérisation hydrogéologique de l'aquifère du plateau d'Allada dans la zone de Kpanroun (commune d'Abomey-Calavi). *Mémoire de Licence, UAC / FAST / Formation en Hydrologie*, 47p + annexes.
- [11] Ghazali D., Zaid A., (2013). Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama-Jerri (Région de Meknès – Maroc). *Larhyss journal*, ISSN 1112-3680, N° 12, pp25-36.
- [12] Leclercq L. (2001). Les eaux courantes: caractéristiques et moyens d'étude, dans les zones humides. Actes des colloques organisés en 1996 par le Ministère de la Région Wallonne dans le cadre de l'Année Mondiale des Zones Humides, Jambes, Région Wallonne, DGRNE. pp. 67-82.
- [13] Mehounou, J.P., Josse, R.G., Dossou-Yovo, P., Senou, S.F., & Toklo, R.M. (2016). Caractérisation physico-chimique et microbiologique des eaux souterraines et superficielles dans la zone de production cotonnière d'Aplahoué. *J. Appl. Biosci.* 103: 9841 – 9853.
- [14] Michel Provencher, (2013). Indice de la qualité des eaux, *Revue canadienne des ressources hydriques*, Volume 4, 1979 - Issue 2, Pages 82-93.
- [15] Nordine, Khattach, D., & Hilali, M. (2015). Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique du haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc) Assessment of physico-chemical quality of groundwater of the Jurassic aquifers in high basin of Ziz (Central High A. 6 (4), 1068–1081.
- [16] RODIER J. et al. (2009). *L'analyse de l'eau*, 9e édition. DUNOD (éditeur), Paris, France. 1579 p.
- [17] Traoré SK, Mamadou K, Dembele A, Lafrance P, Mazelliert P, Houenou P, (2006). Contamination de l'eau souterraine par les pesticides en régions agricoles en Côte-d'Ivoire (centre, Sud et Sud-Ouest). *Journal Africain des Sciences de l'Environnement* 1: 1-9.
- [18] Yidana, S. M., & Yidana, A. (2010). Assessing water quality using water quality index and multivariate analysis. *Environmental Earth Sciences*. 59, 2010.

Analyse de l'occurrence des extrêmes climatiques et cartographie des risques hydro climatiques dans la zone agro écologique 4 du Bénin

[Analysis of the Occurrence of Climate Extremes and Mapping of Hydro-Climatic Risks in Agro-Ecological Zone 4 of Benin]

Quinakonhan Médard¹, F. Avahounlin Ringo^{1,2}, and W. Vissin Expédit³

¹Chaire Internationale de Physique Mathématique et Applications (CIPMA CHAIRE-UNESCO, FAST, UAC), Benin

²Ecole Normale Supérieure (ENS, UNSTIM), Benin

³Université d'Abomey-Calavi, UAC, Benin

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Planet Earth is severely threatened by natural disasters whose impacts significantly affect the environment, human populations, and socio-economic activities (FFA, 2015). The aim of this study is to analyze the occurrence of extreme rainfall events and the risks of flooding and drought in Agroecological Zone 4 of Benin. The data used in this research include climatological data (daily rainfall and temperature series) as well as planimetric data (geological and pedological maps at a 1: 200,000 scale, land use data, and a Digital Elevation Model). The climatic data were used to calculate climate extreme indices and determine their occurrence using statistical frequency analysis. Flood and drought risk mapping was carried out using a Geographic Information System (GIS), by coding and combining the contributing factors through an index-based mapping method. The results of this study show that extreme rainfall events with return periods ranging from 50 to 100 years are mainly driven by an increase in precipitation events exceeding 20 mm and maximum rainfall recorded over five consecutive days. The flood risk map reveals that high and very high flood risk zones represent 22.37% and 15.24% of the study area, respectively, and are mainly located in the immediate vicinity of watercourses. Regarding drought risk, the mapping indicates that low and moderate risk zones cover 27.10% and 19.44% of the study area, while high and very high risk zones account for 35.75% and 17.70% of the territory, respectively.

KEYWORDS: occurrence, climate extremes, flooding, drought, Agroecological Zone 4.

RESUME: La planète Terre est gravement menacée par des catastrophes naturelles dont les manifestations ont un impact significatif sur l'environnement, les populations humaines et les activités socio-économiques (FFA, 2015). L'objectif de cette étude est d'analyser l'occurrence des événements climatiques extrêmes liés à la pluviométrie ainsi que les risques d'inondation et de sécheresse dans la zone agro écologique 4 du Bénin. Les données utilisées dans le cadre de cette recherche comprennent des données climatologiques (séries journalières de précipitations et de températures) ainsi que des données planimétriques (géologiques, pédologiques à l'échelle 1/200 000, occupation des sols et un Modèle Numérique de Terrain). Les données climatiques ont permis de calculer des indices d'extrêmes climatiques et de déterminer leur occurrence en s'appuyant sur une méthode statistique d'analyse fréquentielle. La cartographie des zones à risque d'inondation et de sécheresse a été réalisée à l'aide d'un système d'information géographique (SIG), en combinant et en codifiant les facteurs responsables de ces phénomènes selon la méthode de cartographie par indice. Les résultats de cette étude montrent que les événements pluviométriques extrêmes dont les périodes de retour varient entre 50 et 100 ans sont principalement dus à l'augmentation des épisodes de précipitations supérieures à 20 mm ainsi qu'aux pluies maximales enregistrées sur cinq jours consécutifs. La cartographie des risques d'inondation révèle que les zones à risque élevé et très élevé couvrent respectivement 22,37 % et

15,24 % de la zone étudiée, ces dernières étant principalement situées à proximité immédiate des cours d'eau. En ce qui concerne le risque de sécheresse, la cartographie indique que les zones à risque faible et moyen occupent respectivement 27,10 % et 19,44 % de la superficie totale, tandis que les zones à risque élevé et très élevé représentent 35,75 % et 17,70 % du territoire étudié.

MOTS-CLEFS: occurrence, extrêmes climatiques, inondation, sécheresse, zone agro écologique 4.

1 INTRODUCTION

La planète terre est intensément menacées par des catastrophes naturelles dont les manifestations impactent fortement l'environnement, l'homme et les activités socio-économiques (FFA, 2015). En effet, les phénomènes liés au temps, au climat et à l'eau sont à l'origine de 90 % des catastrophes naturelles dont les coûts très exorbitants ont atteint un record avec plus de 400 milliards de dollars pour les désastres météorologiques ayant pu être estimés en 2017 (OAA, 2017). Pour certains aléas, le contexte de changement climatique pourrait se traduire par une recrudescence des événements extrêmes ou des impacts accrus, en termes de risques pour les populations et les activités économiques exposées, de santé et de fragilisation des écosystèmes. Cela concernerait les vagues de chaleur, certains types de sécheresses, les précipitations intenses dans certaines régions, les aléas gravitaires qui leur sont souvent associées en zone de relief (glissements de terrain, laves torrentielles, avalanches, etc.), les cyclones les plus intenses et la hausse du niveau des mers. L'objectif de cette étude est d'analyser l'occurrence des événements extrêmes pluviométriques et les risques d'inondation et de sécheresse dans la zone agroécologique 4 du Bénin.

2 CADRE D'ETUDE

D'une superficie de 16936 km², la zone agro écologique 4 du Bénin s'étend sur deux départements (Atacora et Donga) et couvre neuf communes dont Coblly, Ouaké, Boukoumbé, Tanguiéta, Natitingou, Djougou, Toucountouna et Copargo (RGPH4, 2013). Elle est située entre 10° et 10°40' de latitude Nord et 0°75' et 1°30' de Longitude Est (figure 1). La pluie constitue le facteur déterminant du climat dans la zone intertropicale. Et le climat est de type atacorien (Houssou, 1998) et caractérisé par un régime de type unimodal avec deux saisons (une saison pluvieuse et une saison sèche). La tendance pluviométrique générale présente des hauteurs de pluies moyennes de 1400 mm d'eau réparties en 90 jours (Tenté, 2005). La grande saison des pluies couvre la période d'avril à octobre et la grande saison sèche couvre la période de novembre à mars. Les hauteurs de pluie sont abondantes au cours des mois d'août et de septembre.

Le régime moyen de la température maximale suit un rythme bimodal avec deux pics. Le premier en mars (37°C) et le second en novembre (35°C). Les deux pics sont dus à la forte radiation directe et à la faible nébulosité. Les plus faibles températures sont enregistrées en juillet et en août. Le régime moyen de la température minimale suit un régime unimodal avec un pic dans le mois d'avril (24°C). Les minimas sont enregistrés en novembre (18°C), décembre (18°C) et janvier (19°C). Les températures minimales et moyennes évoluent à la baisse contrairement à la température maximale sur la période d'observation. Les mois les plus chauds sur la période sont novembre, février, mars et avril.

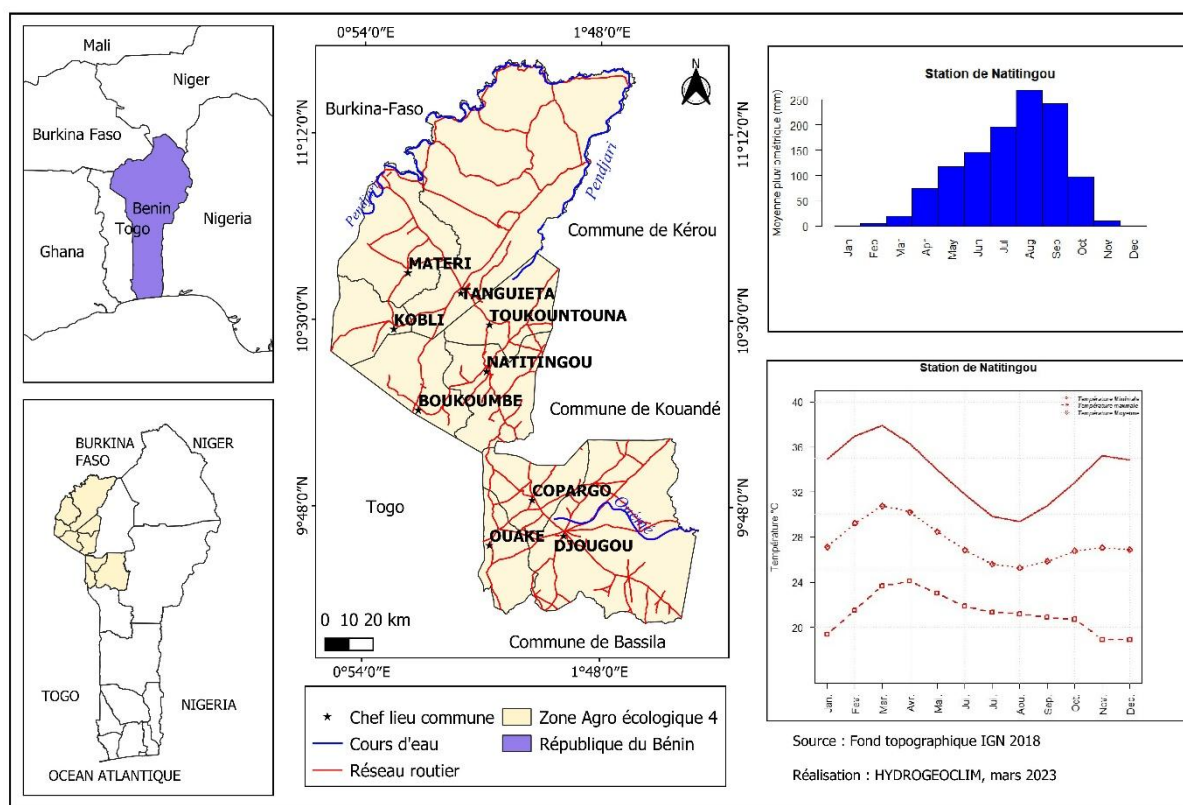


Fig. 1. Situation géographique de la zone agro écologique du Bénin et son régime climatique

3 METHODES D'ETUDE

3.1 DONNÉES D'ÉTUDE

Dans le cadre de cette étude, les données climatologiques et planimétriques ont été utilisées. Les données climatologiques sont constituées des séries journalières de pluies et de température extraites de la base de données de l'Agence de la Météorologie Nationale (Météo Bénin) au niveau de la station synoptique de Natitingou et des postes pluviométriques situés dans la zone Agroécologique 4 et sur la période 1970-2017. Les données planimétriques sont issues de la base de données de l'Institut Géographique Nationale (IGN) et sont constituées des cartes géologiques, pédologique à l'échelle 1/200 000 et d'un Modèle Numérique du terrain (MNT). La carte géologique a été utilisé pour apprécier l'aptitude à l'infiltration des différentes couches géologiques. Le modèle numérique de terrain est issu du capteur Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de 30m de résolution, il a servi de donnée de base pour l'extraction des données topographiques et a l'hydrographie qui sont: les formes du relief, les pentes, le réseau hydrographique. Les images satellites sont de type Landsat de la génération OLI 8 et 9 des scènes 192-53, 193-52 et 193-53 obtenues sur le site officiel de l'United States Geological Survey (USGS): <https://earthexplorer.usgs.gov>. Ces images ont permis d'identifier les différentes unités d'occupation du sol.

3.2 ANALYSE DES FREQUENCES DES INDICES CLIMATIQUES

Les méthodes d'analyse fréquentielle ont été appliquées à cinq indicateurs d'extrêmes pluviométriques. En effet un total de 27 indices de base a été suggéré par l'Equipe d'experts sur la détection d'indices du changement climatique (Expert Team on Climate Change Detection Indices ETCCDI). Les descriptions détaillées de ces indices et RCLimDex sont disponibles sur le site web de l'ETCCDI (<http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml>). Cette étude a pris en compte les jours sec consécutifs (CDD), les jours humides consécutifs (CWD), le nombre de précipitation supérieur à 20 mm (R 20mm), la quantité maximale de pluie sur cinq jours (Rx5day) et l'indice d'intensité journalier simple (SDII) (tableau 1). Ainsi les différents indices ont été ajustés à la loi statistique GEV. La variabilité interannuelle des indices a été apprécié à partir de l'indice centré réduit (Eq1).

$$I = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma(x)} \quad (1)$$

Avec x_i : la valeur de la variable; $\bar{x}$: la moyenne de la série et $\sigma(x)$: écart type de la série.

Tableau 1. Indices d'extrêmes pluviométriques

Identifiant de l'indice	Nom de l'indicateur	Définitions	Unités
CDD	Jours secs consécutifs	Nombre maximum de jours consécutifs avec RR < 1mm	Journées
CWD	Jours de pluie consécutifs	Nombre maximum de jours consécutifs avec RR > = 1mm	Journées
R20	Nombre de jours précipitations très intenses	Nombre annuel de jours lorsque PRCP > = 20mm	Journées
Rx5day	Quantité maximale de précipitations sur 5 jours	Précipitations mensuelles maximales consécutives sur 5 jours	mm
SDII	Indice d'intensité journalier simple	Total des précipitations annuelles divisé par le nombre de jours de pluie (défini comme PRCP > = 1,0 mm) dans l'année	Mm/jour

3.3 CARTOGRAPHIE DES ÉVÈNEMENTS D'EXTRÊMES CLIMATIQUES

Les inondations et la sécheresse ont été les deux événements caractéristiques de risques hydroclimatiques cartographiés au moyen de l'outil Raster calculator sous ArcGis. La cartographie du risque est liée à l'analyse de l'état de vulnérabilité du secteur au phénomène et la manifestation de l'aléa.

La cartographie du risque d'inondation est le produit de l'aléa et de la vulnérabilité (Gilard et Gendreau, 1998; Onna et al., 2005). Elle est déterminée par cinq paramètres régis par l'équation Eq2 (Harding et al., 2001 et Henry 2006).

$$R = f(A, E, V, I, t, s) \quad (2)$$

Avec A= aléa, E= enjeu, V= vulnérabilité, I= résilience, t et s=dimensions spatio-temporelles.

La carte des aléas est obtenue par combinaison des cartes des isohyètes et de celle de la couverture du sol dont le croisement a permis de déterminer l'étendue spatiale et les zones potentiellement exposées aux aléas climatiques pouvant engendrer des inondations dans le secteur d'étude. Ainsi à partir des précipitations annuelles constituées et de la classification des unités d'occupation du sol, des classes d'abondance pluviométrique (faible: < 600 mm; moyen: 600 – 800 mm; forte: 800 – 1000 mm; très fort: >1000) et de couverture végétale (faible: forêt dense, semi-décidue, galerie forestière et plantation; moyen: forêt claire, savane arborée et arbustive, champs et jachères; fort: agglomérations, formations marécageuses et plan d'eau) ont été définies. La carte de vulnérabilité à l'inondation est obtenue par superposition de différentes cartes thématiques liées à la densité de drainage, à la lithologie et à la pente.

La reclassification et la codification de chaque carte thématique (tableau 2) et le croisement des différentes cartes suivant les critères d'analyses multicritère ont permis d'obtenir la carte du risque d'inondations. Les principales étapes de détermination du risque d'inondation sont résumées dans la figure 2.

Tableau 2. Critères et cote de reclassification des cartes thématiques pour la cartographie des risques d'inondation

Unité	Désignation	Niveau	Côte
Drainage	0-15,79	Faible	1
	15,79-31,59	Moyen	2
	31,59-47,39	Fort	3
	47,39-63,19	Très fort	4
Pente	0-2,64	Très fort	4
	2,641-7,392	Fort	3
	7,393-17,16	Moyen	2
	17,61-67,322	Faible	1
Lithologie	Granites Syntectoniques Calco-alcalins ; Granites prostectoniques calco-alcalins ; Groupe de pira (migmatites)	Faible	1
	Groupe de Djougou (gneiss à muscovites) ; Groupe de Kouandé (orthogneiss à biotite) ; Groupe de Kandi (gneiss à biotites) ; Schistes de l'oti grès de Bombouaka ; séricitoschistes schistes micaschistes	Moyen	2
	Grès, grès quartzites, schistes ; Quartzites micaschistes ; Roche Basiques	Fort	3
Pluie	763,18-883,73	Faible	1
	883,73-971,55	Moyen	2
	971,55-1049,05	Fort	3
	1049,05-1202,14	Très fort	4
Occupation du sol	Forêt danse ; forêt claire et savane boisé	Faible	1
	Savane arboré et arbustive	Moyen	2
	Plantation	Fort	3
	Plan eau ; habitation	Très fort	4

FCSB: Forêt claire et savane boisée; FD: Forêt dense; SASa: Savane arborée et arbustive; FGFR: Forêt galerie et formation ripicole; FSM: Forêt et savane marécageuse; CJ: Culture et jachère; CJP: Culture et jachère sous palmier à huile; AG: Agglomération; PE: Plan d'eau

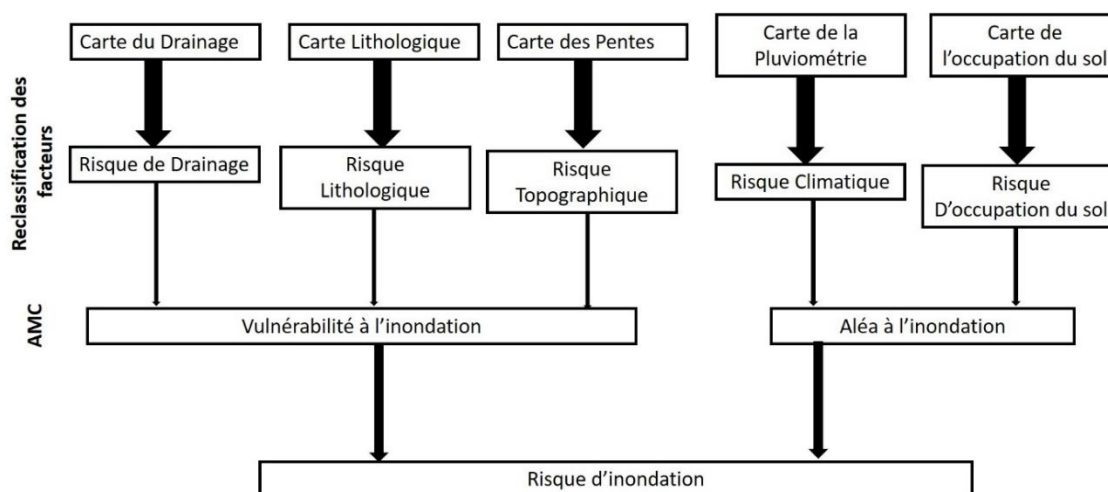


Fig. 2. Etapes méthodologiques de la cartographie du risque d'inondation

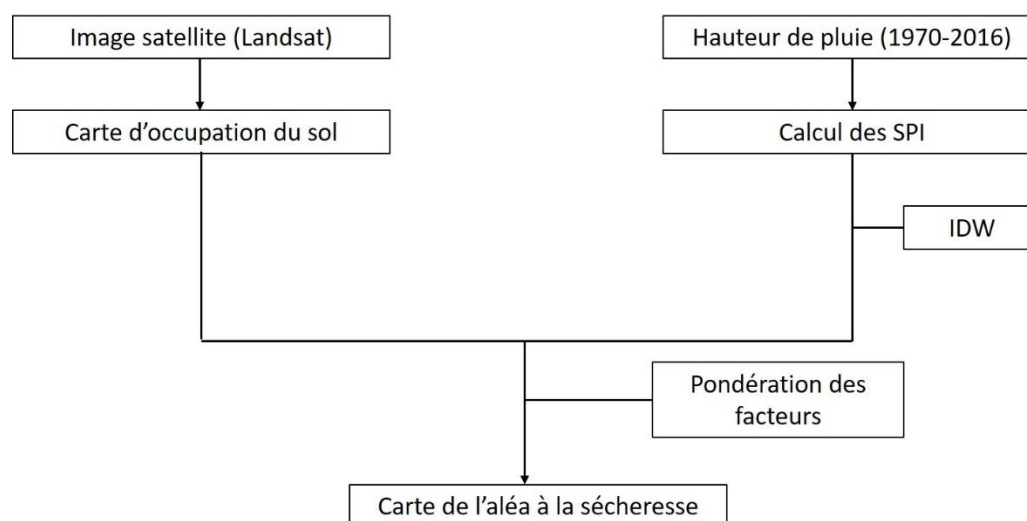
La cartographie du risque de sécheresse est la combinaison de l'aléa et la vulnérabilité à la sécheresse.

Sur la base des indices pluviométriques, un calcul des occurrences de sécheresse est effectué pour la réalisation de la carte des occurrences des années déficitaires en pluviométrie (tableau 3).

La carte de répartition spatiale des indices pluviométriques négatives a été croisée avec celle des occupations du sol pour obtenir la carte des aléas à la sécheresse (figure 3).

Tableau 3. *Classification des indices standardisés des précipitations caractéristiques de sécheresse*

Classeur de SPI	Grille d'interprétation
-1 < SPI < 0	Sécheresse Modérée
-2 < SPI < -1	Sécheresse Forte
SPI < -2	Sécheresse Extrême

**Fig. 3.** *Schéma représentatif du croisement des cartes pour l'obtention de l'aléa à la sécheresse*

Les facteurs déterminant la sécheresse ont été calculés, classifiés et combinés pour déterminer la carte de vulnérabilité à la sécheresse (figure 4 et tableau 4). Il s'agit de la capacité de rétention d'eau du sol, la végétation (NDVI) et la température de surface du sol (Schaaf C. et al 2003; Ousma et al, 2006). Le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) qui est construit à partir des bandes rouge NIR (proche de l'infrarouge) et RED (bande rouge) d'une image, exploite les caractéristiques en réflectance des végétaux, absorbent les longueurs d'ondes autour de 650 nm et réfléchissent plus ou moins celles dans le proche infrarouge. Le NDVI est défini par formule (Eq3):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (3)$$

Les valeurs du NDVI sont comprises entre -1 et +1. Les valeurs négatives correspondent aux surfaces autres que les végétaux (neige, eau, nuages), et les valeurs avoisinant 0 correspondent aux sols nus pour lesquels les réflectances dans le rouge et le proche infrarouge sont du même ordre de grandeur. Les formations végétales présentent des valeurs positives, proportionnelles à la densité du couvert et à l'activité chlorophyllienne. L'extraction de la température de surface du sol repose sur les données fournies par les bandes 4, 5, 10 et 11 de LANDSAT 8. Les données numériques infrarouges thermiques ont été converties en rayonnement spectral en utilisant le facteur de redimensionnement du rayonnement.

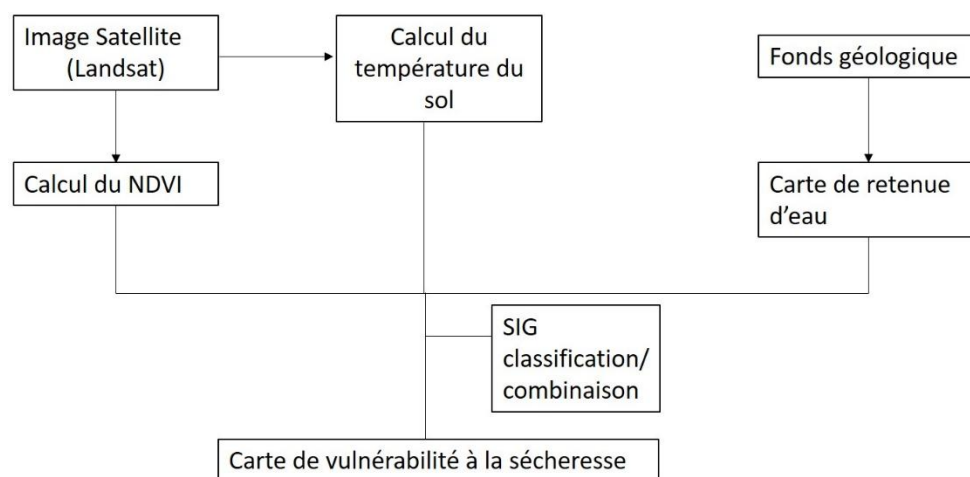


Fig. 4. Schéma représentatif du croisement des cartes pour l'obtention de la vulnérabilité à la sécheresse

Le tableau suivant présente les critères et cote de reclassification des cartes thématiques pour la cartographie du risque de sécheresse.

Tableau 4. Critères et cote de reclassification des cartes thématiques pour la cartographie des risques de sécheresse

Paramètres	Caractéristiques	Echelle descriptive	Côte
Occupation	Forêt Danse ; Forêt Claire et Savane Boisé ; Plan d'Eau	Faible	1
	Forêt Galerie et formation ripicole ; Savane Arbustive et Arboré	Moyen	2
	Plantation ; Habitation	Fort	3
Pluie	1092,53-1202,31	Faible	1
	982,75-1092,53	Moyen	2
	872,96-982,75	Fort	3
	763,186-872,96	Très Fort	4
Température du Sol	14,15-15,49	Faible	1
	15,49-15,90	Moyen	2
	15,90-16,94	Fort	3
	16,94-21,71	Très Fort	4
Indice normalisé de végétation	-0,10-0,09	Très Fort	4
	0,09-0,135	Fort	3
	0,135-0,172	Moyen	2
	0,172-0,43	Faible	1
Géologie	Granites Syntectoniques Calco-alcalins ; Grès ; grès quartzites ; schistes ; séricitoschistes schistes micaschistes Groupe de pira (migmatites) ; groupe de Kouandé (orthogneiss à biotite) ; Groupe de Djougou (gneiss à muscovites) ; Granites prosectoniques calco-alcalins ; Schistes de l'oti grès de Bombouaka ; Groupe de Kandi (gneiss à biotites)	Moyen	2
	Quartzites micaschistes ; Roche Basiques	Faible	1

4 RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 VARIABILITE INTERANNUELLE DES INDICATEURS D'EXTREMES CLIMATIQUES

Les indices annuels des extrêmes des précipitations sont calculés pour les stations situées dans la zone Agroécologique 4. La figure 5 présente la variabilité interannuelle des précipitations annuelles et des indices climatiques d'extrêmes climatiques (CDD, CWD, R20mm, Rx5day et SDII).

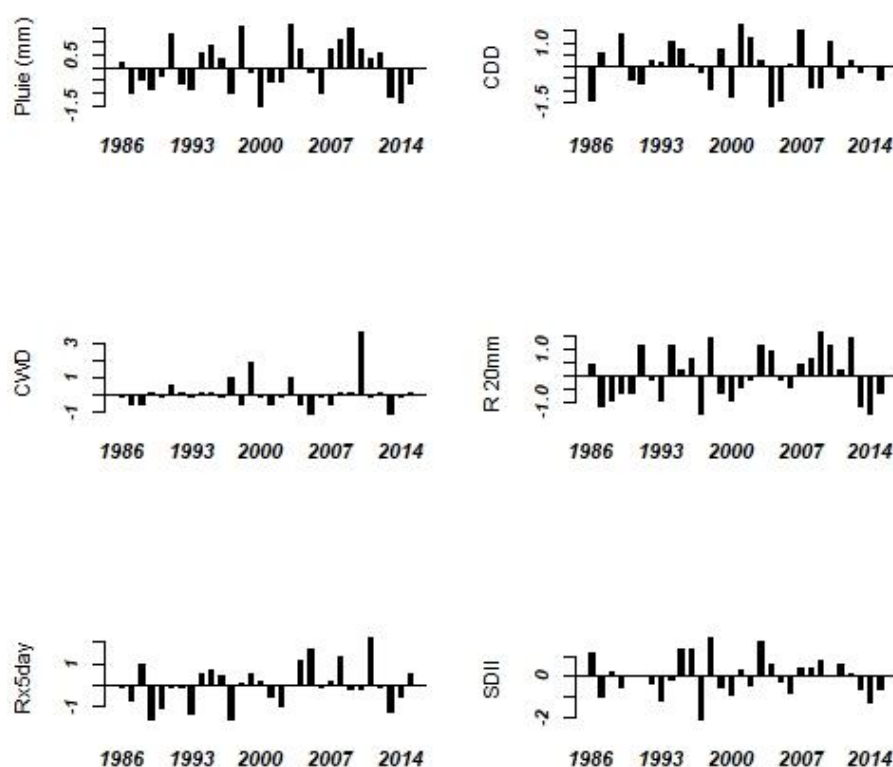


Fig. 5. Evolution interannuelle des précipitations annuelles et indices d'extrêmes climatiques

Il est constaté que les cumules annuels sont plus dominés par les anomalies négatives que positive. De plus nous constatons une segmentation dans la distribution temporelle des pluies. Cette segmentation scinde la série en deux parties la première caractériser par une alternance d'années sèche et humide (1986-2002). Une reprise des pluies est constatée avec une succession d'années arrosées (2003-2015). La récession pluviométrique observé sur la première segmentation s'explique par la baisse des jours humides consécutif au détrimement des jours sec consécutif. Au cours de la seconde segmentation la reprise des pluies s'explique par la répercussion de l'augmentation du nombre de jour de pluie supérieur à 20 mm et la quantité maximale de pluie sur cinq jours. Le comportement de la pluie s'observe sur la lame d'eau écoulé dans le secteur d'étude. Une baisse de la lame d'eau est observée au cours de la période 1986-1995. Au cours de la période de 1996-2016 le secteur d'étude a connu une alternance d'années le fort écoulement et de faible écoulement avec plus d'année déficitaire qu'excédentaire.

4.2 OCCURRENCE DES INDICATEURS D'EXTREMES CLIMATIQUES

La méthode statistique d'analyse fréquentielle est appliquée aux différents indices CDD, CWD, R 20mm, Rx5day et SDII déterminé avec le modèle Rclimdex sur l'ensemble du secteur d'étude. La figure 6 et le tableau 5 présentent respectivement les courbes d'ajustement des séries constituées aux lois statistiques caractéristiques des événements d'extrêmes climatiques et les quantiles des indices.

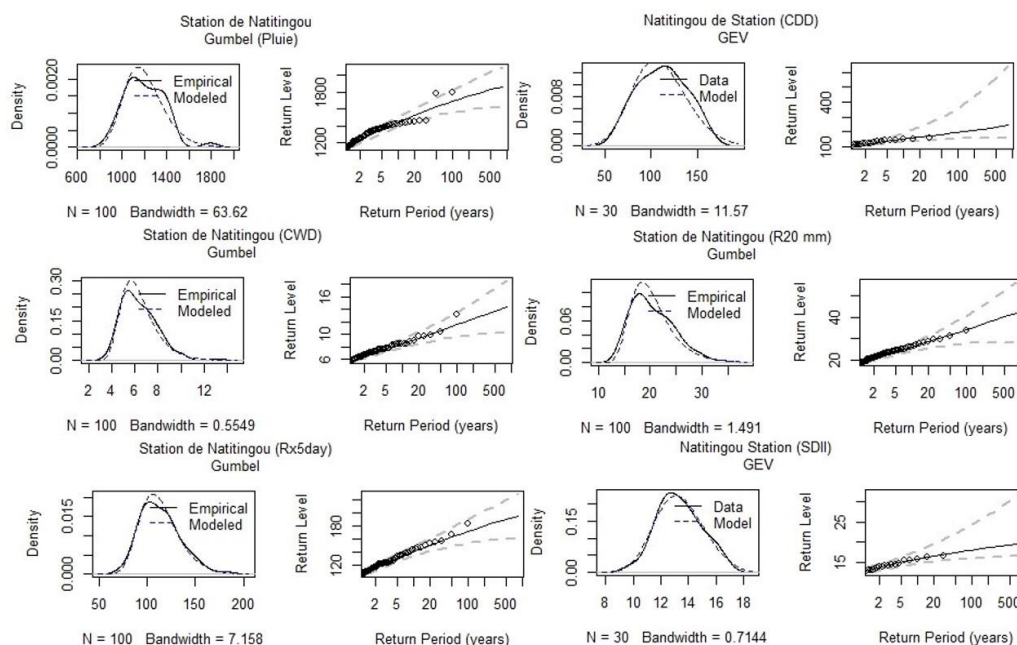


Fig. 6. Distribution des modèles fréquentiels

Les valeurs des différents quantiles de précipitations maximales, de période de retour T (P2, P5, P10, P20, P30, P50 et P100) ont été déterminées (tableau 5). La détermination des paramètres AIC et BIC consistent à choisir le modèle qui convient le mieux à la série chronologique des indices d'extrêmes.

Tableau 5. Quantiles des indices

Période de retour	02	05	10	20	50	100
Pluie moyenne	1174	1337	1444	1548	1681	1782
CDD	115	139	151	162	174	182
CWD	6	7	8	9	11	12
R 20mm	19	23	25	28	31	33
Rx5day	111	131	145	157	174	186
SDII	13	14	15	16	17,25	17,81

Pour la détermination des valeurs des quantiles estimée à différentes périodes de retour, les modèles GEV s'ajustent mieux aux différentes chroniques de CDD; SDII et Gumbel s'ajuste mieux aux différents chroniques de pluie; CWD; R 20mm et Rx5day.

Dans la zone Agro Ecologique 4, les quantiles de pluie associée à une période de retour de 50 ans et 100 ans sont estimées à 1681 mm et 1782 mm. Les quantiles des jours secs consécutif sont estimés à 174 jours et 182 jours. Il y a donc une probabilité de 0,01 % que ces évènements surviennent par années sur les 100 prochaines années. Ces évènements sont moins susceptibles de se produire. Ceux plus susceptible de se produire sont celles qui ont des périodes de retour de 02 ans (0,5 %), 05 (0,2 %) ans et 10 ans (0,1 %). Ces périodes sont associées à des quantiles relativement faibles comparé à ceux des évènements moins susceptibles de se produire. Pour la quantité maximale de pluie sur cinq jours elles sont estimées respectivement à 111 mm; 131 mm et 145 mm. De plus les évènements pluvieux rares (période de retour de 100 ans) s'expliquent par la baisse des jours humide consécutif au détriment des plus maximales sur cinq jours consécutifs et des pluies dont les hauteurs sont supérieures à 20 mm.

4.3 CARTOGRAPHIE DES RISQUES D'INONDATION DANS LA ZONE AGROECOLOGIQUE 4 DU BENIN

Le risque d'inondation dans la zone agroécologique 4 du Bénin est obtenu en combinant la carte de l'aléa et de vulnérabilité à l'inondation. La figure 7 présente les cartes de vulnérabilité, de l'aléa et du risque à l'inondation dans la zone Agro écologique 4.

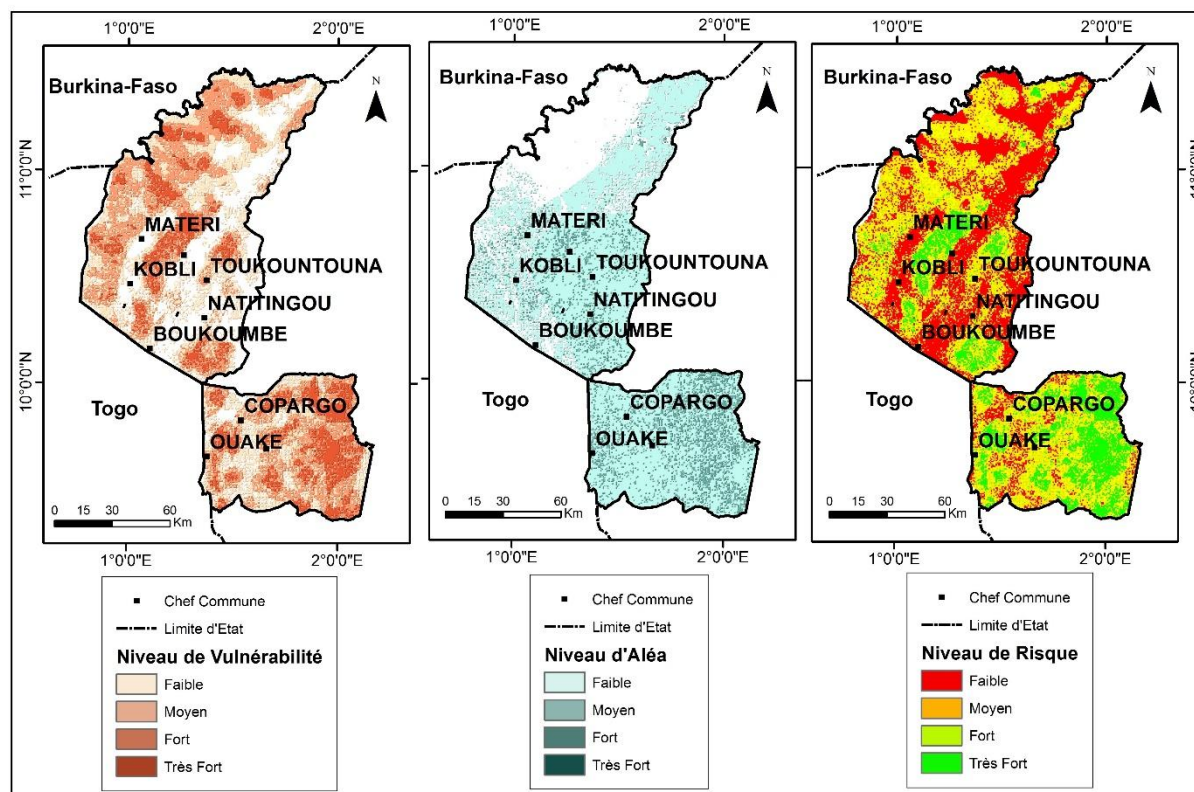


Fig. 7. Niveau de vulnérabilité, d'aléa et de risque à l'inondation dans la zone Agro Ecologique 4 du Bénin

La zone Agro Ecologique 4 présente un niveau de vulnérabilité moyen et fort avec des proportions respectives de 29,13 % et 29,97 %. Ces zones de vulnérabilité moyenne et forte sont plus situées dans les localités de toukountouna, copargo et boukoumbé. Les zones de très forte vulnérabilité à l'inondation recouvrent 14,28 % de la zone d'étude et se situent dans les localités de ouaké et plus au Sud-Est de la zone d'étude. De plus la carte de l'aléa qui est obtenu par reclassification et combinaison des champs de pluie et des unités d'occupation du sol. Les zones de faible aléa à l'inondation couvrent 24,59 % de la zone d'étude et se situent plus au Nord de la zone d'étude et correspond aux zones de faible pluie et de forêt claire. Les zones d'aléa à l'inondation moyenne recouvrent la majeure partie de la zone d'étude (64,82 %) et se situent plus sur le flanc droit de la partie Nord de la zone d'étude. Les zones de forte et très fort aléa recouvrent respectivement 10,57 % et 0,001 % de la zone d'étude. Le risque d'inondation est cartographié par la combinaison de la vulnérabilité et de l'aléa à l'inondation. La carte d'inondation révèle que 31,45 % de la zone d'étude est caractérisé par un risque faible à l'inondation. Ces zones sont plus situées dans la zone Sud-Ouest de la zone d'étude. Les zones à risque d'inondation moyen et fort recouvrent respectivement les 30,92 % et 22,37 % de la zone d'étude, et sont dispersés sur le flanc Ouest du secteur d'étude.

4.4 CARTOGRAPHIE DES RISQUES DE SECHERESSE DANS LA ZONE AGROECOLOGIQUE 4 DU BENIN

La figure 8 présente le niveau de vulnérabilité; de l'aléa et du risque de sécheresse dans la zone Agro Ecologique 4.

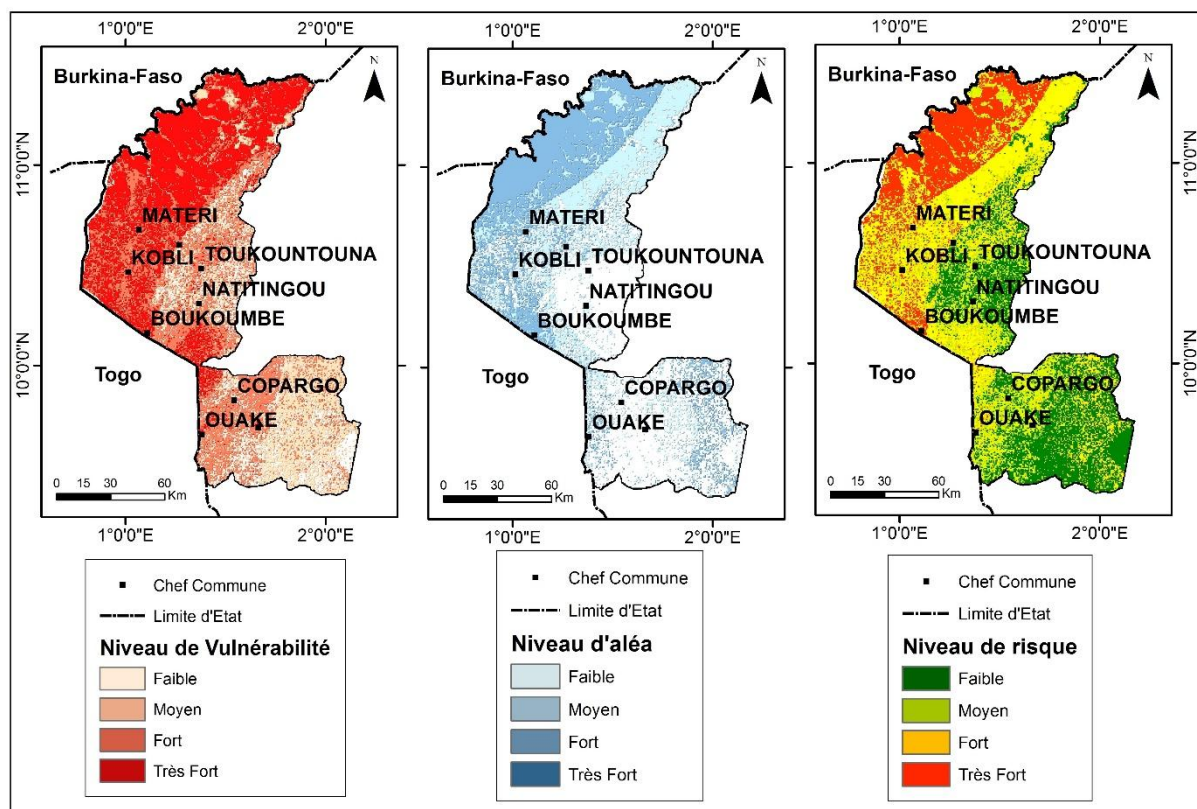


Fig. 8. Niveau de vulnérabilité, d'aléa et de risque à la sécheresse dans la zone Agro Ecologique 4

Le secteur d'étude présente sur son flanc Nord et Nord-Ouest les zones de vulnérabilité très forte soit dans les localités de Materi, Kobli et Boukoumbe (34,37 %). Les zones de forte vulnérabilité à la sécheresse recouvrent 32,63 % de la superficie totale de la zone d'étude, et sont bien localisées dans les localités de Toukountouna et de Natitingou. Les zones de vulnérabilité faible et moyenne recouvrent respectivement 10,05 % et 22,87 % du secteur d'étude. Et sont plus concentrées dans la partie Sud du secteur d'étude. De plus d'aléa moyen et fort recouvrent respectivement les 24,49 % et 29,67 % du secteur d'étude. Ces zones sont plus localisées au Nord-Ouest du secteur d'étude. Les zones de faible aléa à la sécheresse occupent 45,82 % du secteur d'étude et se localisent à Natitingou, Toukountouna et à Copargo. Les zones de très fort aléa à la sécheresse sont pratiquement insignifiantes (0,0015 %). La carte de risque de sécheresse révèle que les zones de très fort risque d'inondation recouvrent 17,70 % du secteur d'étude, et se situent dans la partie Nord-Ouest du secteur d'étude (Tanguiéta). Les zones de moyenne et fort risque de sécheresse recouvrent respectivement 19,44 % et 35,75 % de la zone d'étude (Materi). Quant aux zones de faible risque à la sécheresse, elle recouvre 27,10 % du secteur d'étude et se situe plus au Sud du secteur d'étude.

5 DISCUSSION

En Afrique de l'Ouest les conditions climatiques sont conditionnées par la mousson (Animashaun *et al.*, 2020). Dans le secteur d'étude s'observe une fluctuation des anomalies négatives et positives (1986-2002) et une reprise des pluies sur la période de 2003-2015 avec une succession d'anomalies positives. Ce constat est fait par Ouassa *et al.*, 2022 et Ouassa, 2023 au cours de son étude sur la caractérisation des événements hydroclimatiques dans le bassin versant de la Pendjari. L'auteur stipule que la période de 1970-1991 est dominée par des anomalies négatives traduisant les années sèches et la période 1992-2017 est marquée par une alternance d'année déficitaire et excédentaire correspondant ainsi à la période de reprise des hauteurs pluviométriques. La variabilité pluviométrique ainsi observée est conditionnée par le nombre de jour de pluie; le nombre de jour sec; la quantité de pluie tombée sur une plusieurs jours consécutivement. Nous constatons que la première phase observée dans la distribution temporelle des hauteurs de pluie s'explique par la baisse des jours humides consécutif au détriment des jours secs consécutifs. Sur la base des modèles GEV et Gumbel qui s'ajustent le plus aux différentes chroniques. Toutefois, la concentration des quantiles de pluies (fortes, très fortes et extrêmement fortes) pourrait contribuer en grande partie aux événements extrêmes, dont les inondations qui ne sont pas sans conséquences sur la dynamique du bassin et sur la

vie socioéconomique des populations qui y vivent (Amoussou, et al., 2015). De plus, les résultats de cette étude montrent que les événements pluvieux extrêmes (dont les périodes de retour sont situés entre 50 ans et 100 ans) sont plus causés par une augmentation des événements pluvieux dont la quantité est supérieure à 20mm et des pluies maximales sur cinq jours consécutivement. L'augmentation des événements pluvieux est minime comparé à celle des jours secs consécutif.

À l'échelle de vaste superficie, les outils de télédétection permettent d'obtenir diverses informations sur le secteur d'étude sous forme de carte thématique qui servent de facteurs de cartographie des différents processus. Tel est le cas pour cette étude la cartographie pour le risque d'inondation et de la sécheresse dans la zone Agro Ecologique 4.

La cartographie du d'inondation nécessite la combinaison de l'aléa à l'inondation et de la vulnérabilité à l'inondation. Pour la cartographie de la vulnérabilité à l'inondation il faut rigoureusement reclassifier et combiner la densité de drainage, la pente et la lithologie. Pour cartographier l'aléa il faut reclassifié et combiné la pluie et l'occupation du sol. La cartographie du risque d'inondation révèle que les zones à faible et moyen risque à l'inondation recouvrent respectivement 31,45 % et 30,92 % de la superficie totale du secteur d'étude. Les zones à fort et très fort risque d'inondation occupent respectivement 22,37 % et les 15,24 % du secteur d'étude. Les zones à fort risque à l'inondation sont plus localisées à l'environ immédiat des cours d'eau. Les forts débits enregistrés sur la rivière pendjari montrent que les débits de crue sont plus récurés voir 1969 (588.79 m³ /s) et 1970 (625.2 m³ /s) (Ouassa et al., 2021). Ces forts débits sont engendrés par le cumule des pluies au cours de ces années (Ouassa et al., 2021; Ouassa, 2023). Les zones de faible risque d'inondation correspondent aux zones de forte densité forestière. Koumassi, et al., 2014 au cours de son étude sur l'utilisation des outils de la télédétection pour la cartographie du risque d'inondation dans le bassin de la sota, révèle que les zones de à faible et moyen risque d'inondation couvrent respectivement 15% et 38 % et les 25 % et 16 % caractérisent le risque fort et très fort à l'inondation dans le secteur d'étude. Ces résultats sont semblables au ceux obtenus au cours de cette étude et ceux de Oussa, 2023; Koudamilo et al., 2017; Kodja et al., 2013.

La cartographie du risque de sécheresse requière la combinaison de l'aléa et de la vulnérabilité. L'obtention de la vulnérabilité passe par la reclassification de chaque facteur physique régissant la vulnérabilité à la sécheresse (température du sol, la végétation et la lithologie). L'aléa quant à elle se cartographie par reclassification et combinaison des unités d'occupation du sol et des champs de pluie. La cartographie du risque de sécheresse révèle que dans le secteur d'étude les zones de faible et moyen risque de sécheresse occupent respectivement 27; 10 % et 19,44 % de la superficie de la zone d'étude. Les zones de fort et très fort risque de sécheresse recouvrent quant à eux 35,75 % et 17,70 % du secteur d'étude. Ces valeurs élevées du risque de sécheresse s'expliquent par l'augmentation des températures maximales et minimales respectivement de 0,48 °C et 0,39 °C au niveau de la station synoptique de Natitingou (Ouassa et al., 2023). Plus loin la succession d'années de sécheresse pluviométrique modérée est à la base du risque de sécheresse (Ouassa et al., 2021). Quant aux zones de faible risque à la sécheresse elles correspondent plus aux zones de forte pluie et aux zones de concentration de la végétation (forêt dense). Ouassa, 2023 au cours de son étude sur les événements hydroclimatiques extrêmes et sécurité alimentaire dans le bassin béninois de la pendjari à l'exutoire de porga montre que 13 % de la superficie du bassin est sujet au fort risque de sécheresse. Les 80 % du bassin de la pendjari est sujet au risque de sécheresse moyen et 7 % correspond au faible risque de sécheresse. De plus Koudamilo et al., 2017 qui au cours de ces travaux sur Analyse de la vulnérabilité à la sécheresse et à l'inondation dans le bassin versant du fleuve Ouémé à Bétérou a combiné la sensibilité (occupation du sol), la capacité d'adaptation à la sécheresse et le nombre d'années déficitaires. La combinaison de ces différents facteurs lui permet d'avancer que 12,55 % du bassin de Bétérou et faiblement vulnérable à la sécheresse, 49,35 % y est moyennement vulnérable et les zones à forte et très forte vulnérabilité à la sécheresse occupent 12,71 % et 24,80% de la superficie totale du bassin. Les proportions observées dans le bassin de bétérou ne concordent pas en tout point avec les résultats de cette étude, cela s'expliquera par le fait que les mêmes facteurs ne sont pas pris en compte pour la vulnérabilité à la sécheresse dans cette étude, la taille du secteur, les conditions climatiques qui ne sont pas les mêmes ou soit le phénomène d'orographie qui est généré par les chaines de l'Atacora dans notre secteur d'étude (Yabi, 2008).

6 CONCLUSION

Au terme de cette étude, il faut signaler que dans la zone agro écologique 4, Les zones à fort risque à l'inondation sont plus localisées à l'environ immédiat des cours d'eau et occupent 22,37 % de la superficie de la zone agro écologique 4. Il faut retenir également que le risque d'inondation est fort dans les zones de forte concentration d'agglomérations. En ce qui concerne le risque de sécheresse, il est constaté une hausse de ce dernier en raison de l'augmentation des températures maximales et minimales respectivement de 0,48 °C et 0,39 °C.

REFERENCES

- [1] Amoussou (E.), Totin (H. S. V.), Vissin (W. E.), Mahe (G.), Houndenou (C.) et Boko (M.), 2015. « Modélisation pluie-débit pour la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) de surface dans le bassin versant de la Volta au Bénin » in *Revue de géographie du laboratoire Leïdi* – ISSN 0851 – 2515 – n°13, décembre 2015. Pp 282-296.
- [2] Animashaun IM, Oguntunde PG, Akinwumiju AS, Olubanjo OO, (2020): Rainfall analysis over Niger Central Hydrological Area, Nigeria: variability, trend and change-point detection. *Sci Afri*. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00419>.
- [3] Gilard O., et Gendreau N, (1998): « Inondabilité: Une méthode de prévention raisonnable du risque d'inondation pour une gestion mieux intégrée des bassins versants », *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, vol. 11, n° 3, 1998, p. 429-444.
- [4] Harding R. J., Clark R. B., Xue Y. et Valdes P. J. (2001): Modeling the impact of land surface degradation on the tropical North Africa. *Journal of Climate* Vol. 14 N°8, pp. 1809-1822.
- [5] Henry J.B (2006): *Systèmes d'information spatiaux pour la gestion du risque d'inondation de plaine*, Thèse de Doctorat d'Université, Université de Strasbourg I, France, 271p.
- [6] Houssou, C.S. (1998): *Les bioclimats humains de l'Atacora (nord-ouest du Bénin) et leurs implications socio-économiques*. Master's Thesis, Université de Dijon, Dijon.
- [7] Kodja D. J., Vissin E.W., Amoussou E., et Boko M., (2013): Risques hydroclimatiques et problèmes d'aménagement hydroagricole dans la vallée de l'Ouémé à Bonou (Afrique l'Ouest), in *climat, Agriculture ressources en eau d'hier à demain*, actes du 30ème colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Cotonou (bénin).
- [8] Koudamiloro Olivier, Dipama J.-M., Vissin E.W. (2017): Analyse de la vulnérabilité à la sécheresse et à l'inondation dans le bassin versant du fleuve Ouémé à Bétérou au Bénin (Afrique de l'Ouest), November 2017, *Techniques Sciences Méthodes*, <https://doi.org/10.1051/tsm/201711029>.
- [9] Koumassi, D. H., Tchibozo, A. E., Vissin, E., & Houssou, C. (2014): Analyse fréquentielle des évènements hydro-pluviométriques extrêmes dans le bassin de la Sota au Bénin. *Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 10 (2).
- [10] Onana V.P., Rudant J.P., Etouna J., et Wade S (2005): Dynamique urbaine à l'aide d'images RSO de ERS et HRV de spot, et son impact dans les facteurs d'aggravation des risques d'inondation en milieu urbain: cas de la ville de Douala (Cameroun), *Télédétection*, 2005, Vol. 5, n° (1-2-3), p 19-32.
- [11] Ouassa Pierre, Gervais Assaï Akanni Atchadé, Domiho Japhet Kodja, Fernand Ringo Avahounlin, and Expédit Wilfrid Vissin, (2021): Stratégies d'adaptation des producteurs agricoles aux risques hydroclimatiques dans le bassin Béninois de la Pendjari à l'exutoire de Porga, *International Association of Hydrological Sciences, IAHS*, 384, 319–324, 2021.
- [12] Ouassa Pierre, Capo Atidegla Séraphin, Sodji Jean, Vissin Expédit Wilfrid (2022): SIG Pour l'Optimisation de la Cartographie de l'Influence Des Evènements Hydroclimatiques Extrêmes sur l'Etat de la Sécurité Alimentaire dans le Bassin Béninois de la Pendjari à l'Exutoire de Porga, *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, Vol. 34 No. 2 September 2022, pp. 235-248.
- [13] Ouassa P. (2022): *Evènements hydroclimatiques extrêmes et sécurité alimentaire dans le bassin béninois de la Pendjari à l'exutoire de Porga*. Thèse de doctorat, GAGIEE, CIPMA, UAC, 294p.
- [14] Tente B. A., (2005): *Recherche sur les facteurs de la biodiversité floristique des versants du massif de l'Atacora: secteur Perma-Toucounouna (Bénin)*. Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi, 252 p.
- [15] Yabi, I. (2008): *Etude de l'agroforesterie à base de l'anacardier et des contraintes climatiques à son développement dans le Centre du Bénin* (239 p.). Thèse de Doctorat Unique, Université d'Abomey-Calavi. Ecole Doctorale Pluridisciplinaire Espace, Cultures et Développement.

Caractérisation physico-chimique et mécanique d'un composite à base de particule de tiges de cotonnier et de poudre d'écorce de *Grewia Venusta*

[Physicochemical and mechanical characterization of a composite based on cotton stem particles and *Grewia Venusta* bark powder]

Lokossou Melon¹, Osseni Sabiath¹, Vodounou Edmond¹, Osseni Sèmiyou², and Ahouannou Clément¹

¹Laboratoire d'Energétique et de la Mécanique Appliquées (LEMA), Ecole Doctorale Science de l'Ingénieur, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Abomey-Calavi, Benin

²Laboratoire de Recherche en Chimie et Application Kaba Faculté des Sciences et Techniques de Natitingou Université de Parakou, Parakou, Benin

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Bio-based composites are presented as ecological alternatives to synthetic materials whose production contributes to the depletion of natural resources and climate change. This study aims to develop a new material from cotton stem particles (CSP) and *Grewia Venusta* bark powder (GWP) intended for the manufacture of thermal insulation panels. Eleven (11) formulations were selected by varying the CSP rate and the granular classes of CSP under a temperature of 140°C. This work specifically aims to physically and mechanically characterize this material with the European standards EN 310, 322 and 323. The results obtained show that the density of the composites increases from 402.08 to 998.69 Kg/m³ when the binder rate is increasing, and decreases from 895.35 to 793.38 Kg/m³ when the granular class of the particles increases. The Elastic Flexural Modulus (MOE) and the Flexural Breaking Strength (MOR) increase respectively from 162.25 to 345.03 MPa and from 4.53 to 5.53 MPa for a binder rate varying from 60 to 75%, then decreases when this rate takes a value above 75%. These values increase from 209.82 to 562.28 MPa and from 5.65 to 6.18 MPa, respectively, as the grain size increases from [0.063-0.630 mm] to [0.063-2 mm]. The formulation conforming to the required ANSI 208.1.1999 standard has a density of 691.15 kg/m³, an MOE of 562.28 MPa, and an MOR of 6.18 MPa.

KEYWORDS: Bio-based materials, thermal insulation, elastic Flexural Modulus, flexural Breaking Strength, ANSI 208.1.1999 standard.

RESUME: Les composites biosourcés se présentent comme des alternatives écologiques aux matériaux synthétiques dont la production contribue à l'épuisement des ressources naturelles et aux bouleversements climatiques. Cette étude vise à développer un matériau nouveau à partir des particules de tiges de cotonnier (PTC) et de la poudre d'écorce de *Grewia Venusta* (EGV) destiné à la fabrication de panneaux d'isolation thermique. Onze (11) formulations ont été retenues en faisant varier d'une part le taux d'EGV puis d'autre part les classes granulaires des PTC sous une température de 140°C. Ce travail vise de façon spécifique à caractériser physiquement et mécaniquement ce matériau avec les normes européennes EN 310, 322 et 323. Les résultats obtenus montrent que la masse volumique des composites croît de 402,08 à 998,69 Kg/m³ lorsque le taux de liant est croissant, et décroît de 895,35 à 793,38 Kg/m³ lorsque la classe granulaire des particules croît. Le Module de Flexion Elastique (MOE) et la Résistance à la Rupture en Flexion (MOR) augmentent respectivement de 162,25 à 345,03 MPa et de 4,53 à 5,53 MPa pour un taux de liant variant de 60 à 75%, puis diminue lorsque ce taux prend une valeur au-dessus de 75%. Ces valeurs croissent respectivement de 209,82 à 562,28 MPa et de 5,65 de 6,18 MPa respectivement, lorsque la classe granulaire évolue de [0,063-0,630 mm] à [0,063-2 mm]. La formulation conforme à la norme requise ANSI 208.1.1999 a une masse volumique de 691,15 Kg/m³, un MOE de 562,28 MPa et une MOR de 6,18 MPa.

MOTS-CLEFS: Matériaux Biosourcés, isolant thermique, Module de Flexion Elastique, Résistance à la Rupture en Flexion, norme ANSI 208.1.1999.

1 INTRODUCTION

En raison des préoccupations environnementales et des nouvelles réglementations pour le développement durable, une grande attention est accordée de nos jours aux matériaux naturels et biodégradables pour les nombreux avantages qu'ils peuvent offrir par rapport aux composites constitués de charges inorganiques [1], [2]. En effet, l'utilisation des matériaux inorganiques dans l'élaboration des composites est source d'épuisement des carrières et la gestion des déchets issus de ces charges à la fin de leur cycle de vie pose de sérieux problèmes environnementaux. Ces derniers peuvent provoquer des bouleversements considérables aux conséquences graves sur l'équilibre de l'écosystème et qui ne sont pas, de surcroît, toutes connues [3]. Ce qui justifie les nombreuses interrogations que posent les chercheurs sur le développement durable de nos sociétés ces dernières années face au risque d'épuisement de ces matières premières non renouvelables [4]. Les chercheurs développent de plus en plus des matériaux à base du bois en remplacement de ces matières premières, pour l'élaboration des composites biosourcés. Ainsi, l'utilisation du bois connaît un regain d'intérêt pour le remplacement des dérivés pétrochimiques par des ressources renouvelables [5].

Dans ce contexte, les coproduits de l'agriculture, comme les tiges de plantes annuelles, constituent une alternative intéressante puisque ces ressources sont abondantes, renouvelables et sans danger pour la santé humaine. Elles présentent en outre, de part leur structure poreuse, des propriétés très intéressantes dans les matériaux du bâtiment, auxquelles elles peuvent apporter de bonnes propriétés d'isolation thermique [6]. Les écorces de certaines tiges de plantes cultivées ont également montré un intérêt du point de vue de leur résistance mécanique [7]. Ce travail vise de façon générale à valoriser la biomasse par l'élaboration de nouveaux matériaux isolants respectueux de l'environnement et disposant des caractéristiques mécaniques suffisantes pour leur utilisation dans différentes applications de construction. De façon spécifique, il sera réalisé une formulation d'un composite à base de particules de tige de cotonnier (PTC) et de la poudre des écorces de *Grewia Venusta* (EGV). Le taux de liant et la taille des particules sera rationnellement étudié pour améliorer le comportement physico-mécanique des échantillons des composites et enfin la formulation type permettant d'obtenir les valeurs caractéristiques minimales requises par les normes.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS DES COMPOSITES

Les matériaux végétaux utilisés sont essentiellement les particules de tiges de cotonniers et les écorces du *Grewia Venusta*. Ils sont issus de la biomasse béninoise à fort potentiel de valorisation.

2.1.1 PARTICULES DE TIGE DE COTONNIER

Les tiges de cotonnier proviennent des champs de coton dans la commune de Djidja située au Centre du Bénin, qui est une zone de grande production. Les particules de tiges de cotonnier ont été obtenues après une série de traitements physiques (décorsage, découpage et broyage), puis de classement par granulométrie variant de la classe A: [0,063-0,630 mm [à la classe B: [0,063-1,25 mm [; puis la classe C: [1,25- 2 mm [et en fin la classe D: [0,063-2 mm [. (Figures 1 et 2).



Fig. 1. *Vue des tiges de cotonnier découpées non écorcées*

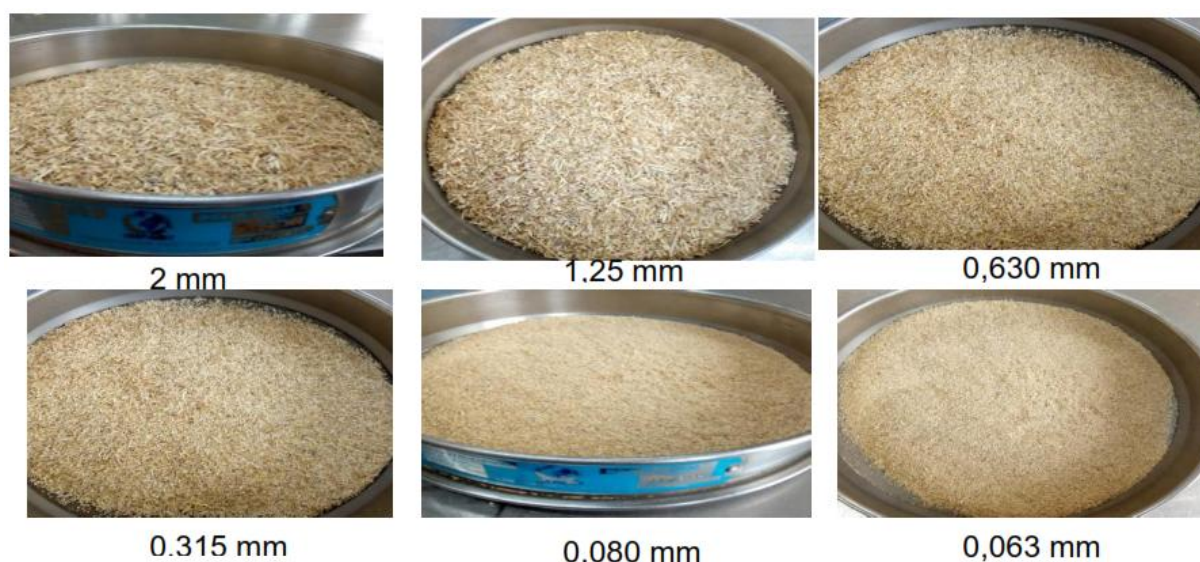


Fig. 2. Vues des différentes tailles de particules de tige de cotonnier

2.1.2 POUDRE D'ÉCORCES DE GREWIA VENUSTA

Le *Grewia Venusta* Fresen est de la famille des Tiliaceae, du genre *Grewia* et de l'espèce *venusta*, récolté au Nord du Bénin, dans la région de Natitingou. Pour obtenir la poudre de l'écorce du *Grewia Venusta*, nous avons procédé au sécher de l'écorce récoltée, puis nous les avons découpé en petits morceaux qui sont broyés et mis en poudre fine grâce à une moulinette-robot.



Fig. 3. a- Vue des écorces de *Grewia Venusta* enlevées de l'arbre b- Vue des fibres des écorces de *Grewia Venusta* c- Vue de la poudre des écorces de *Grewia Venusta*

2.2 EQUIPEMENTS DE CONDITIONNEMENT

Le matériel utilisé pour le traitement des végétaux jusqu'à l'obtention de nouveaux matériaux puis la caractérisation est constitué de:

- Un broyeur mécanique de puissance 0,75 W avec une vitesse de rotation de 1400 tr/min qui a permis de broyer les matières premières avant leur passage à la moulinette au besoin.
- Une série de tamis normalisée de diamètre variant de 0,063 mm à 2 mm permettant de calibrer des particules de tige de cotonnier.
- Une moulinette de marque binatone à grande vitesse a servir de mettre en poudre les écorces du *Grewia Venusta* Fresen.



Fig. 4. *a- Vue du broyeur mécanique b- Vue de la série de tamis c- Vue de la moulinette*

- Un malaxeur mécanique qui sert à assurer le malaxage du mélange des matières premières (Figure 5).
- Une presse mécanique qui permet d'exercer l'énergie de pression nécessaire sur le moule (Figure 6).
- Le moule préchauffé à une température de 140°C (Figure 7 et 8) conçu et équipé de résistances chauffantes, de thermostat pour le contrôle des consignes de température, de la laine de verre à l'intérieur des parois pour maintenir homogène la température à l'intérieur, d'un disjoncteur et d'un contacteur.
- Presse mécanique équipée d'un ordinateur d'acquisition de données : cette presse mécanique est utilisée pour réaliser l'essai de flexion trois (03) points. Elle est également équipée d'un ordinateur d'acquisition de données qui affiche les différentes déformations en fonction de l'évolution de la valeur de la charge (Figure 9).
- Dispositif de flexion trois (03) points: il est composé d'un élément métallique permettant de servir d'appui pour l'échantillon puis d'un autre qui sera fixé au point de contact de la presse avec l'échantillon en exercer la charge effectivement au point se trouvant à mi-porté des appuis (Figure 10 et 11).



Fig. 5. *Vue d'un malaxeur mécanique*



Fig. 6. Vue d'une presse mécanique



Fig. 7. Vues de la moule thermique réalisée pour la confection des échantillons

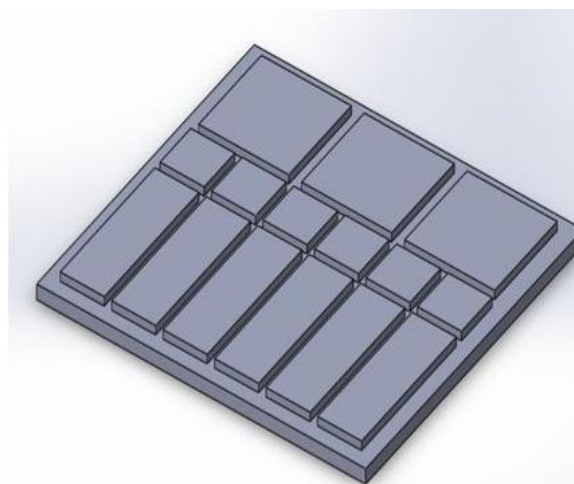
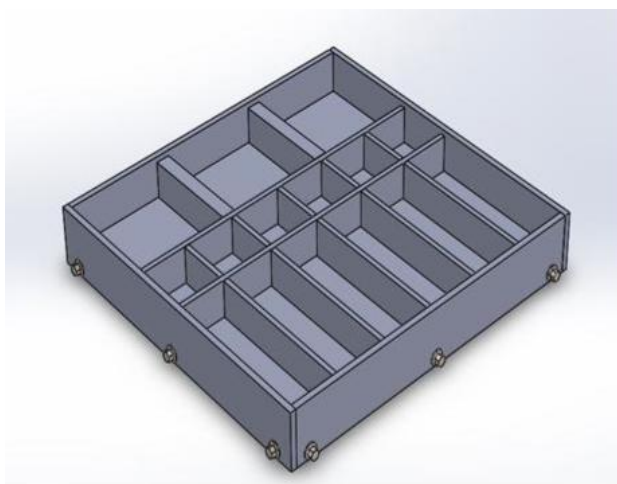


Fig. 8. Vues en 3-D de la moule thermique et de son couvercle (à l'étape de conception)



Fig. 9. Presse mécanique équipée d'un ordinateur d'acquisition de données



Fig. 10. Eléments du Dispositif de flexion 3 points



Fig. 11. Dispositif de flexion 3 points

2.3 METHODE DE FORMULATION DU MATERIAU COMPOSITE

2.3.1 LE PRINCIPE DE LA METHODE

La formulation du mélange, pour l'élaboration des composites s'est appuyée sur deux composants principaux que sont les particules de tiges de cotonnier et la poudre d'écorce du *Grewia Venusta*. Trois paramètres essentiels sont contrôlés dans la formulation et permettent d'identifier les composites ainsi obtenus. Il s'agit:

- du taux de liant de *Grewia venusta* variant de 65% à 90%, avec un pas de 5%, et à une température de 140°C et avec des particules de la classe D: [0.063 mm- 2 mm []],
- de la classe granulométrique: Classe A des particules fines [0,063 mm-0,630 mm []; Classe B des particules moyennes [0,630 mm-1,25 mm []; Classe C des grosses particules [1,25 mm- 2 mm [et Classe D du mélange de toutes les particules [0.063 mm- 2 mm [];
- de la température à laquelle le composite est pressé (140°C).

Les taux de liants sont retenus sur la base de l'expérimentation et la valeur minimale est celle à partir de laquelle nous avons pu observer une cohésion entre les deux matériaux. Les valeurs des classes granulaires ont été retenues lors du calibrage des particules après broyage et en se référant à la littérature sur les formulations de nouveaux matériaux.

Deux (02) types d'éprouvettes ont été élaborés, les éprouvettes de dimensions 5cm x 5cm x 5cm qui sont utilisées pour la détermination des caractéristiques physiques et 15 cm x 5 cm x 5 cm pour les essais de flexion trois points. Pour l'obtention des paramètres de masse volumique, le taux d'absorption, le module de flexion élastique et la résistance à la rupture en flexion, six (06) échantillons sont utilisés par types d'éprouvettes et pour les différentes formulations.

Au total 132 échantillons ont été réalisés et soumis aux essais de caractérisation physiques et mécaniques.

Les différentes quantités de matières entrant dans la confection des échantillons sont définies en partant du taux de liant EGV. En fonction de ces taux respectifs les masses MEGV et MPTC sont calculées par les expressions 1 et 2:

$$T_{EGV} = \frac{M_{EGV}}{M_{EGV} + M_{PTC}} \times 100 \Rightarrow M_{EGV} = \frac{T_{EGV} \times M_{PTC}}{100 - T_{EGV}} \quad (1)$$

$$T_{PTC} = \frac{M_{PTC}}{M_{EGV} + M_{PTC}} \times 100 \Rightarrow M_{PTC} = \frac{T_{PTC} \times M_{EGV}}{100 - T_{PTC}} \quad (2)$$

M_{EGV} : la masse de la poudre de l'écorce de *Grewia enusta*;

M_{PTC} : la masse de matière sèche de particules de tiges de cotonnier

La masse d'eau ajoutée s'apprécie au cours du malaxage et varie parfois légèrement en fonction de la texture du mélange et donc de la granulométrie. Sur la base de la masse d'eau, on détermine l'humidité du mélange. Elles sont déterminées par les expressions 3 et 4:

$$M_{eau} = M_m \times H_m - [(M_{PTC} \times H_{PTC}) + (M_{EGV} \times H_{EGV})] \quad (3)$$

$$H_m = \frac{M_{eau} + [(M_{PTC} \times H_{PTC}) + (M_{EGV} \times H_{EGV})]}{M_m} \quad (4)$$

M_{eau} : masse d'eau ajoutée; M_m : masse totale du mélange; H_m : humidité du mélange recherchée; H_{PTC} : humidité des particules de tige de cotonnier (8,60 %); H_{EGV} : humidité de la poudre de l'écorce de *Grewia venusta* (10,67 %).

N.B.: La masse d'eau à ajouter au mélange est telle que la teneur en eau du mélange est d'environ de 12%.

2.3.2 ETIQUETAGE DES ÉCHANTILLONS

La codification met en exergue la valeur retenue pour chaque paramètre dans la confection de l'éprouvette. Par exemple le code MEG65.A.T140 traduit:

M: Matériau; EG65: Poudre d'Ecorce de *Grewia venusta* prise à 65% de la masse du pétris; A: Classe granulaire de [0,063mm-0,63 mm [pour les particules de tiges de cotonnier.

T140: Pressage à la température de 140°C.

Les différentes formulations réalisées sont résumées dans le tableau 1.

Tableau 1. Les différentes formulations en fonction des paramètres retenus

Paramètres va riés	Type d'échantillon	Echantillon de dimensions 15 cm x 5 cm x 5 cm	Echantillon de dimensions 5 cm x 5 cm x 5 cm	Nombre d'échantillon
Taux de liant (Ecorces de <i>Grewia Venusta</i>)	MEG60.D.T140: 60% de liant ; Classe D et 140°C	6	6	12
	MEG65.D.T140: 65% de liant ; Classe D et 140°C	6	6	12
	MEG70.D.T140: 70% de liant ; Classe D et 140°C	6	6	12
	MEG75.D.T140: 75% de liant ; Classe D et 140°C	6	6	12
	MEG80.D.T140: 80% de liant ; Classe D et 140°C	6	6	12
	MEG85.D.T140: 85% de liant ; Classe D et 140°C	6	6	12
	MEG90.D.T140: 90% de liant ; Classe D et 140°C	6	6	12
Classe granulaire	MEG80.A.T140: 80% de liant ; Classe A et 140°C	6	6	12
	MEG80.B.T140: 80% de liant ; Classe B et 140°C	6	6	12
	MEG80.C.T140: 80% de liant ; Classe A et 140°C	6	6	12
	MEG80.D.T140: 80% de liant ; Classe A et 140°C	6	6	12
	Total			132

2.3.3 PROTOCOLE DE CONFECTION DES ÉCHANTILLONS

Les échantillons testés sont réalisés après une opération de mélange-malaxage pendant 15 min, de deux matériaux végétaux (particules de tige de cotonnier et poudre d'écorce de *Grewia Vénusta*) dans des proportions bien requises et une imprégnation parfaite d'une certaine et quantité d'eau variable selon la teneur en eau du mélange des deux matériaux permettant ainsi de ramener la teneur en eau du mélange à 12% (figure 5). Ensuite intervient la mise en forme par moulage, suivie d'un thermopressage (figure 6), réalisé à 140°C sous une pression de 1,5 MPa pendant 15 min. Pour finir, nous avons procédé au démoulage et séchage des échantillons; les éprouvettes ainsi obtenues sont étiquetées maintenues dans des emballages étanches pour éviter la prise d'humidité avant les essais.

Le schéma de la figure 12 récapitule le protocole de confection des échantillons [6].

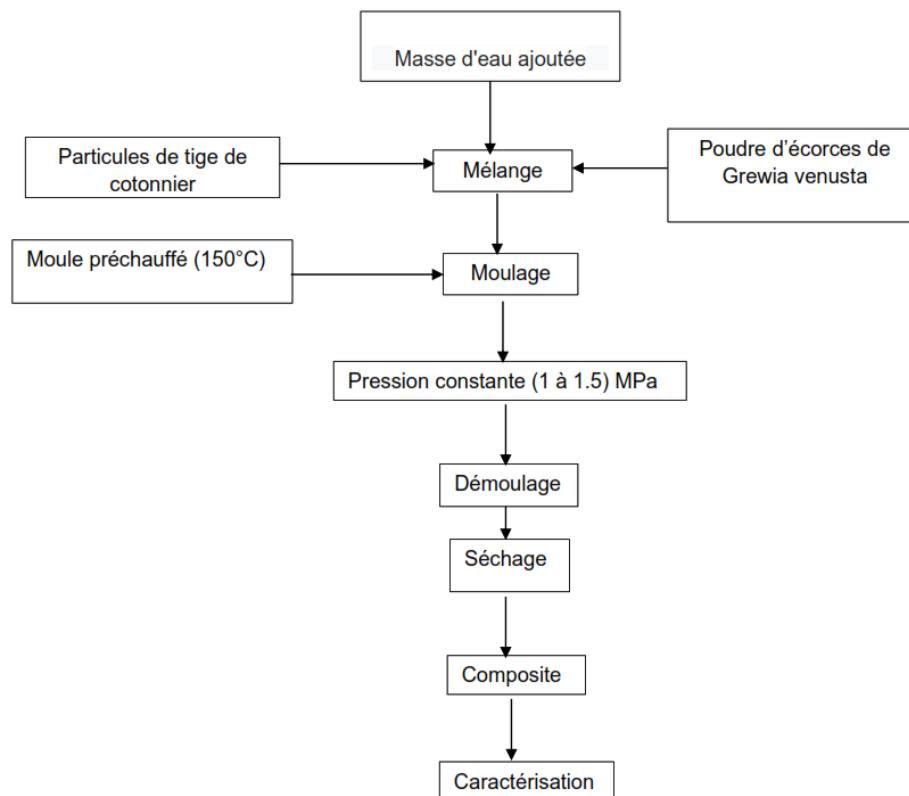


Fig. 12. Processus de fabrication des échantillons des panneaux de particules

2.4 METHODOLOGIE DE CARACTERISATION PHYSIQUE ET MECANIQUE DES COMPOSITES ÉLABORES

2.4.1 MASSE VOLUMIQUE DES COMPOSITES

A l'issue du processus de fabrication, six (06) éprouvettes de 5cm x 5cm x 5cm, sont pesées chacune avec une balance de précision. La masse volumique d'un échantillon est donnée par l'expression:

$$\text{Masse volumique} = \frac{\text{masse de l'échantillon}}{\text{Volume de l'éprouvette}} \quad (5)$$

La valeur moyenne obtenue est celle de la masse volumique des échantillons.

Le taux d'absorption est obtenu en mesurant la masse m_0 de l'éprouvette à l'aide d'une balance électronique de précision 0,01 g avant l'immersion dans l'eau et la masse m_t après l'immersion pendant un temps t .

2.4.2 ABSORPTION D'EAU DES COMPOSITES

L'expression ci-dessous permet de déterminer le taux d'absorption des composites:

$$\text{Absorption}(\%) = \frac{m_t - m_0}{m_0} \times 100 \quad (6)$$

La garantie de la qualité et de performance des panneaux de particules exige de ces derniers des propriétés mécaniques stables qui répondent effectivement aux utilisations auxquelles ils sont destinés.

2.4.3 PROPRIÉTÉS DE FLEXION

Conformément à la norme NF-EN 310, les éprouvettes de dimensions 150 mm x 50 mm x 50 mm sont soumises à l'essai. Les dispositifs de la figure 10 ont été utilisés pour matérialiser les trois points d'appui. Une presse mécanique équipée d'un ordinateur d'acquisition de données (figure 9) permet d'exercer la charge à une vitesse 2 kN/s jusqu'à la rupture. L'ordinateur affiche la valeur de la charge à la rupture, du déplacement (enfoncement) et trace la courbe de variation de la charge en fonction du déplacement.

Les paramètres mécaniques déterminés à l'issu de l'essai de flexion trois points sont, le module d'élasticité en flexion (MOE) et la résistance à la flexion (MOR), obtenues par les expressions mathématiques ci-après 7 et 8:

$$MOE = \frac{L^3}{4bxex^3} \times \frac{F_2 - F_1}{a_2 - a_1} \quad (7)$$

Avec :

F_i : la force mesurée pour un déplacement a_i ; L: distance entre les points d'appui; b: largeur de l'éprouvette; e: épaisseur de l'éprouvette

$$MOR = \frac{3.L}{2.b.e^2} \times F_{\text{rupture}} \quad (8)$$

Avec :

Frupture: la charge mesurée à la rupture; L: distance entre les points d'appui; b: largeur de l'éprouvette; e: épaisseur de l'éprouvette.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 COMPOSITES ÉLABORÉS

La figure 13 présente quelques modèles des éprouvettes réalisées.



Fig. 13. Vues des échantillons de type MEG75D.T140

3.2 MASSE VOLUMIQUE DES ÉCHANTILLONS

L'histogramme de la figure 14 présente les valeurs de masse volumique en fonction du taux de liant:

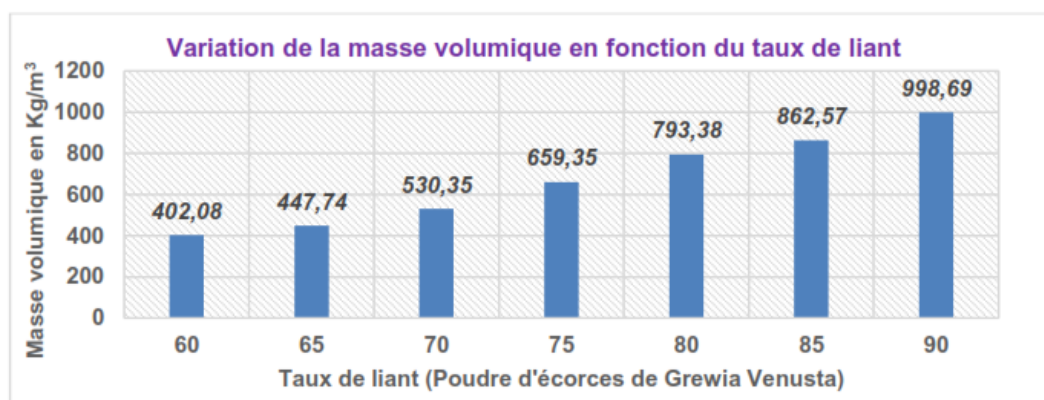


Fig. 14. Histogramme de variation de la masse volumique en fonction du taux de liant

On note que la masse volumique des composites varie en fonction du taux de liant entre 402,08 à 998,69 Kg/m^3 . Cet accroissement se justifie par le fait que la masse volumique des écorces de *Grewia* est 1,40 fois plus grande que celle des particules de tiges de coton. L'histogramme de la figure 15 présente les valeurs de la masse volumique en fonction de la classe granulaire des particules de tiges de cotonnier pour un taux de liant de 75%.

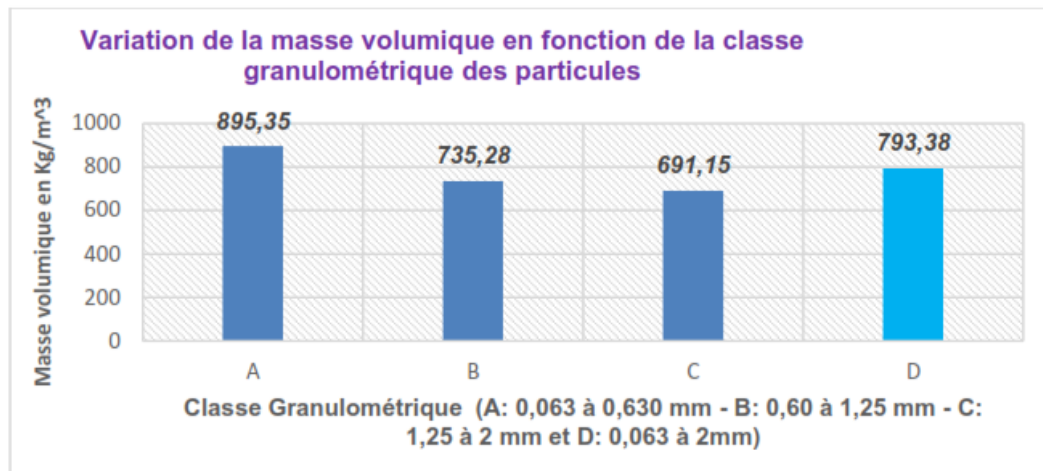


Fig. 15. Histogramme de variation de la masse volumique en fonction de la classe granulométrique

La masse volumique des composites varie aussi en fonction de la classe granulaire des particules de tiges entre 895,35 à 793,38 Kg/m^3 . Ce paramètre croît lorsque le diamètre des granulats diminuent.

Les échantillons obtenus avec les différentes classes granulaires ont une masse volumique supérieure à la valeur recommandée par la norme ANSI 208.1 [8] qui est de 550 Kg/m^3 . Seuls les échantillons contenant un taux de liant supérieur à 75% ont une valeur supérieure à l'exigence de la norme. Les valeurs de la masse volumique sont voisines de celles trouvées par Wu Y et al., [7] qui sont de 590,1 - 713,5 kg/m^3 sur les composites à base de particules de tiges de cotonnier avec du polystéréine recyclé. Cette valeur est supérieure à celle trouvée par Nenonene [4] qui est de 446,72 kg/m^3 sur les composites à base de fibres de tiges de Kénaf et du liant naturel d'écorces de *Grewia Venusta*.

3.3 TAUX D'ABSORPTION D'EAU DU COMPOSITE

Compte tenu de la sensibilité des échantillons à l'eau, nous avons pris les données chaque demi-heure pendant 2h en vue d'analyser le comportement des échantillons au phénomène d'absorption dans le temps. Les résultats obtenus en fonction du taux de liant sont indiqués sur l'histogramme de la figure 16.

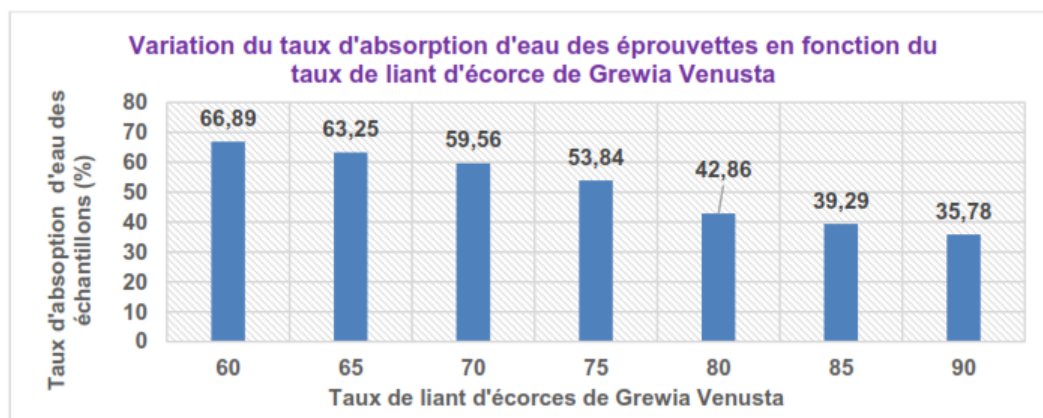


Fig. 16. Histogramme d'analyse des résultats d'eau en fonction du taux de liant

L'histogramme de la figure 17 indique les valeurs du taux d'absorption en fonction de la classe granulaire pour un taux de liant de 75%:

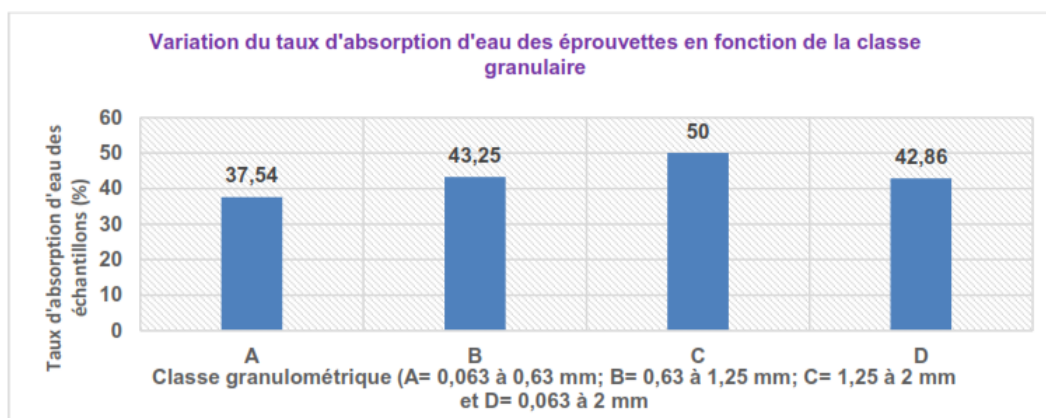


Fig. 17. Histogramme d'analyse des résultats d'eau en fonction de la classe granulométrique des particules de tiges de cotonniers

Le taux d'absorption d'eau des composites décroît de 66,89 à 35,78 % avec l'augmentation du taux de liant et croît de 37,54 à 50,00 % en fonction de la classe granulométrique.

Le taux de liant croît avec une augmentation des éléments fins dans le composite et crée donc une diminution des interstices. Cette diminution réduit la capacité d'absorption d'eau, ce qui explique la décroissance des valeurs obtenues. La même explication permet de traduire la croissance du taux d'absorption en fonction de la classe granulométrique. Quand la classe varie de A à C, les diamètres des particules sont plus élevés et offrent plus de potentialité d'absorption. Les valeurs sont mesurées à chaque trente minutes, et il est remarqué que plus de 70 % du taux d'absorption est atteint après les trente premières minutes. Les valeurs obtenues ne sont pas satisfaisantes car elles sont largement supérieures à la limite tolérée par la norme ANSI 208.1 qui est de 8%. Cela limite l'utilisation des panneaux issus de ce composite dans les atmosphères sèches (cas des plafonds et protections murales, surtout intérieure). Le composite étudié doit être pris en sandwich, c'est à dire utilisé entre d'autres matériaux.

Toutefois, ils peuvent faire objet de traitements thermophysiques en vue d'améliorer la résistance en surface, l'abrasion des panneaux et leur résistance à l'eau. Il s'agira de faire un gâchage par enduits des panneaux avec des huiles spécifiques (huile de lin notamment), suivi d'un chauffage pour un traitement thermique à 180°C, voire 260°C [9].

3.4 CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES ÉCHANTILLONS.

La détermination des valeurs des paramètres mécaniques (propriétés de flexion) a été faite conformément à la méthodologie décrite au paragraphe 2.4.3. et a permis d'avoir pour chaque type d'échantillon la courbe de variation du chargement en fonction du déplacement (figures 18 et 19).

Le dispositif permet également d'afficher à l'écran les valeurs de la charge à la rupture et du déplacement maximal correspondant.

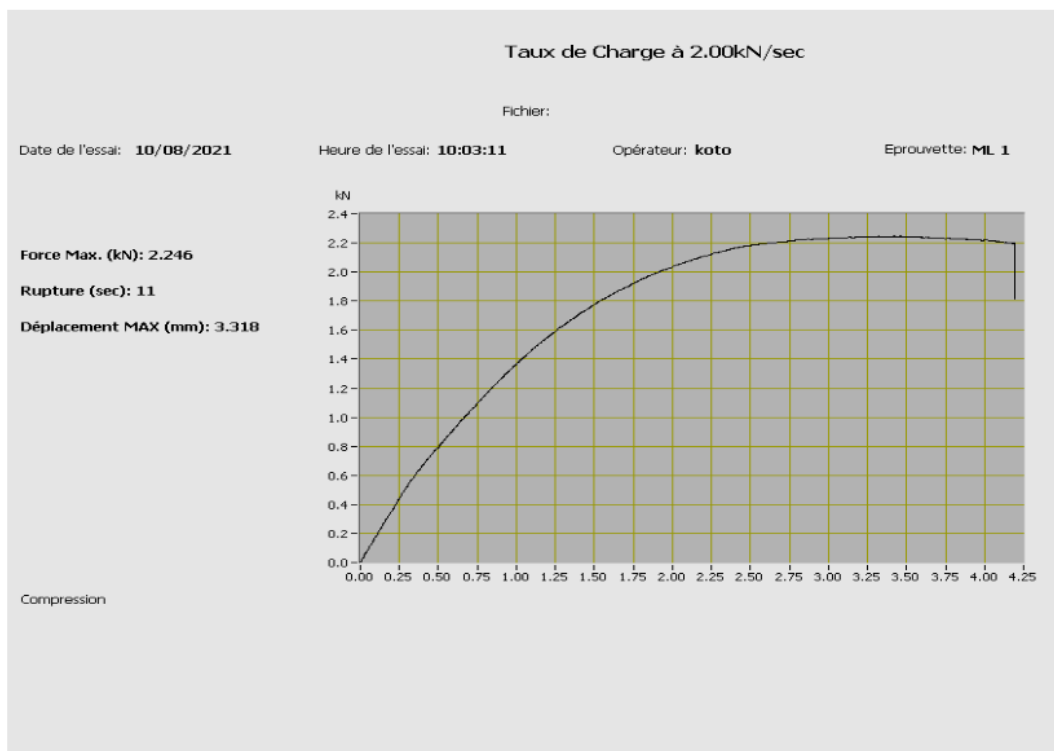


Fig. 18. Courbe de variation de la charge en KN en fonction du déplacement en mm

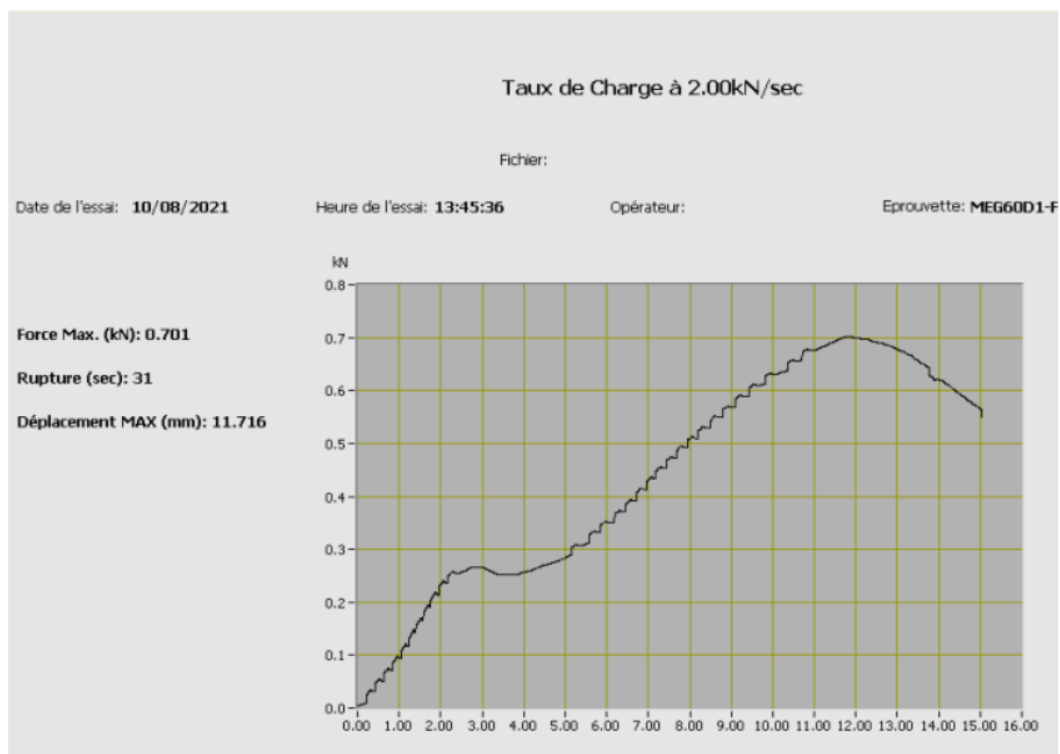


Fig. 19. Courbe de variation de la charge en KN en fonction du déplacement en mm

Ces courbes traduisent la variation du déplacement en fonction du chargement. Autrement dit, elles décrivent l'allure de la variation de la déformation en fonction de la contrainte de flexion trois points. Le traitement des données obtenues a permis de calculer le MOE et la MOR avec les équations du même paragraphe. Les valeurs obtenues constituent les moyennes de six échantillons pour chaque formulation. Elles sont résumées sur les histogrammes des figures 20 et 21 en fonction du taux de liant.

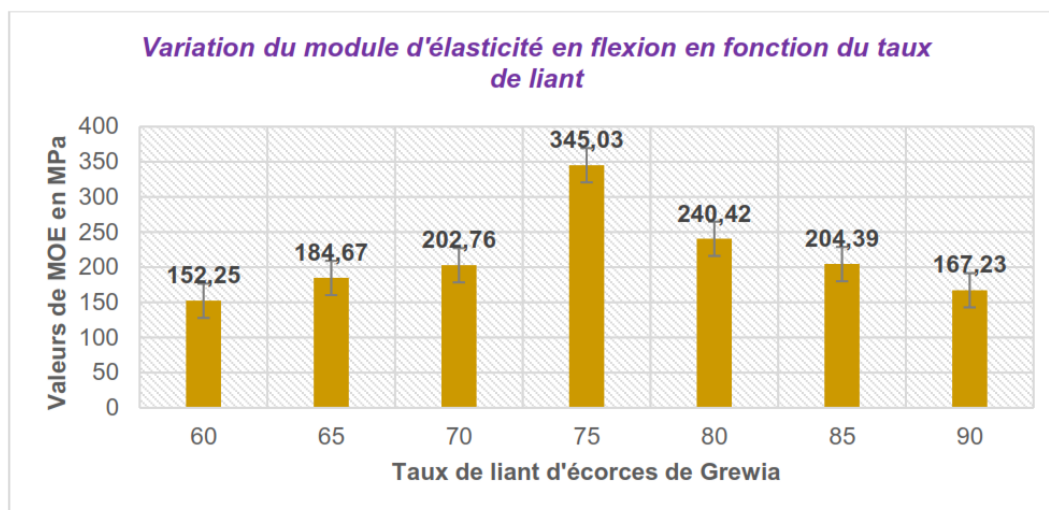


Fig. 20. Histogramme de variation du Module de Flexion Elastique (MOE) en fonction du taux de liant

L'analyse des résultats montre que les valeurs du MOE (MPa) varient respectivement de 152,25 à 345,42 lorsque la teneur en liant varie de 60 à 75% puis de 345,42 à 167,23 lorsque ce taux varie de 75 à 90%. Le MOE est donc proportionnel au taux de liant dans la plage de 60 à 75% et inversement proportionnel à ce taux de 75 à 90%.

La MOR (MPa) quant à elle varie de 4,53 à 5,53 lorsque le taux de liant prend des valeurs de 60 à 75% puis de 5,53 à 5,12 pour des taux allant de 75 à 90%. La MOR est donc proportionnelle au taux de liant dans la plage de 60 à 75% et inversement proportionnelle à ce taux de 75 à 90%.

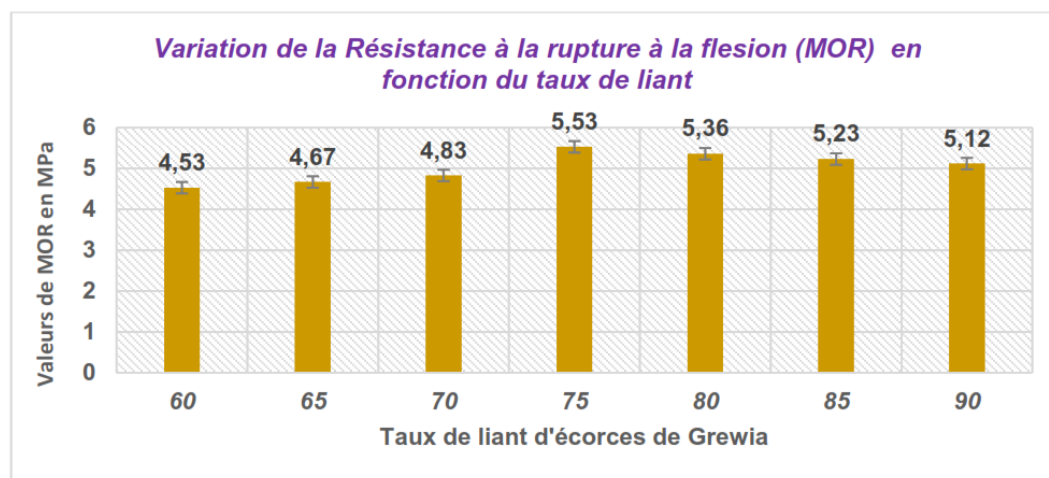


Fig. 21. Histogramme de variation de la Résistance à la Rupture en Flexion (MOR) en fonction du taux de liant

On note qu'aucune des valeurs de MOE trouvée avec des PTC de la classe granulaire D n'atteint celle de la norme ANSI 208.1 qui est de 550 MPa. Ceci pourrait se justifier par le faible taux de particules de grands diamètres devant représenter le squelette nécessaire pour assurer une bonne résistance au matériau élaboré. Par ailleurs les valeurs de MOR obtenues sont supérieures à 3 MPa requise par la même norme.

En faisant varier les classes granulaires, les résultats obtenus ont permis également de tracer les histogrammes des figures 22 et 23 qui décrivent les variations du MOE et MOR en fonction de la classe granulométrique des particules de tiges de cotonnier:

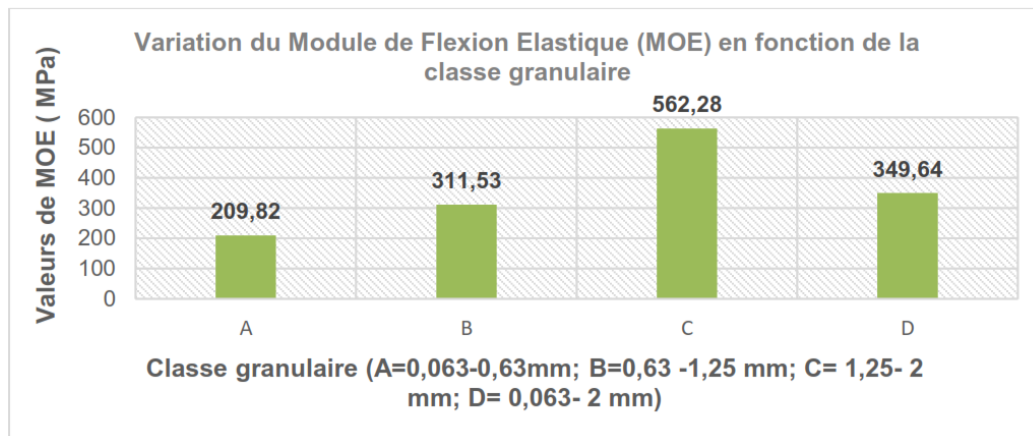


Fig. 22. Histogramme de variation du Module de Flexion Elastique (MOE) en fonction de la classe granulométrique des particules de tiges de cotonnier

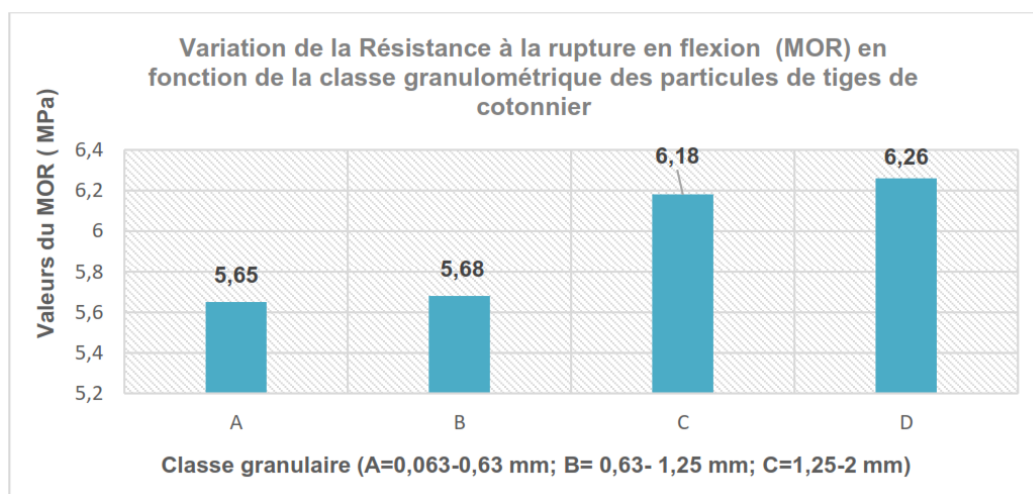


Fig. 23. Histogramme de variation de la Résistance à la rupture en flexion (MOR) en fonction de la classe granulométrique

Les valeurs de MOE (MPa) et de MOR (MPa) croient respectivement de 209,82 à 562,28 et de 5,65 à 6,26 avec la classe granulaire de A à C. Ensuite, ces valeurs chutent de 562,28 à 349,64 pour le MOE lorsqu'on passe de la classe C à D puis de 6,18 à 6,26 pour le MOR. Ces valeurs mettent en évidence l'efficacité des éprouvettes obtenues avec la classe C qui a permis d'avoir la seule valeur moyenne de MOE de 562,28 MPa supérieure à 550 MPa requise par la norme. Les valeurs de MOR (MPa) variant de 5,65 à 6,26 sont toutes supérieures à la valeur de 3 MPa requise par la norme. Les valeurs de MOE et de MOR sont supérieures à celles obtenues par Nenonene, 2009 [4]. sur son composite élaboré à base des particules de tige de Kénaf et de la poudre d'écorce de *Grewia Venusta* qui est en moyenne en MPa respectivement de 405,71 et de 4,15. Soulama, 2015 a élaboré des composites à base de matrice en polystyrène et des pourcentages variés de particules de tige de cotonnier; pour 20% de particules, il a obtenu des valeurs de MOE et de MOR en MPa de 1771,482 et de 2,133 [10].

Tableau 2. Résumé des valeurs des paramètres déterminés

Paramètres étudiés	Valeurs minimales	Valeurs maximales	Valeurs retenues	Normes (ANSI 208.1)
Masse volumique (Kg/m ³)	402,08	998,69	691,15	550
Taux d'absorption (%)	35,78	66,89	50,00	08,00
Module de flexion élastique (MPa)	152,25	562,28	562,28	550
Résistance à la rupture (MPa)	4,53	6,26	6,18	3,00

Nous retenons que seules les éprouvettes **MEG75CT140** présentent des résultats satisfaisants aux deux principaux essais mécaniques que sont le module de flexion élastique (MOE) et la résistance à la rupture en flexion (MOR).

4 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude a permis de révéler que les tiges de cotonnier et les écorces du *Grewia Venusta* sont des ressources biodégradables renouvelables de la biomasse béninoise présentant des caractéristiques physico-chimiques et thermiques intéressantes pour leur utilisation dans l'implémentation des panneaux de particules dans la construction des bâtiments. La masse volumique des particules est en moyenne de 178,57 kg/m³ et de 250,00 kg/m³ respectivement pour les particules de tiges de cotonnier et pour l'écorce de *Grewia Venusta*. La masse volumique des matériaux composites augmente en kg/m³ de 402,08 à 998,69 lorsque le taux de liant varie de 60 à 90% avec un pas de 5%. Elle décroît de 895,35 à 691,15 kg/m³ lorsque la classe granulométrique varie de A= [0,063-0,630mm] à C= [1,25- 2 mm]. Le taux d'absorption d'eau des composites décroît de 66,89 à 35,78 % lorsque le taux de liant croît de 60 à 90 %. Il croît de 37,54 à 50,00 % lorsque la valeur classe granulaire varie de A à C. De la caractérisation des échantillons, il ressort que les valeurs du module d'élasticité en flexion (MOE) croient de 162,25 à 345,42 MPa lorsque la teneur en liant varie de 60 à 75% puis décroît de 345,42 à 167,23 MPa lorsque le taux varie de 75 à 90%. La résistance à la flexion (MOR) quant à elle croît de 4,53 à 5,53 MPa puis décroît à 5,12 MPa pour les mêmes variations respectives du taux de liant. Les valeurs de MOE et de MOR sont proportionnelles à la classe granulaire de A à C et atteignent respectivement en MPa 562,28 et 6,18. Ensuite, celle du MOE chute de 562,28 à 349,64 lorsqu'on passe de la classe C à D alors que celle du MOR reste presque constante soit 6,18 et 6,26.

L'optimisation des résultats respectant les valeurs requises par la norme ANSI 208.1.1999 a permis de retenir la formulation de type **MEG75CT140** ayant une masse volumique de 691,15 kg/m³, un taux d'absorption en eau maximum d'environ de 50,00%, un MOE de 562, 28 MPa et une MOR de 6,18 MPa. Ce type de panneau présente des résultats satisfaisants pour être utilisés comme panneaux de particules de faible densité à applications générales en milieu sec (type P1). L'extraction des molécules adhésives des écorces de *Grewia* afin de réduire son taux dans le mât et renforcer la présence des particules de tiges de cotonnier, la prise en compte de la température comme paramètre varié sont des exercices qui peuvent être explorés pour affiner voir améliorer les caractéristiques déjà satisfaisantes obtenues. Aussi, serait-il intéressant de passer à un traitement sous contrainte thermique ou d'utiliser le matériau en sandwich avec d'autres en vue de réduire le taux d'absorption en eau pour d'autres applications de ce composite.

REFERENCES

- [1] Büyükkaya, K. «Effects of the Fiber Diameter on Mechanic Properties in Polymethyl- Methacrylate Composites Reinforced with Goose Feather Fiber». *Materials Sciences and Applications*, 8, pp.811-827. 2017.
- [2] L. Mendes and S. Cestari, «Printability of HDPE/Natural Fiber Composites with High Content of Cellulosic Industrial Waste». *Materials Sciences and Applications*, Vol. 2 No. 9, 2011, pp.1331-1339.
- [3] Farid Touloum et al., «Nouveau bio-composite local à base de fibres cellulosiques. Application à l'isolation thermique en bâtiment. »Premier Séminaire National de Génie Mécanique (SNGM 01), 2011.
- [4] Nenonene Amen Yawo: Elaboration et caractérisation mécanique de panneaux de particules de tige de kéraf et de bioadhésifs à base de colle d'os, de tannin ou de mucilage. 2009.
- [5] Thiebaud-Roux Sophie: Valorisation chimique de composés lignocellulosiques: obtention de nouveaux matériaux, 1995.
- [6] Mahieu A., Lenormand H., Leblanc N., Vivet A., «100% biobased particleboards based on new agricultural wastes». *Academic journal of civil Engineering*, Vol. 33 No. 2, pp. 705-710, 2015.
- [7] Wu Y., Wang S., Zhou D., Xing C., Zhang Y., Cai Z. «Evaluation of elastic modulus and hardness of crop stalks cell walls by nano-indentation». *Bioresources Technology*, vol.101, pp. 2867-2871, 2010.
- [8] ANSI A208.1 Particleboard. American National Standard Institute. National Particleboard Association. Gaithersburg. MD. (1999) p. 9.
- [9] Kokou Esso Tchombi, Samuel Gomes, Aqil Almusawi, Tibi Beda, Amen Nenonene, Komla Sanda, John Vantomme. Opportunities for natural polymers of agrobased bio-composites: *Grewia venusta* bark, *Bombax costatum* chalice: two tropical plants as natural binder sources for the manufacture of particleboard». 22nd French Congress of Mechanics Lyon, 24th to 28th August 2015.
- [10] Sagnaba Soulama: Contribution to the study of the influence of the parameters of elaboration and optimization of the process of implementation of bio-composites in shell of cotton and recycled polystyrene. Volume 11, N°1, 2015.

Distribution des concentrations des hydrocarbures aromatiques polycycliques dans les sédiments de la baie estuarienne de Koumassi (lagune Ebrié)

[Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbon concentrations in the sediments of the Koumassi estuarine bay (Ebrié lagoon)]

Bi Trazie Jean-Gael Irié¹, Idi Karimou Laouali², Waris Kewouyemi Chouti³, Aoua Sougo Coulibaly¹, and Sylvain Monde¹

¹Laboratoire de Géologie, Ressources Minérales et Énergétiques, Département de Géosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

²Laboratoire de géologie, Département de SVT, Université Abdou Moumouni, Niger

³Faculté des Sciences et Techniques, Département de Chimie, Université d'Abomey-Calavi, Benin

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study investigates the distribution and origin of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments from the Koumassi Estuarine bay (Ébrié lagoon, Côte d'Ivoire). Ten sediment samples were analyzed to determine the concentrations of 16 priority PAHs. The results show that PAH levels are generally low and remain well below Canadian sediment quality thresholds. Fluoranthene is the dominant compound (22.6%), indicating contamination primarily of pyrolytic origin, linked to the combustion of biomass (charcoal, coconut charcoal) and fossil fuels. Some molar ratios (BaA/Chry, LMW/HMW) also suggest a minor contribution from petroleum sources, likely transported by road runoff. This study provides a useful first approach for the environmental management of dredged sediments in this sensitive urban area.

KEYWORDS: PAH, Koumassi bay, Ebrié lagoon, sediment quality, Côte d'Ivoire.

RESUME: Cette étude porte sur la distribution et l'origine des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans les sédiments de la baie estuarienne de Koumassi (lagune d'Ébrié, Côte d'Ivoire). Dix échantillons de sédiments ont été analysés pour déterminer les concentrations de 16 HAP prioritaires. Les résultats montrent que les teneurs en HAP sont globalement faibles et restent bien en dessous des seuils canadiens de qualité des sédiments. Le fluoranthène est le composé majoritaire (22,6%), indiquant une contamination principalement d'origine pyrolytique, liée à la combustion de biomasse (charbon de bois, charbon de coco) et de combustibles fossiles. Certains rapports molaires (BaA/Chry, LMW/HMW) suggèrent également une contribution mineure de sources pétrolières, probablement transportées par les eaux de ruissellement routier. Cette étude constitue une première approche utile pour la gestion environnementale des sédiments dragués dans cette zone urbaine sensible.

MOTS-CLEFS: HAP, Baie de Koumassi, Lagune Ebrié, Qualité des sédiments.

1 INTRODUCTION

Située sur la rive sud de la lagune Ebrié, la baie de Koumassi s'étend sur une superficie de 12 km² et communique avec la lagune par son extrémité méridionale. Ce plan d'eau est soumis, depuis plusieurs années, à une pression anthropique

croissante, principalement due à l'expansion du quartier Koumassi et au développement de sa zone industrielle, entraînant une réduction progressive de sa superficie [1], [2]. Cette dynamique d'urbanisation et d'industrialisation est susceptible d'accroître la concentration de divers contaminants, parmi lesquels les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) occupent une place prépondérante en raison de leur toxicité avérée pour les organismes aquatiques et l'homme, ainsi que de leur utilisation comme indicateurs de la qualité des hydrosystèmes [3]. Les HAP, molécules fortement hydrophobes, présentent une forte affinité pour les particules en suspension, rendant leur élimination naturelle difficile et favorisant leur accumulation dans les sédiments. La baie de Koumassi, utilisée pour la pêche, la baignade, le dragage du sable et la navigation, constitue également un exutoire majeur pour les eaux usées domestiques et industrielles. Des études antérieures ont révélé des teneurs élevées en hydrocarbures totaux et en HAP dans les sédiments de cette baie [4], [5]. La distribution spécifique des différentes familles de HAP reste méconnue, alors même que ces composés représentent une menace environnementale persistante [6]. Conscients des risques liés à la dégradation de la qualité des sédiments de ce plan d'eau pour les écosystèmes et la santé humaine, la présente étude a été initiée afin de caractériser la distribution des concentrations des HAP dans les sédiments de la baie de Koumassi.

2 MATERIEL ET METHODE

La méthodologie mise en œuvre dans cette étude repose sur un échantillonnage des sédiments effectué à l'aide d'une benne en acier inoxydable en dix points stratégiques de la baie, choisis en fonction de la bathymétrie et des zones d'entrée d'eau (Figure 1). Les échantillons prélevés à l'aide d'une spatule en acier sont stockés dans des flacons en verre ambré conservés à environ 4°C avant leur analyse. Une fois au laboratoire, les sédiments sont séchés par lyophilisation et broyés dans un mortier en agate afin de préserver leur intégrité et éviter toute contamination, conformément aux recommandations de [7]. L'extraction des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) est réalisée à partir de cartouches en cellulose nettoyées avec un mélange dichlorométhane/hexane, après ajout d'étalons de recouvrement. L'extrait est purifié par élimination du soufre à l'aide de poudre de cuivre, concentré à l'évaporateur rotatif, puis analysé par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS), selon les protocoles décrits par [8] et [9]. Pour identifier les sources anthropiques des HAP, deux approches ont été utilisées: le calcul des indices aromatiques tels que P/A, Fluo/Pyr, BaA/Chry et LMW/HMW [10], [11], [12], [13], ainsi que l'analyse des rapports caractéristiques comme A/ (A+P), BaA/ (BaA+Chry), IdP/ (IdP+Bper) et Fl/ (Fl+Pyr) [14], [15], [16]. Enfin, l'évaluation de la qualité des sédiments a été effectuée en comparant les concentrations mesurées aux seuils de référence établis par [17], notamment pour les HAP totaux, le chrysène, le fluoranthène et le pyrène, ces critères étant essentiels pour la gestion des sédiments issus du dragage dans un contexte de valorisation ou de risque environnemental.

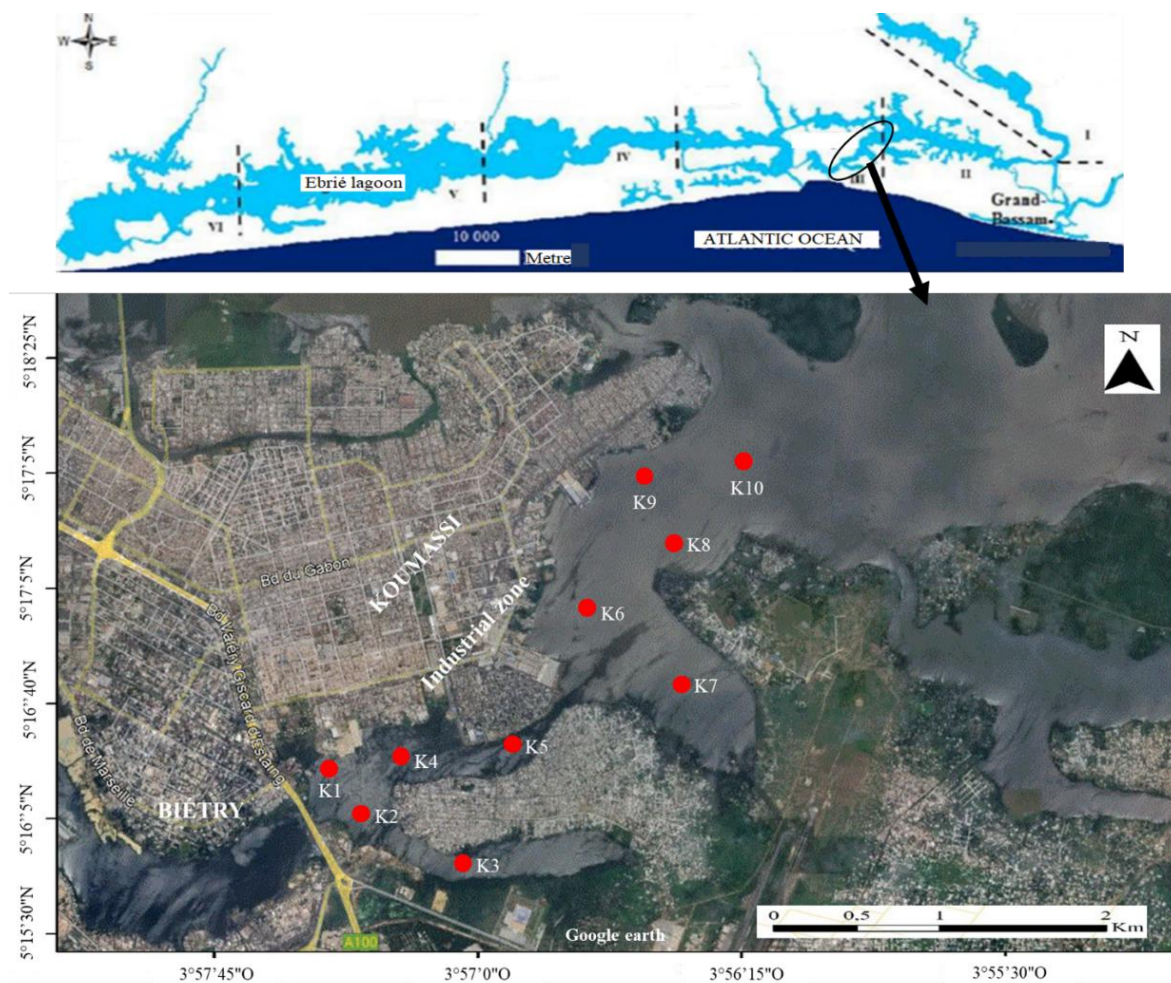


Fig. 1. Points de prélèvement des échantillons de sédiments

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 CONCENTRATION DES HAP DANS LES SEDIMENTS

Les résultats obtenus montrent une distribution hétérogène des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans les échantillons de sédiments prélevés dans la baie de Koumassi. Certains composés ne sont détectés que dans un sous-ensemble d'échantillons, ce qui pourrait refléter une contamination spatialement limitée ou une faible intensité des sources émettrices. Le benzo (a) pyrène et le dibenzo (a, h) anthracène, deux HAP réputés pour leur toxicité et leur caractère cancérigène, ont été identifiés dans quatre échantillons seulement. Leurs concentrations moyennes respectives sont de 0,077 ng/kg et 0,072 ng/kg, avec une dominance du benzo (a) pyrène, dont la teneur moyenne maximale confère une proportion relative de 3,9 % parmi les HAP détectés (Figure 2). Ces valeurs restent cependant relativement faibles comparées à celles observées dans d'autres environnements urbains ou industrialisés. Concernant les autres composés analysés, le phénanthrène, l'indeno (1,2,3-cd) pyrène, le benzo (g, h,i) pérylène ainsi que l'anthracène ont été dosés respectivement dans cinq et six stations. Les concentrations moyennes varient entre 0,026 ng/kg (pour l'anthracène) et 0,059 ng/kg pour l'indeno (1,2,3-cd) pyrène, avec des proportions relatives comprises entre 2,1 % (phénanthrène) et 4,8 % (anthracène). Parmi les dix stations où les analyses ont été réalisées pour un ensemble plus large de composés, les concentrations moyennes du naphtalène, de l'acénaphthylène, de l'acénaphthène, du pyrène, du benzo (a) anthracène, du chrysène, du benzo (b) fluoranthène et du benzo (k) fluoranthène varient de 0,004 ng/kg (naphtalène) à 0,074 ng/kg (benzo (b) fluoranthène). Les proportions moyennes relatives du pyrène, du benzo (b) fluoranthène et du naphtalène sont respectivement 17%; 9,4% et 1,1%. L'acénaphthène affiche une proportion moyenne de 4,7%. Le fluorène et le fluoranthène, quantifiés dans 80 % des échantillons (huit stations), présentent des concentrations moyennes respectives de 0,009 ng/kg et 0,035 ng/kg. Toutefois, le fluoranthène se démarque nettement par sa forte proportion moyenne (22,6 %), enregistrée chez les HAP lourds, ce qui en fait le composé dominant dans les sédiments de la baie. Cette abondance accrue suggère un transport principalement assuré par les eaux de ruissellement, conformément

aux observations rapportées par [18], qui ont identifié le fluoranthène comme un HAP majeur (représentant jusqu'à 21 % des HAP totaux) dans les eaux de ruissellement routier. De plus, cette présence massive de fluoranthène est indicative d'une origine pyrolytique, souvent associée aux gaz d'échappement des véhicules motorisés, selon [19]. Les concentrations totales des HAP oscillent entre 0,016 ng/kg et 0,965 ng/kg, avec une valeur moyenne de 0,400 ng/kg. Ces niveaux demeurent bien en dessous des seuils de qualité des sédiments définis par [17] pour les catégories CER (Concentration d'effets rares), CSE (Concentration seuil produisant un effet), CEO (Concentration d'effets occasionnels), CEP (Concentration produisant un effet probable) et CEF (Concentration d'effets fréquents), notamment pour les HAP les plus représentatifs tels que le chrysène, le fluoranthène et le pyrène. Cette faible contamination globale des sédiments peut être attribuée à plusieurs facteurs: un rejet anthropique limité dans la baie et un dragage régulier des fonds marins, pratiqué pour la valorisation des sédiments dans le secteur de la construction. Ces deux mécanismes semblent contribuer efficacement à limiter l'accumulation des polluants organiques dans la matrice sédimentaire de la baie de Koumassi, ce qui rend ces sédiments peu risqués pour leurs utilisateurs potentiels.

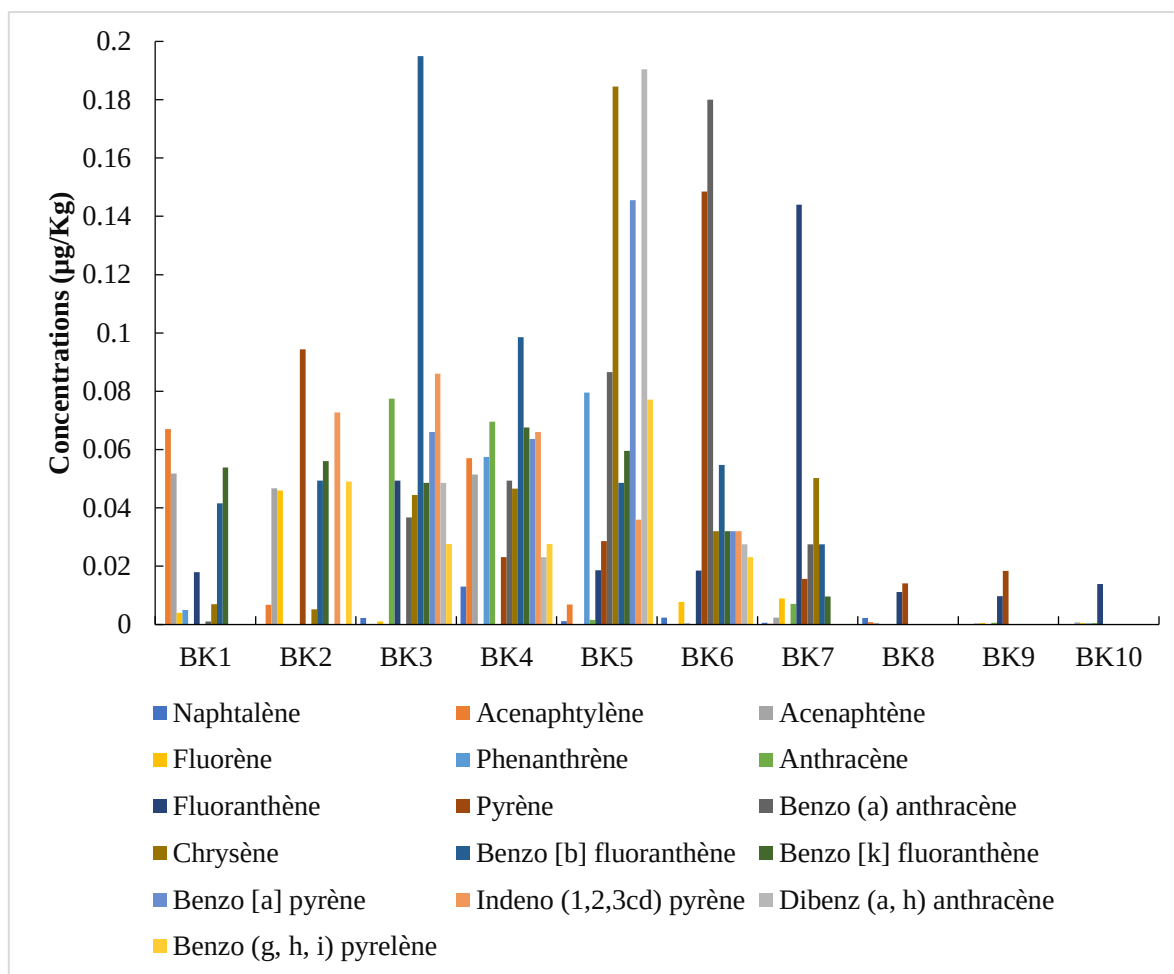


Fig. 2. Concentrations des HAP dans les sédiments

3.2 SOURCES DES HAP DANS LA BAIE DE KOUMASSI

Les rapports calculés à partir des concentrations des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans les sédiments de la baie de Koumassi ont fourni des indications précieuses sur les sources et les mécanismes de dépôt de ces contaminants. Les valeurs moyennes obtenues sont les suivantes: 5,05 pour le rapport P/A (phénanthrène / anthracène), 1,13 pour Fluo/Pyr (fluoranthène/pyrène), 0,87 pour BaA/Chry (benzo (a) anthracène/chrysène) et 0,26 pour LMW/HMW (somme des HAP légers / somme des HAP lourds).

Le rapport P/A, inférieur à 10, est indicatif d'une origine pyrolytique des HAP, confirmant ainsi un apport principalement lié aux processus de combustion incomplète de matières organiques ou de combustibles fossiles. De même, le rapport Fluo/Pyr, supérieur à l'unité, renforce cette interprétation en faveur d'une source pyrolytique, corroborant les résultats précédents.

En revanche, la valeur moyenne du rapport BaA/Chry (0,87), légèrement inférieure à 1, suggère une contribution marginale des sources pétrolières dans la contamination des sédiments. Cette observation pourrait également être liée au transport des HAP via les eaux de ruissellement routier, en raison de la proximité de cette valeur avec celle rapportée dans les études sur les eaux de ruissellement d'autoroutes (0,85), selon [20].

Le ratio LMW/HMW, inférieur à 1, souligne une prédominance des HAP lourds dans les sédiments de la baie, ce qui est caractéristique d'un dépôt atmosphérique issu de sources pyrolytiques, conformément aux observations de [13]. En outre, cette faible valeur pourrait refléter un apport des HAP via les eaux de ruissellement routier, dont la valeur moyenne de ce ratio est estimée à 0,22, d'après [21].

L'analyse des rapports caractéristiques issus des profils isotopiques confirme ces conclusions. Les valeurs moyennes des rapports A/ (A+P), BaA/ (BaA+Chry), IdP/ (IdP+Bper) et Fl/ (Fl+Pyr) sont respectivement de 0,41; 0,26; 0,30 et 0,52 (Figure 3). Le rapport A/ (A+P), inférieur à 0,5, combiné à une valeur de IdP/ (IdP+Bper) comprise entre 0,20 et 0,50, indique que les HAP proviennent majoritairement de processus de combustion, soit des sources pyrolytiques.

Le rapport BaA/ (BaA+Chry), situé entre 0,20 et 0,35, suggère quant à lui une origine mixte des HAP, combinant à la fois des sources pyrolytiques et pétrolières. Enfin, la valeur élevée du rapport Fl/ (Fl+Pyr) (> 0,50) permet d'identifier plus spécifiquement la combustion de biomasse comme une source significative des HAP dans la baie. Cette hypothèse est soutenue par les pratiques courantes des populations riveraines, qui utilisent fréquemment le charbon de bois et le charbon produit à partir de la coque de noix de coco comme substitut au gaz butane, en raison des contraintes économiques.

En somme, l'ensemble des ratios molaires analysés met en évidence une prédominance des sources pyrolytiques dans l'apport des HAP dans les sédiments de la baie de Koumassi, avec une contribution minoritaire des sources pétrolières. Ces résultats sont cohérents avec les activités anthropiques locales et les voies de transfert telles que le ruissellement urbain et routier.

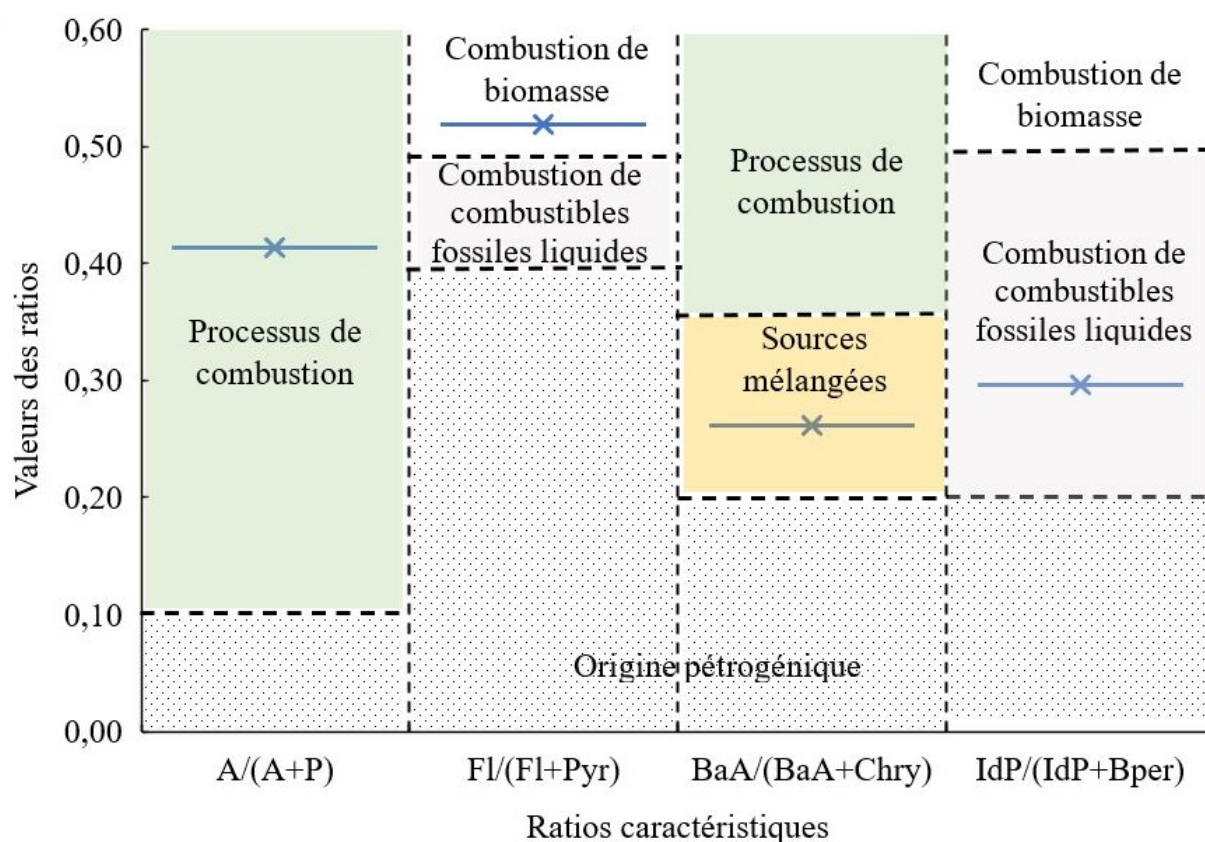


Fig. 3. Sources de HAP dans la baie de Koumassi

4 CONCLUSION

L'étude menée sur la distribution des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans les sédiments de la baie estuarienne de Koumassi a permis d'évaluer leur présence, leur origine et leur niveau de contamination. Dix échantillons de sédiments ont été prélevés selon un plan d'échantillonnage prenant en compte la bathymétrie et les zones d'entrée d'eau. Les analyses réalisées par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS) ont permis d'identifier seize HAP dans les sédiments, avec des concentrations moyennes variant de 0,004 ng/kg pour le naphthalène à 0,077 ng/kg pour le benzo (a) pyrène. Le fluoranthène se distingue comme le HAP majoritaire, représentant 22,6 % de la concentration totale moyenne, ce qui indique une contamination principalement liée aux processus de combustion incomplète. L'analyse des rapports molaires tels que P/A, Fluo/Pyr, BaA/Chry et LMW/HMW, ainsi que les indices caractéristiques A/ (A+P), BaA/ (BaA+Chry), IdP/ (IdP+Bper) et Fl/ (Fl+Pyr), révèle une origine mixte des HAP: pyrolytique (liée à la combustion de biomasse et de combustibles fossiles) et pétrolière (due notamment à des rejets accidentels d'hydrocarbures). En particulier, le rapport Fl/ (Fl+Pyr) supérieur à 0,50 souligne l'importance de la combustion de la biomasse (charbon de bois, charbon de coco) utilisée par les populations riveraines comme source importante de ces contaminants. Les concentrations totales des HAP restent globalement basses, comprises entre 0,016 ng/kg et 0,965 ng/kg, avec une moyenne de 0,400 ng/kg. Ces valeurs sont bien en dessous des seuils de qualité définis par les critères canadiens (CER, CSE, CEO, CEP, CEF) pour les sédiments, indiquant que la pollution par les HAP ne représenterait pas un danger majeur pour l'environnement ou pour les utilisateurs des sédiments dragués pour la construction immobilière. Cette faible accumulation des polluants s'explique probablement par deux facteurs principaux: i) un rejet anthropique limité dans la baie, et ii) un dragage régulier des fonds lagunaires, pratiqué pour valoriser les sédiments, qui contribue à limiter l'accumulation progressive des contaminants.

REFERENCES

- [1] K.E. Ahoussi, Y.B. Koffi, S. Loko, A.M. Kouassi, G.Soro, J. Biemi, 2012. Characterization of metallic trace elements (Mn, Ni, Zn, Cd, Cu, Pb, Cr, Co, Hg and As) in superficial waters of Marcory, Abidjan, Ivory Coast: study of the village of Abia Koumassi. *Geo-Eco-Trop.*, 36, 159-174.
- [2] G.A. Gboudjou, A.F. Adiko, Y.C. Amani, 2022. Perceived impacts of pollution in the Ebrié lagoon and mitigation and adaptation measures for fishermen in the commune of Koumassi (Abidjan, Côte d'Ivoire). *Revue Africaine des Sciences Sociales et de la Santé Publique*, 4 (2), 108-120.
- [3] ONEMA, INERIS, 2014. Origines des HAP dans les milieux aquatiques. Bilan des méthodes d'identification des sources applicables au domaine de l'eau et premier choix des profils caractéristiques appropriés. *Rapport Final*, 34 p.
- [4] M. Marchand, J.L. Martin, 1985. Détermination de la pollution chimique (hydrocarbures, organochlorés, métaux) dans la lagune d'Abidjan (Côte d'Ivoire) par l'étude des sédiments. *Océanographie Tropicale*, 20 (1), 25-39.
- [5] K. Affian, M. Robin, M. Maanan, B. Digbehi, E. Djagoua, F. Kouame, 2009. Heavy metal and polycyclic aromatic hydrocarbons in Ebrié lagoon sediments, Côte d'Ivoire. *Environmental Monitoring and Assessment*, 159 (1-4), 531-541. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0649-9>.
- [6] FZ. Ndadani, F. Zkhir, H. Idali, A. Rachidi, 2016. Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in fish products from the south atlantic coast of Morocco. *J. Mar. Chim. Heterocycl.*, 15 (1), 152-157.
- [7] S. Schiavone, M. Coquery, 2011. Guide d'échantillonnage et de pré-traitement des sédiments en milieu continental pour les analyses physico-chimiques de la DCE. *Rapport de recherche*; IRSTEA, 24 p.
- [8] N. Mzoughi, F. Hellal, M. Dachraoui, J.P. Villeneuve, C. Cattini, S.J. De Morais, A.E. Abed, 2002. Méthodologie de l'extraction des hydrocarbures aromatiques polycycliques. Application à des sédiments de la lagune de Bizerte (Tunisie). *Comptes Rendus Geoscience*, 334 (11), 893-901. [https://doi.org/10.1016/S1631-0713\(02\)01806-1](https://doi.org/10.1016/S1631-0713(02)01806-1).
- [9] CEAEQ, 2016. Détermination des hydrocarbures aromatiques polycycliques: Dosage par chromatographie en phase gazeuse couplée à un spectromètre de masse (MA. 400-HAP 1.1, Rév. 4). Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 21 p.
- [10] H. Budzinski, I. Jones, C. Bellocq, P. Piérard, P. Garrigues, 1997. Evaluation of sediment contamination by polycyclic aromatic hydrocarbons in the Gironde estuary. *Marine Chemistry*, 58 (1-2), 85-97. [https://doi.org/10.1016/S0304-4203\(97\)00017-5](https://doi.org/10.1016/S0304-4203(97)00017-5).
- [11] Z. Wang, M. Fingas, D.S. Page, 1999. Oil spill identification. *Journal of Chromatography A*, 843 (1-2), 369-411. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(99\)00209-3](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(99)00209-3).
- [12] EY., Zeng, C.L. Vista, 1997. Organic pollutants in the coastal environment of San Diego, California. 1. Source identification and assessment by compositional indices of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16 (2), 179-188. <https://doi.org/10.1002/etc.5620160207>.

- [13] G. De Luca, A. Furesi, G. Micera, A. Panzanelli, PC. Pui, MI. Pilo, G. Sanna, 2005. Nature, distribution and origin of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the sediments of Olbia harbor (Northern Sardinia, Italy). *Marine Pollution Bulletin*, 50 (10), 1223-1232. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.04.011>
- [14] MB. Yunker, RW. Macdonald, R. Vingarzan, RH. Mitchell, D. Goyette, S. Sylvestre, 2002. PAHs in the Fraser River basin: A critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition. *Organic Geochemistry*, 33 (4), 489–515. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(02\)00003-4](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(02)00003-4).
- [15] DR. Oros, JRM. Ross, 2004. Polycyclic aromatic hydrocarbons in San Francisco Estuary sediments. *Marine Chemistry*, 86 (3-4), 169–184. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2003.12.002>
- [16] XL. Zhang, S. Tao, WX. Liu, Y. Yang, Q. Zuo, SZ. Liu, 2005. Source diagnostics of polycyclic aromatic hydrocarbons based on species ratios: A multimedia approach. *Environmental Science & Technology*, 39 (24), 9109-9117. <https://doi.org/10.1021/es050628n>.
- [17] Environnement Canada, MDDEPQ, 2007. Critères pour l'évaluation de la qualité des sédiments au Québec et cadres d'application: Prévention, dragage et restauration. 30 p.
- [18] JN. Brown, BM. Peake, 2006. Sources of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban stormwater runoff. *Science of the Total Environment*, 359 (1-3), 145-155. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.05.027>
- [19] JC. Colombo, E. Pelletier, C. Brochu, M. Khalili, 1989. Determination of hydrocarbon sources using n-alkane and polyaromatic hydrocarbon distribution indexes. Case study: Rio de la Plata estuary, Argentina. *Environmental Science & Technology*, 23, 888–894. <https://doi.org/10.1021/es00173a006>.
- [20] MT., Bomboi, A. Hernandez, 1991. Hydrocarbon in urban runoff: Their contribution to the wastewaters. *Water Resource*, 25 (5), 557-565. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(91\)90136-F](https://doi.org/10.1016/0043-1354(91)90136-F).
- [21] CA. Menzie, SS. Hoepfner, JJ. Cura, JS. Freshman, EN. Lafrey, 2002. Urban and suburban storm water runoff as a source of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) to Massachusetts estuarine and coastal environments. *Estuaries*, 25 (2), 165–176. <https://doi.org/10.1007/BF02702005>.

Évaluation du niveau d'application de l'approche par les situations (APS) en apprentissage des sciences dans les écoles secondaires pilotes de MBUJIMAYI

[Evaluation of the level of application of the situational approach (APS) in learning sciences in pilot secondary schools in MBUJIMAYI]

Muya Mulumba Sammy¹, Mpungwe Kazadi Simon², Kasenga Kasenga Charles¹, Tshilongo Mbemba Betsalee³, and Muamba Mpoyi Samuel⁴

¹Assistant, Département des sciences agrovétérinaires, Institut Supérieur Pédagogique de KABEYA KAMWANGA, RD Congo

²Assistant, Département d'orientation scolaire et professionnelle, Institut Supérieur Pédagogique de KABEYA KAMWANGA, RD Congo

³Doctorant en Didactique de Physique, Institut Supérieur des Techniques Informatiques et Appliquées de MBUJIMAYI, RD Congo

⁴Institut supérieur Pédagogique de Kabeya KAMWANGA, Département d'histoire et sciences sociales, RD Congo

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Following the integration of the situational approach (APS) in DRC education system, a study was Undertaken in pilot secondary schools in city of MBUJIMAYI. The objectives of this study were to verify compliance with the standards of this new paradigm among science teachers, to identify the difficulties encountered in the effective implementation of this new reform as well as the methods used by teachers in their teaching - learning.

To do this, a CAP survey was carried out among 54 secondary schools teachers, in order to situate them in relation to APS, in particular APS training, the use of the evaluation grid, the use of the correction grid, the questioning method used in the evaluation of their learners as well as the use of DAS observation grid by their heads of establishment. We were guided in our research by techniques such as analysis, interview and observation.

Problem-situations are used by science teachers in the assessment at an insufficient rate (16,5 %, or 205 cases out of 1246 semester exam questions collected and analyzed), while the items were used at 83,5 % (1041 questions out of 1246 collected). More than 75 % of study perfects are not trained in APS, more than 75 % of science teachers do not provide any methodological information on the teaching sheet and use untimed essential knowledge frameworks. Several efforts remain to be made in order to consolidate this new educational approach.

KEYWORDS: evaluation, situation-based approach, problem-situation, competence, learning.

RESUME: Suite à l'intégration de l'approche par les situations (APS) dans le système éducatif de la RDC, une étude a été entreprise dans les écoles pilotes de la ville de MBUJIMAYI. Cette étude avait pour objectifs de vérifier le respect des normes de ce nouveau paradigme auprès des enseignants de sciences, d'identifier les difficultés qu'éprouve l'implémentation effective de cette réforme ainsi que les méthodes utilisées par les enseignants dans l'enseignement-apprentissage.

Pour ce faire, une enquête CAP a été effectuée auprès de 54 professeurs du secondaire, afin de les situer par rapport à l'APS, notamment la formation en APS, l'utilisation de la grille d'évaluation, l'utilisation de la grille de correction, le mode de questionnement utilisé dans l'évaluation de leurs apprenants ainsi que l'utilisation de la grille d'observation de DAS par leurs chefs d'établissements. Nous avons été guidés dans notre recherche par les techniques telles que l'analyse, l'entretien et l'observation.

Les situations-problèmes sont utilisées par les enseignants de sciences dans l'évaluation à un taux très insuffisant (16,5%, soit 205 cas sur 1246 questions d'examens semestriels récoltées et analysées), alors que les items l'ont été à 83,5% (1041 questions sur 1246 récoltées). Plus de 75 % de préfets des études ne sont pas formés en APS, plus de 75 % d'enseignants des sciences ne font aucune indication

méthodologique sur la fiche pédagogique et utilisent des canevas des savoirs-essentiels non chronométrés. Plusieurs efforts restent à fournir afin de consolider cette nouvelle approche pédagogique.

MOTS-CLEFS: évaluation, approche par situations, situation-problème, compétences, apprentissage.

1 INTRODUCTION

Depuis environ deux décennies, l'approche par compétence (APC) a été confrontée à des multiples critiques négatives, suscitées par l'instauration par ses défenseurs, d'un réductionnisme conceptuel marquant leur appréhension du vocable << Compétence >>, érigeant ainsi la norme de complexité inédite et l'imprévisibilité, ce qui traduit un rejet de toute routine et d'une mobilisation automatisée des connaissances, entraînant des lourdes conséquences tant sur le plan d'enseignement que celui de l'évaluation [13].

Gérald BOUTIN trouve que l'approche par compétence a provoqué un véritable dilemme dans le sens qu'elle exige d'adhérer à une approche de l'efficacité, calquée sur un modèle industriel, au moment où le credo de l'école voudrait le développement de l'apprenant sous tous ses aspects; et que la confusion dans les définitions attribuées au concept « Compétence » offrent un paradoxe même dans l'évaluation de la compétence développée par les élèves [7].

Les travaux de Nico HIRTT ont démontré que l'APC constitue bel et bien un abandon des savoirs, étant donné que ses tenants considèrent la compétence comme étant « une réponse originale et efficace face à une situation ou catégorie des situations, nécessitant une mobilisation » [16].

Le professeur De KETELE avait évoqué la possibilité pour le monde scientifique, de se préparer à un nouveau pas en avant dans un futur proche, qui dépassera la pédagogie par compétence et mènera à un niveau élevé des connaissances [2].

Les études de Domenico MASCIOTRA stipulent que l'objectif général des réformes en éducation reste la formation d'une personne capable, d'une part, d'utiliser les connaissances construites à l'école dans les situations habituelles de la vie quotidienne aussi bien que dans les situations nouvelles et, d'autre part, d'apprendre tout au long de sa vie et que la notion de compétence forme un couple indissociable avec celle de la situation [5].

Face aux imprécisions, au paradoxe et à l'incomplétude éprouvés par l'APC, la conceptualisation devient un palliatif et l'articulation de l'action pédagogique en 3 moments didactiques reste un impératif devant favoriser la mobilisation des connaissances en contexte: Phase de construction des apprentissages en contexte, Phase de décontextualisation ou transfert et enfin, une phase de retour réflexif ou métacognitif sur l'apprentissage [13], [17], [18].

Tous les angles susmentionnés ont conduit les organismes internationaux et scientifiques considérés tant comme visionnaires, géniteurs, législateurs que décideurs des méthodes ainsi qu'approches d'usage en éducation à la mise en place d'une nouvelle philosophie éducationnelle dénommée « Approche par Situations », APS en sigle, à laquelle la République Démocratique du Congo notre pays s'est engagée depuis 2015, notamment par la réécriture des programmes éducatifs du domaine d'apprentissage des sciences (DAS), pour le cycle terminal de l'éducation de base (CTEB) ainsi que pour les humanités scientifiques [4], [14], [15], [22], [23].

Cependant, cette nouvelle vision de l'éducation oblige aux enseignants du DAS de muer leur façon d'élaborer la fiche didactique, de gérer la salle de classe, d'évaluer et de corriger les travaux d'évaluation [17].

Toutefois, une recherche empirique s'avère cruciale dans le contexte où l'on se préoccupe d'améliorer la qualité et l'efficacité de l'éducation, cela en facilitant la régulation de la mise sur pied des pratiques efficaces. Étant donné que ces nouveaux programmes sont entrés en vigueur depuis maintenant cinq ans, nous avons voulu en savoir plus sur le degré d'applicabilité auprès des enseignants qui dispensent les cours dans le domaine d'apprentissage des sciences.

Est-ce que les enseignants de la ville de MBUJIMAYI respectent les exigences de l'APS dans leur prestation ? Quelles sont les réelles difficultés que connaît l'implémentation de l'APS ? Quelles sont les méthodes qu'utilisent les enseignants dans l'apprentissage par APS ?

En réponse à ces questions, nous pensons à priori que « les enseignants de MBUJIMAYI appliqueraient l'APS à un taux insignifiant » ; ensuite, nous estimons que « les enseignants du DAS éprouveraient des difficultés quand à l'application efficace de l'APS ».

Enfin, nous soutenons que les méthodes d'enseignement-apprentissage seraient méconnues par les enseignants du DAS de MBUJIMAYI.

Ainsi, cette recherche se propose d'évaluer le niveau d'application des normes de l'APS par les enseignants, de clarifier les étapes du circuit d'apprentissage exigé par l'APS et de présenter à l'enseignant, le spécimen d'une fiche didactique permettant à l'apprenant de développer les compétences.

2 CADRE CONCEPTUEL

2.1 CONCEPT DE SITUATION-PROBLEME

Au coeur des réformes contemporaines, la notion de compétences forme un couple indissociable avec celle de situation [5]. Ainsi en milieu scolaire, une situation est une construction Ad hoc, s'inspirant des situations de vie des apprenants, afin de leur permettre d'attribuer du sens aux activités qui leur sont proposées en compte salle de classe [17].

La situation se définit également comme étant un ensemble $\pm$ complexe et organisé des circonstances ainsi que des ressources, permettant à une personne de réaliser des tâches, en vue d'atteindre le but qu'elle s'est assigné [18], [24].

Philippe MEIRIEU considère la situation comme une organisation d'un dispositif motivationnel d'apprentissage par l'enseignant, autour d'un obstacle à franchir par la réalisation des tâches [15]. BACHELARD trouve que la situation-problème désigne une situation d'apprentissage conçue par l'enseignant, afin de créer un espace de réflexion et d'analyse autour d'une question à résoudre [15]. En effet, la situation - problème doit intervenir au début du processus pédagogique comme phase de motivation, au cœur du processus comme phase d'acquisition ou de construction de connaissances et en fin du processus comme phase d'évaluation certificative [1], ce qui traduit trois sortes des situations-problèmes respectives: Situation-problème d'enseignement, situation-problème d'intégration ainsi que situation-problème d'évaluation [14], [24].

Néanmoins, la situation doit se constituer de quatre éléments: un cadre spatio-temporel ainsi que socio-culturel dans lequel se trouve la personne et la situation à laquelle elle participe (le contexte); des informations indispensables au traitement de la situation (les ressources); l'élément qui motive l'exécution de la tâche (la circonstance) et les différentes actions que l'élève devra poser en se référant à ses connaissances, aux ressources ainsi qu'à des contraintes de la situation lors de son traitement (les tâches) [20], [24].

Les scientifiques estiment en outre que la bonne situation pédagogique devra porter quatre composantes: des outils, hypothèses ou informations nécessaires que l'apprenant devra manipuler pour parvenir aux résultats (Les objets); des règles, lois, symboles, connecteurs ou applications qui permettront à l'élève de combiner deux ou plusieurs objets afin d'en faire des nouveaux (les opérateurs); des résultats attendus à l'issue d'une combinaison d'objets (les produits) et l'octroi à l'élève de la possibilité de passer les résultats bruts au résumé bien formulé, bien rédigé avec beaucoup de sens (l'habillage) [6].

2.2 CONCEPT DE L'APPROCHE PAR SITUATIONS

De ce fait, les modes habituels de transmission, d'acquisition et de restitution des savoirs sont remis en question, ce qui implique une mutation dans la manière d'un professeur de DAS de concevoir et de mettre en œuvre les situations d'enseignement/apprentissage ainsi que leurs modalités d'évaluation des acquis [18].

L'APS a procédé à la substitution de la leçon par la séquence didactique et de la fiche de préparation par une fiche d'exploitation de la matrice [9], [22] et à une requalification des rôles tant du formateur (professeur) que de l'élève (apprenant), devenus respectivement Concepteur des situations sur lesquelles s'appuiera l'élève pour agir [15], Organisateur des activités d'apprentissage, accompagnateur de chaque apprenant dans le processus constructif des compétences [18] et acteur principal de la construction de ses compétences [22].

Après avoir élaboré une fiche d'exploitation de la matrice, l'APS impose une nouvelle politique de coordination d'une séquence didactique de DAS, articulée autour de 13 étapes devant être respectées dans une salle de classe [6], [9], [17], [21]:

- ✓ Noter la date du jour et la discipline au tableau;
- ✓ Effectuer la vérification des préacquis ou des prérequis;
- ✓ Mentionner le titre du savoirs-essentiel;
- ✓ Noter la situation au tableau et la présenter aux apprenants;
- ✓ Solliciter la lecture tant silencieuse qu'expressive de la situation par les apprenants;
- ✓ Solliciter l'explication de la situation par les apprenants en tenant compte du sexe;
- ✓ Clarifier la situation;
- ✓ Communiquer la compétence que l'on désire développer à ses apprenants;
- ✓ Répartir les apprenants en des sous-groupes;
- ✓ Distribuer les tâches aux différents sous-groupes tout en délimitant temporellement l'atelier;
- ✓ Solliciter la présentation de la production de chaque sous-groupe en plénière;
- ✓ Effectuer des réajustements sur chaque production et constituer progressivement le résumé avec ses apprenants;
- ✓ Vérifier l'efficacité de l'apprentissage assuré.

2.3 ÉVALUATION SELON L'APS

Dans l'appréhension de l'APS, une compétence reste l'exclusif élément devant faire l'objet d'une évaluation et est en effet définie comme l'aboutissement des traitements achevés ainsi que réussis des situations d'une même famille par une personne ou un collectif de personnes dans un contexte déterminé [17], [21].

La compétence est également définie comme un système de connaissances conceptuelles et procédurales, organisées en schémas opératoires et qui permettent, à l'intention d'une famille de situations, l'identification d'une tâche-problème et sa résolution par une action efficace [11].

D'où la nécessité de n'utiliser que l'évaluation authentique, impliquant ipso facto la substitution des tests classiques constitués d'items indépendants par les situations d'évaluation exigeant des productions effectuées en plusieurs étapes, cela à l'aide d'outils et/ou des formes d'interactions sociales caractéristiques d'un domaine donné [11], [19]. Outre sa structuration et sa contextualisation, toute situation d'évaluation devra être accompagnée des consignes devant fournir des orientations ainsi que directives à l'apprenant, afin qu'il puisse la traiter avec succès sans divaguer et éviter toute perte de temps [6].

2.4 GRILLE DE CORRECTION

L'APS demande également à l'enseignant de DAS de muer sa manière de corriger les travaux d'évaluation de ses apprenants, ce qui impose également le recours à la grille de correction [27], un outil pédagogique répondant au souci de standardisation de cette avant-dernière étape de l'évaluation, utilisé dans le seul but de garantir un maximum d'objectivité dans la correction.

Ainsi dans son élaboration proprement dite, le professeur de DAS devra fixer 2 à 3 critères minimaux d'évaluation, qui sont des qualités attendues d'une action ou d'une production des apprenants, sans oublier de présenter 2 ou 3 indicateurs qui conviennent pour chaque critère [11], [24].

De ce fait, nous pourrions prendre le cas d'un enseignant de Biologie, qui voudrait que l'élève de 4^{ème} année des humanités scientifiques soit en même de résoudre rationnellement les problèmes sociaux touchant à l'anatomie et à la physiologie des systèmes reproducteurs humains. Ainsi lors de l'évaluation, ce professeur pourra soumettre ses apprenants à Un exemple de situation évoquant le couple Brown souffrant des cas répétés des grossesses indésirables, mais venu solliciter de l'aide auprès de Mr BRAVENEL, élève de 4^{ème} année des humanités scientifiques de l' EDAP/MULEMBA, et leur demandera de se mettre à la place de cet élève, présenter le protocole à suivre pour mettre fin à ce fléau au sein de cette union conjugale. En effet, l'évaluateur devra utiliser une grille de correction pouvant se présenter de la manière suivante:

École : Classe : 4 ^{ème} SC			
Évaluateur : Sujet: CYCLE MENSTRUEL			
Discipline : BIOLOGIE			
GRILLE DE CORRECTION			
Référent	Critères	Indicateurs	Pondération
Exploitation des méthodes contraceptives	Pertinence	I1. Détermination des moments phares du cycle menstruel	/6 pts
		I2. Présentation des signes de la période de fertilité au couple	/4 pts
Élaboration d'un plan d'action	Cohérence	I1.Exhaustivité logique	/ 5 pts
		I2 . Utilisation correcte du jargon	/ 3 pts
Analyse des cas pratiques	Conseils pratiques	I1. Proposition d'alternatives viables	/5 pts
		I2. Présentation du bien-fondé du format proposé	/2 pts
Note totale :/ 25 pts , soit...../ 10 pts			
EXCELLENT (10-9 pts) , BON (8-7 pts) , SATISFAISANT (6-5 pts) , INSUFFISANT (4-0 pts)			

De tout ce qui précède, il est certain que l'enseignant qui dispense les disciplines de DAS au secondaire puisse modifier sa manière d'enseigner, ses modalités d'évaluation et son système de corriger les travaux d'évaluation.

2.5 METHODES D'APPRENTISSAGE EN APS

À l'instar des autres didactiens, le Professeur José INDENGE Y'ESSAMBALAKA stipule dans son schéma 3, relatif au développement des compétences, qu'en dehors de la conceptualisation et la contextualisation des apprentissages, le développement des compétences exige aussi un développement stratégique, définissant les méthodes, les moyens, les procédés et techniques appropriés, sans oublier de mettre leur timing en œuvre [11].

Pédagogiquement, le professeur du secondaire se trouve dans l'obligation d'indiquer, sur sa fiche didactique, les méthodes et procédés qu'il envisage exploiter dans chaque étape de l'apprentissage qu'il compte animer.

Cependant, nous constatons que les différents guides élaborés relativement aux programmes éducatifs du DAS en vigueur ont placé les enseignants dans une cacophonie, dans la mesure où aucune des fiches d'exploitation des matrices ne fait nullement mention des méthodes ni procédés [21].

Face à cette contrainte, nous pouvons élaborer une fiche didactique ci-dessous, pouvant servir de spécimen aux enseignants devant appliquer l'APS au cycle secondaire de l'éducation:

FICHE N° 10 / ÉCOLOGIE/3ème SC		
Sous-domaine : SVT École: INSTITUT KALUNDU Discipline: ÉCOLOGIE Professeur : Sammy MUYA MULUMBA Sujet : LES GRANDS TRAVAUX Classe: 3ème SC Code: MSVT 5.22 Matériels didactiques : illustrations , vidéos éducatifs , photos Documents consultés : • MINEPST(2021), Programme Éducatif du DAS: SVT 3 ème AHSC, DIPROMAD, Kinshasa • Emmanuelle COSSE(2017) , Guide de la modernisation du contenu du plan local d'urbanisme, ECOLABEL , Paris COMPÉTENCE: Après avoir réalisé les activités qui seront proposées, l'élève devra être en mesure de traiter avec succès et de manière acceptable, toutes les situations de la vie quotidienne ayant trait à l'utilité ainsi qu'aux inconvénients de grands travaux. SITUATION : Dans des milieux ruraux, les cases sont parsemées pêle-mêle, alors qu'en villes par contre, les infrastructures modernes et durables sont prévues : Écoles, jeux , marchés, routes , immeubles, etc... sont mis en place. Cette organisation et cet aménagement des espaces urbains présente des impacts négatifs sur l'environnement. L'enseignant de SVT 3ème AHSC du complexe scolaire MULAMI MUIIMPE demande à ses élèves de dégager les effets néfastes du modernisme sur les écosystèmes.		
Timing	Activités du professeur	Activités de l'apprenant
5 min	* Procédé interrogatif de contrôle . Expliquez le concept << modernisme>> . Que signifie << Moderne>> ?	I. ACTIVITÉS INITIALES 1. Révision R/ Modernisme traduit une tendance à se détacher du traditionnel, en vue de d'adopter ce qui est moderne.
20 min	* Procédé expo-interrogatif . Présenter la situation . Solliciter la lecture de la situation . Solliciter l'explication de la situation . Clarifier la situation présente	R/ Moderne désigne ce qui est actuel, avancé, perfectionné ou ce qui témoigne un progrès au sein d'un domaine 2. Décryptage de la situation . Observation de la situation . Exécution de la lecture de la situation . Explication de la situation
25 min	* Étude des cas et Brainstorming . Le professeur organisera la salle de classe en sous-groupes. . Pendant ± 10 minutes, que chaque groupe localise les zones où s'exécutent les grands travaux et dégage leurs impacts tant positifs que négatifs sur l'environnement, le social et l'économie.	. Appréhension du contexte de la situation II. ACTIVITÉS PRINCIPALES 1. MISE EN ACTIVITÉS DES ÉLÈVES . Les élèves constitueront des sous-groupes et chacun de ces groupes désignera ses animateurs. . Explorer les zones d'exécution des grands travaux sur la ville de MBUJIMAYI. . Ressortir l'impact positif et négatif de chaque grand travail.
10 min	* Procédé hypothético-déductive 1. Énumérez ± 5 grands travaux exécutés ou en cours d'exécution sur la ville de MBUJIMAYI. 2. Dégageons ±3 effets positifs de ces 5 travaux sur notre vie 3. rassortissez trois effets néfastes de ces travaux sur notre vie.	2. PRÉSENTATION DES RÉSULTATS R/ - la construction des châteaux d'eau dans certaines communes ; - l'implantation des lampadaires ; - la construction de l'aéroport de Bipemba aux standards internationaux ; - La mise en valeur du terrain de pépinière MBUJIMAYI. R/ - Ils embellissent notre ville
30 min	* Méthode interro-inductive . Définissez les grands travaux. . Donnez-nous quelques exemples des grands travaux	- ces travaux permettent une forte circulation des capitaux. R/ - Ces travaux entraînent des pollutions atmosphériques; - Ces travaux rendent le coût de vie très chère ; - Ces travaux peuvent aussi générer des conflits sociaux.

10 min	. Dégagez l'impact des grands travaux sur l'environnement. . Présentez l'impact des grands travaux sur la vie sociale. . Relevez l'impact des grands travaux sur l'économie de la zone de leur exécution. * Procédé interrogatif de contrôle Après avoir échangé avec son professeur d'écologie sur les inconvénients des grands travaux sur l'environnement, l'élève DARVY de 3^{ème} SC demande à son collègue de proposer ± 4 astuces que l'on peut mettre en place, en vue de prévenir les conflits sociaux.	III. SYNTHÈSE LES GRANDS TRAVAUX 1. Définition Les grands travaux sont des ouvrages de construction, d'aménagement ou d'entretien des infrastructures à intérêt communautaire. 2. Exemples - Installation des panneaux de signalisation routière ; - Construction d'un réseau d'approvisionnement en eau potable ; - Construction des ponts, routes et immeubles ; - Pose de la gaine téléphonique ; - Réalisation d'une station d'épuration des eaux usées ; - Implantation d'un réseau d'assainissement. 3. Impact des grands travaux 3.1. Impacts environnementaux - l'amendement des paysages en offrant la possibilité de tourisme, de loisir et en présentant une valeur esthétique ; - l'instauration d'une culture d'élimination des déchets ; - la sécurisation du pays par protection de la population et de ses biens contre les risques ainsi que les catastrophes naturelles ; - Les pollutions atmosphériques et édaphiques ainsi que leurs corollaires. 3.2 Impacts sociaux - L'octroi des conditions viables dignes des humains ; - L'augmentation du coût de vie ; - la mutation du mode de vie ; - le changement de la compréhension et de l'appréhension ; - l'exposition à des conflits sociaux. 3.3 Impacts économiques - La facilité de mobilité des personnes et des marchandises ; - La diminution du prix et de la durée des déplacements ; - La multiplication des services à base d'électricité ; - L'amélioration de la qualité nutritionnelle. IV ACTIVITÉS DE CONTRÔLE
--------	---	---

3 MATÉRIELS ET MÉTHODOLOGIE

3.1 MATÉRIELS

Le matériel utilisé dans ce travail est constitué d'un questionnaire auto-administré adressé aux enseignants dispensant les cours dans le domaine d'apprentissage des sciences (DAS), des questionnaires qui avaient servi à ces derniers d'évaluer leurs apprenants aux examens semestriels et ensuite les fiches d'inspection pédagogique qu'utilisent les chefs d'établissement scolaires.

3.2 MÉTHODOLOGIE

Dans l'optique d'apporter des éléments de réponse à nos questions de recherche, nous avons élaboré un questionnaire structuré en 3 parties: la première vise l'obtention des renseignements sur l'école, la deuxième fournit des informations sur l'enseignant du DAS et en fin la troisième évalue l'application de l'APS en classe. Notre échantillon est constitué de 54 enseignants qui dispensent les cours de 2023 à 2025.

Toutefois, l'appréciation analytique des questionnaires d'examens récoltés dans les directions des écoles s'est réalisée à travers la grille d'observation suivante:

4 EXCELLENT	- Le questionnaire porte au moins 75 % des situations-problèmes ; - Le professeur utilise les grilles d'évaluation et de correction ; - Les chargés d'inspection pédagogique utilisent la grille de DAS; - Les situations-problèmes ont la structure complète ; - Les canevas des savoirs-essentiels tiennent compte du timing
3 TRÈS BON	- Le questionnaire possède au minimum 50% des situations-problèmes ; - Le professeur utilise les grilles d'enseignement-apprentissage ; - Les chargés d'inspection pédagogique utilisent la grille de DAS ; - Les canevas des savoirs-essentiels sont existants .
2 Passable	- Le questionnaire comporte 50% des situations-problèmes ; - Le professeur utilise la grille d'évaluation - Les chargés d'inspection pédagogique utilisent la grille de DAS.
1 Insignifiant	- Les questionnaires portent moins de 50% des situations-problèmes ; - Les professeurs n'utilisent pas les grilles d'enseignement-apprentissage ; - Les chargés d'inspection pédagogique n'utilisent pas la grille de DAS ; - Les canevas des savoirs-essentiels ne sont pas chronométrés.

3.3 MILIEU

La situation des établissements scolaires dans lesquels notre recherche a été menée peut être donnée à travers le tableau ci-dessous:

N°	DÉNOMINATION	RÉSEAU	CRÉATION	ADRESSE PHYSIQUE	COORDONNÉES GÉOGRAPHIQUES
1	INSTITUT KALUNDU	KIMBANGUISTE	1976	N°75 ,Av.KANSI , Q.MULEKAYI C.BIPEMBA	S6°7'1.51"(LAT) E23°35'9.00"(LON)
2	INSTITUT EDAP/MULEMBA	NON CONVENTIONNÉ	1967	N° 49 ,Av.CATHEDRALE , Q.BONZOLA, C.KANSI	S6°8'15.77"(LAT) E23°36'24.79"(LON)
3	ÉCOLE POLYTECHNIQUE PROF LUMANU	PRIVÉ AGREE	2011	N° 11, Av.MBALA MUAMBILA BANTU , Q.MUDIBA, C.KANSI	S6°7'1.25"(LAT) E23°35'0.42"(LON)
4	COLLÈGE. SAINT LEON 1	PRIVÉ AGRÉÉE	2005	N°1, Av.KANSI ,Q.MULEKAYI ,C.BIPEMBA	S6°7'27.89"(LAT) E23°34'33.64"(LON)
5	INSTITUT DE DIULU	PROTESTANT	1972	N° 15 ,Av. BLVD LD KABILA , Q.NKASHAMA 1 , C.DIULU	

4 RESULTATS

4.1 PROVENANCE DES ENQUETES

Le tableau ci-dessous démontre que 94, % de nos enquêtés soit 51 cas sur 54 sont des hommes et que la proportion des sujets féminins est de 5,6% soit 3 cas sur 54, 27,8% de nos enquêtés soit 15 enseignants sur 54 proviennent de l'EDAP/MULEMBA, 24,4% soit 13 sur 54 du Collège SAINT LEON 1, 20,4% soit 11 professeurs sur 54 sont de l'EP PROF LUMANU, 14,8% soit 8 sur 54 de l'Institut KALANDU et 12,9 % d'enseignants soit 7 sur 54 viennent de l'institut de DIULU.

N°	ÉCOLE	EFFECTIF		TOTAL	%
		HOMMES	FEMMES		
1	INST KALUNDU	8	0	08	14,8
2	I.EDAP/MULEMBA	13	2	15	27,8
3	EP PROF LUMANU	10	1	11	20,4
4	COL . SAINT LEON 1	13	0	13	24,1
5	INST DE DIULU	7	0	07	12,9
TOTAL		51	03	54	100

4.2 QUALIFICATION DES ENSEIGNANTS ENQUETES

Répartition des professeurs de DAS en fonction de leur qualification

QUALIFICATION	EFFECTIF	%
LA	39	73,6
L2	1	1,9
G3	14	25,9
TOTAL	54	100

À la lecture de ce tableau, nous constatons que 73,6% des enseignants de DAS enquêtés, soit 39 cas sur 54 possèdent le diplôme du deuxième cycle d'enseignement supérieur en pédagogie appliquée, 1,9 % soit 1 sujet sur 54 a obtenu son diplôme du deuxième cycle universitaire en dehors de l'ISP et 25,9% des enquêtés soit 14 cas sur 54 n'ont que le diplôme du premier cycle universitaire en pédagogie appliquée.

4.3 REPARTITION DES ENSEIGNANTS SELON LES SOUS-DOMAINES DE DAS

SD DAS	INST KALUNDU	EDAP MULEMBA	EP PROF LUMANU	C.S LEON 1	INST. DE DIULU	TOTAL	%
SD SVT	3	5	3	4	2	17	31,5
SD MATH	3	6	6	7	1	23	42,6
SD SPTT	2	4	2	2	4	14	25,9
TOTAL	8	15	11	13	7	54	100

Les résultats de ce tableau démontrent que 31,5% de nos enquêtés soit 17 professeurs sur 54 sont spécialisés en sciences de vie et de la terre (SVT), 42,6 % en Mathématiques, soit 23 enquêtés sur 54, alors que 25,9 % soit 14 enseignants sur 54 appartiennent au sous-domaine des sciences physiques, technologie et Technologies de l'information (SPTT).

4.4 FORMATION DES ENSEIGNANTS EN APS

Du tableau ci-dessous, on s'aperçoit que 66,7% des enseignants de notre échantillon, soit 36 cas sur 54 avaient suivi la formation sur l'approche par situation (APS) et 33,3% soit 18 enquêtés sur 54 n'ont jamais suivi une formation en APS.

RÉPONSE	EFFECTIF	%
Oui	36	66,7
Non	18	33,3
TOTAL	54	100

4.5 FORMATION DES CHEFS D'ETABLISSEMENT EN APS

Position des préfets des études au sujet de leur formation en APS

REPNSE	EFFECTIF	%
Oui	1	20
Non	4	80
Total	5	100

À la lumière de ce tableau, on constate que 80 % des chefs d'établissement scolaires (préfets des études), soit 4 sujets sur 5 n'ont jamais été formé et/ou suivi une formation en approche par situation (APS) et 20 % des préfets soit 1 cas sur 5 avaient bénéficié d'une formation en APS.

4.6 QUESTIONS ISSUES DE NOTRE ENQUETE

Le tableau ci-dessous démontre que 20,8 % des questions issues de notre enquête, soit 259 sur 1246 proviennent de l'institut KALUNDU, 16,8% soit 209 de l' EDAP/MULEMBA, 19,3 % soit 241 de l'école polytechnique du Prof LUMANU, 34,9 % soit 435 sur 1246 viennent du collège Saint Léon 1 et 8,2% soit 102 de l'institut de DIULU.

ECOLE	SVT	SPTT	MATH	TOTAL	%
I.KALUNDU	92	77	90	259	20,8
EDAP/MULEMBA	95	50	64	209	16,8
EP LUMANU	76	56	109	241	19,3
C.S.LEON 1	112	168	155	435	34,9
I.DE DIULU	29	21	52	102	8,2
TOTAL	404	372	470	1246	100

4.7 PRATIQUE DE L'APS EN CLASSE

Modes de questionnement utilisés dans l'évaluation à travers les examens semestriels

SD DAS	SITUATIONS		ITEMS	
	Effectif	%	Effectif	%
SVT	49	23,9	298	28,6
SPTT	101	49,3	285	27,4
MATH	55	26,8	458	44
TOTAL	205	100	1041	100

De ce tableau, on constate que 16,5% soit 205 questions sur 1246 récoltées dans les cinq écoles étaient sous forme des situations-problèmes et 83,5 % des questions collectées, soit 1041 questions sur 1246 étaient sous forme des items.

Utilisation de la grille d'évaluation

OBSERVATION	EFFECTIF	%
Utilisée	3	5,6
Non-utilisée	51	94,4
Total	54	100

Ce tableau démontre que 5,6 % des enseignants enquêtés, soit 3 cas sur 54 font usage de la grille d'évaluation, alors que 94,4% des enseignants enquêtés, soit une proportion de 51/54 n'utilisent pas la grille d'évaluation.

Usage de la grille de correction

OBSERVATION	EFFECTIF	%
Existante	2	3,7
Inexistante	52	96,3
TOTAL	54	100

Ce tableau atteste que 3,7 % des enseignants enquêtés font usage de la grille de correction des différentes productions des élèves et 96,3%, soit 52 enquêtés sur 54 enseignants ne connaissent même pas l'existence de ce crucial outil d'évaluation.

Utilisation de la grille pédagogique de DAS par les préfets

OBSERVATION	EFFECTIF	%
Exécution	1	20
Non-exécution	4	80
TOTAL	5	100

Il se dégage de la lecture de ce tableau que, la grille pédagogique de DAS n'est utilisée dans l'inspection pédagogique des enseignants de notre échantillon que par 1 préfet des études, soit 20 %, et 80 % des préfets d'écoles de notre échantillon, soit 4 cas sur 5 ne font aucunement usage de ladite grille.

5 DISCUSSIONS DES RESULTATS

Ce travail s'est focalisé sur l'évaluation du niveau d'application de l'approche par situations en apprentissage de DAS dans la prestation de 54 professeurs du secondaire avec comme objectifs, la vérification de l'emploi des normes de l'APS par les enseignants des sciences, l'identification des difficultés qu'éprouvent ces enseignants pour appliquer efficacement l'APS ainsi que l'identification des méthodes utilisées dans l'enseignement-apprentissage des sciences.

La connaissance de ces paramètres didactiques présente de l'importance dans l'instauration effective des réformes pédagogiques et dans l'adaptation de tous les acteurs éducatifs à la philosophie devant favoriser effectivement la construction des compétences non didactiques par les apprenants [1], [3], [7], [11], [15], [19].

Les résultats obtenus montrent que les items constituent le principal mode de questionnement employé par les enseignants des sciences dans l'évaluation. Les items ont présenté une teneur de 83,5 %, alors que les situations-problèmes n'ont été utilisées qu'à 16,5 %.

Nos résultats montrent également que plus de 75% d'évaluateurs n'utilisent pas la grille d'évaluation ainsi que celle de correction, plus de 75% des préfets des études n'ont jamais bénéficié d'une formation sur l'approche situationnelle (APS) et inspectent leurs enseignants des sciences avec une fiche de la pédagogie par objectif (PPO) sans faire recours à la grille d'observation pédagogique de DAS.

Nos résultats montrent aussi que les enseignants ont des difficultés dans l'identification des méthodes d'enseignement-apprentissage et n'en font mention sur leurs fiches d'exploitation des matrices, et que plus de 80 % d'enseignants de ce domaine n'ont pas des canevas des savoirs-essentiels non chronométrés.

Il y a lieu de constater que résultats trouvés dans ce travail corroborent avec les observations de l'équipe du Professeur José INDENGE, dans le sens qu'ils attestent une multitude des difficultés éprouvées par les enseignants des sciences dans la construction des situations tant d'apprentissage que d'évaluation, le timing des séquences didactiques, la maîtrise du lien entre les situations virtuelles et les situations réelles de la vie courante, la confection des diverses banques des situations [11].

6 CONCLUSION

Ce travail a permis de vérifier le degré d'application des normes de l'APS par les enseignants des sciences du secondaire et d'identifier les difficultés qu'ils éprouvent encore. Il ressort de cette étude que l'approche par situation est appliquée à un taux insignifiant et que beaucoup d'efforts restent encore à déployer pour pallier aux lacunes qu'éprouvent la quasi-totalité d'organismes d'enseignement-apprentissage.

Par conséquent, nous suggérons ce qui suit:

- Les experts en APS du ministère national de l'éducation doivent organiser une << Formation située >> de tous les inspecteurs de l'enseignement secondaire;
- Les inspecteurs formés en APS doivent tenir des cascades de formations objectives des enseignants et leurs préfets ainsi que directeurs des études en APS;
- Les préfets et directeurs des études doivent rompre avec l'ancienne fiche de visite pédagogique des enseignants des sciences et s'adapter à la nouvelle grille de DAS;
- Les enseignants doivent s'adapter aux exigences de l'APS tant dans l'apprentissage, l'évaluation que la correction, afin de consolider la réforme.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont à l'endroit de Noé NDALA KASANDA, Doctorant à l'Université Pédagogique Nationale de la RD Congo et Chef des travaux à l'Institut supérieur Pédagogique pour son encadrement scientifique dans le domaine de l'évaluation des apprentissages scolaires. Nos gratitude vont également à l'endroit de Monsieur JEEF CIKUNA CIBUYI, Biologiste et expert en APS pour toutes ses orientations ayant frayé le chemin à des recherches de ce domaine.

REFERENCES

- [1] Alice MORTAGNE (2004), La pédagogie par situations-problèmes: modélisation d'une démarche, CEFEMEN, Rhône.
- [2] Anne FROIDEVEAUX (2013), Les tâches complexes et leur évaluation: Entretien avec Jean-Marie De KETELE, Journée d'étude en évaluation, NEUCHÂTEL.
- [3] Bernard REY (2015), Peut-on évaluer les compétences scolaires ? Recherche N° 63, Université libre de Bruxelles.
- [4] Chloé GUYARD ! (2017), La pédagogie par situations-problèmes, Mémoire de Master, École supérieure du professorat de l'éducation, Paris.
- [5] Domenico MASCIOTRA & Al. (2010), Vers une approche située en éducation: réflexions, pratiques, recherches et standards, ed ACFAS, Montréal.
- [6] Frédéric GUINEPAIN (2017), Enseigner et évaluer les compétences, Académie de Versailles.
- [7] Gérald BOUTIN (2004), L'APC en éducation: un amalgame paradigmatique, éd. CONNEXIONS, Vol 81, N° 1, Paris.
- [8] Idrissa ASSUMANI & Al. (2009), Enseignement, Apprentissage et Évaluation selon l'approche par compétence, SERNAFOR, Kinshasa.
- [9] Jacques TARDIF (2006), L'évaluation des compétences, éd INJEP, Paris.
- [10] Jean-Marie De KETELE (2005), La validation des épreuves d'évaluation selon l'APC: Mesure et Évaluation en éducation, éd De BOECK, Bruxelles.
- [11] José INDENGE M.& Al. (2023), Défis des approches par situation (APS) et par compétences (APC) dans le processus d'enseignement-apprentissage: cas de la logique-math au CTEB, An.UNIGOM, XIII, 1.
- [12] Linda ALLAL (2000), Acquisition et Évaluation des compétences en situations scolaires, éd De BOECK, Genève.
- [13] Marcel CRAHAY (2006), Dangers, incertitudes et incomplétude de la logique de la compétence en éducation, Revue française de la pédagogie.
- [14] Mohamed HADDAR (2021), L'apport de la pédagogie par les situations-problèmes à l'enseignement-apprentissage du français langue étrangère, ESEF, N° 5.
- [15] Mohamed NTAWA (2008), L'apprentissage par situations-problèmes, éd LUMIÈRES.
- [16] Nico HIRTT (2009), L'approche par compétences: une mystification pédagogique, N° 39, APED, Bruxelles.
- [17] Philippe JONNAERT & Al. (.2010), Approche par situations: Matrice du traitement compétent des situations, CUD-UQAM, N ° 5, Québec.
- [18] Philippe PARMENTIER & Al. (2002), En quoi les situations d'enseignement/apprentissage favorisent-elles la construction de compétences ? éd GRIFED, Université catholique de Louvain.
- [19] Philippe PERRENOUD (2004), Évaluer les compétences, N° Spécial, Note en pleine évaluation, Genève.
- [20] Pierre VERMERSCH & Al. (2021), Module de SVT: Atelier de formation des encadreurs pédagogiques, ABIDJAN.
- [21] Simon NSIALA & Al. (2018), Module de formation des enseignants à l'utilisation des programmes éducatifs du DAS au cycle terminal de l'éducation de base et aux humanités scientifiques, SERNAFOR, KINSHASA.
- [22] Stéphane CYR & Al. (2016), Analyse d'un projet pilote d'intégration d'une approche par les situations dans l'éducation de base de la République Démocratique du Congo, Comparative and international Education/Étude. Comparée et internationale, vol 45, ISS3, article 4.
- [23] Raissa MALU (2017), Deux approches innovantes en matières d'enseignement des sciences en RDC: le PEQPESU et la SST, Bulletin des sciences, Académie royale des sciences d'outre-mer.
- [24] Xavier ROEGIERS (2006), La pédagogie de l'intégration en bref, ed TALA 1, Rabat.
- [25] Aissa HAMOUCHI et Al. (2008), L'enseignement au Maroc, de l'APO à l'APC: Points de vue des enseignants, éd RADISMA, B.I.E-UNESCO.
- [26] Peter IVAN FELLEGI (2023), Méthodes et Pratiques d'enquête, N° 12-587-X au catalogue, OTTAWA.
- [27] Jacques ST-ONGE & Al. (2001), Les grilles d'évaluation critériées: Petite histoire du développement du modèle Victoriavillois, Vol 15, N° 2, Pédagogie Collégiale, Québec.

Les petites et moyennes entreprises des zones semi-arides ouest africaines face au changement climatique: Cas du Sénégal

[Small and Medium-Sized Enterprises in the West African Semi-Arid Zones Facing Climate Change: The Case of Senegal]

Mamadou Diop

Institut des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Senegal

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study analyses the reactions small and medium-sized enterprises' managers to the adverse effects of climate in Senegal's semi-arid zones and the difficulties they face in adapting to climate risks. A mixed methodological approach was used, comprising a review of relevant documents and a field survey using a questionnaire administered to SMEs managers. The survey involved 161 SMEs managers in three regions of the country. SMEs were selected using a mixture of random and snowball sampling methods. The results of the study showed that 91% of SMEs are affected by adverse climatic conditions, including rainfall deficits, extreme heat, exceptional rainfall and flooding. 70% of them do not have a plan to deal with climate risks. In spite of all this, economic players have gone to great lengths to take measures to adapt, but their efforts are limited by a lack of support from the public authorities, etc. To this end, substantial political and financial efforts are needed to promote a favorable environment for SME adaptation.

KEYWORDS: small and medium-sized enterprises, climate change, vulnerability, adaptation, semi-arid zones, Senegal.

RESUME: Cette étude analyse les réactions des gestionnaires des Petites et moyennes entreprises (PME) face aux effets adverses du climat en zones semi-arides (ZSA) du Sénégal ainsi que les difficultés auxquelles ils font face dans leurs efforts de s'adapter aux risques climatiques. Pour ce faire, une approche méthodologique mixte comprenant une revue des documents pertinents et une enquête de terrain par le biais d'un questionnaire administré aux responsables de PME a été utilisée. Elle a été menée auprès de 161 responsables de PME dans trois régions du pays. Les PME ont été sélectionnées par le biais d'un mélange de méthodes d'échantillonnage aléatoire et de boule de neige. Les résultats de l'étude ont montré que 91 % des PME sont affectées par des conditions climatiques défavorables notamment le déficit pluviométrique, la chaleur extrême, les pluies exceptionnelles et les inondations. 70 % d'entre elles ne disposent pas d'un plan pour faire face aux risques climatiques. En dépit de tout ceci, les acteurs économiques se sont évertués à prendre des mesures pour s'adapter, cependant, leurs efforts sont limités par le manque d'appui du pouvoir public, etc. A cet effet, des efforts politiques et financiers substantiels sont nécessaires pour la promotion d'un environnement favorable à l'adaptation des PME.

MOTS-CLEFS: petites et moyennes entreprises, changement climatique, vulnérabilité, zones semi-arides, Sénégal.

1 INTRODUCTION

Le changement climatique est considéré comme le plus grand défi environnemental auquel le monde d'aujourd'hui est confronté [1], [2], [3]. Ses effets adverses menacent tous les pays, mais plus particulièrement ceux en développement [4]. Ces derniers sont nettement plus vulnérables aux effets préjudiciables du changement climatique en raison, notamment, de leur

dépendance accrue aux ressources naturelles, à leur appartenance à des régions géographiquement vulnérables ainsi qu'à l'indisponibilité des ressources financières, technologiques et humaines permettant de BIT [5], [6]. En Afrique subsaharienne qui est une région naturellement fragile, la plupart des pays sont touchés par la hausse des températures, les sécheresses, l'avancée de la mer et le dérèglement des rythmes saisonniers [7], [8], [9]. Avec des économies fortement dépendantes des ressources naturelles et confrontées aux défis de l'éradication de la pauvreté [10], [11], ces pays ont aussi la particularité d'avoir une très grande majorité des emplois et des sources de revenus provenant essentiellement des Petites et Moyennes Entreprises (PME), qui jouent de surcroît un rôle central dans l'approvisionnement en produits de base et la subsistance de la population [12], [13], [14], [15]. En effet, les PME génèrent les deux tiers de l'investissement de cette partie du continent, 75 % de sa production économique, 90 % de son emploi formel et informel et pèsent environ 25 % du produit intérieur brut-PIB [16], [17], [18], [12], [19].

Au Sénégal, le secteur privé joue un rôle essentiel dans la croissance et le développement économique du pays vu sa contribution dans la création de richesses et d'emplois [20], [21], [22], [23]. Selon les données du Ministère sénégalais du commerce, les PME constituent près de 90 % du tissu économique du pays [25], [22]. Elles contribuent à hauteur de 20 % au PIB et représentent 40 % de l'emploi, 42 % dans la création de richesse, 36 % du chiffre d'affaires national et 33 % de la valeur ajoutée [24], [20], [25]. Cette contribution est encore plus marquée dans les zones semi-aride (ZSA) du Sénégal. Dans ces zones, les PME très représentées dans le tissu industriel local, appartiennent essentiellement au secteur informel et sont caractérisées par une très grande précarité des conditions d'exercice de leurs activités. Ceci, dans un environnement peu favorable et particulièrement affecté par le changement climatique [26], [27], qui impacte sur des PME peu résilientes.

Certes, des recherches sur l'adaptation ont été menées sur les ménages et les communautés, en particulier en ZSA du Sénégal [28], [29], [30], mais très peu d'études se sont intéressées au secteur privé local, plus particulièrement aux PME dans un contexte de changement climatique. En effet, il existe très peu d'informations sur la manière dont les PME sont affectées par le changement climatique, les réponses qu'elles tentent d'apporter, les obstacles auxquels elles font face. Autant d'informations scientifiques nécessaires pour mieux soutenir les PME dans leur adaptation et par-delà, soutenir le développement des ZSA. C'est dans un souci de contribuer à combler un tel gap que cette présente étude analyse la vulnérabilité des PME des ZSA face au changement climatique et les réponses proposées en termes de stratégies pour y faire face ainsi que les difficultés auxquelles ces PME font face dans leur volonté de s'adapter aux risques climatiques.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1 MILIEU D'ÉTUDE

L'étude a été menée dans les ZSA du Sénégal plus particulièrement dans les régions de Kaolack, Louga et Saint-Louis (figure 1). Ces régions situées à l'intérieur du pays sont caractérisées par un climat de type soudano-sahélien avec une pluviométrie moyenne de 600 mm à Kaolack et de 300 mm de pluies par an à Louga et Saint-Louis. Les températures moyennes annuelles varient de 18 °C à 40 °C de décembre à mai et de 25 °C à 29 °C d'avril à novembre [31], [32], [33].

De façon globale, l'économie de ces régions est peu dynamique comparé à celle d'autres régions comme Dakar et Thiès car rarement tournées vers les secteurs d'activités modernes à forte valeur ajoutée [34]. Au contraire, elle repose essentiellement sur l'agriculture et l'élevage qui emploient autour de 80 % de la population active [35]. Le commerce est relativement dynamique et reste principalement lié à la commercialisation des produits issus du secteur primaire (arachide, mil, produits de l'élevage, etc.). Le tourisme et la pêche constituent aussi des activités économiques essentielles notamment dans la région de Saint-Louis [36]. Dans ces régions semi-arides, le développement des secteurs d'activités des entreprises reste encore timide [37], [25]. Le secteur privé moderne voire formel est constitué principalement d'unités industrielles de transformation de produits agricoles, d'exploitation du sel, d'huileries et de prestation de services [14], [36], [38], [39]. Le secteur privé informel – grand pourvoyeur d'emplois et souvent constitué d'entreprises de petite taille – est plus orienté sur les activités de production (agriculture et élevage), le commerce, l'artisanat et la transformation [40].

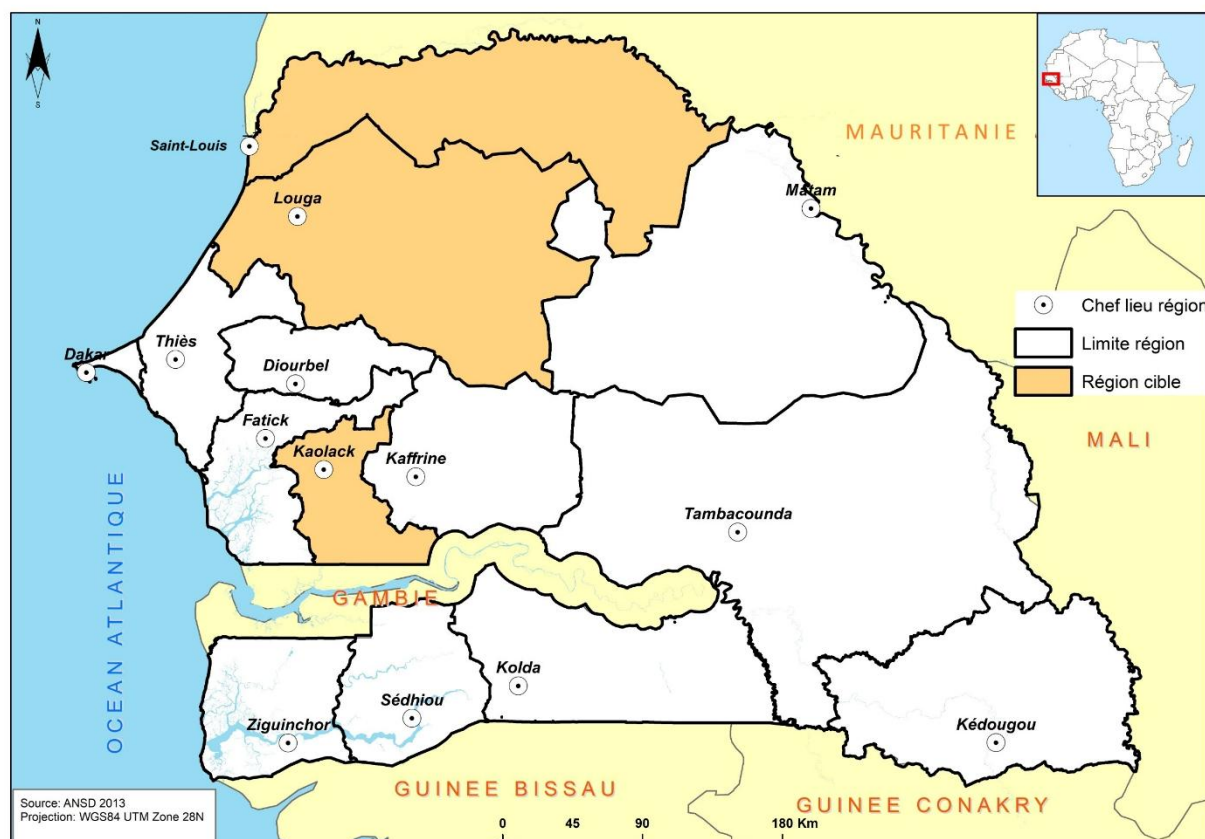


Fig. 1. Carte de localisation des régions qui ont servi de zone d'étude

2.2 DEROULEMENT DE L'ENQUETE, COLLECTE, TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNEES

L'étude qui sous-tend cet article repose sur une approche méthodologique mixte comprenant: (i) une revue des documents en rapport avec le changement climatique et le développement du secteur privé ayant permis une analyse institutionnelle et politique du problème étudié; (ii) une enquête de terrain par le biais d'un questionnaire administré aux responsables de PME (propriétaires ou gestionnaires).

Les outils de collecte ont été testés et l'enquête de terrain a été menée dans les trois régions de l'étude (Saint Louis, Louga et Kaolack). Le questionnaire a été administré à cent soixante-et-un (161) responsables de PME évoluant dans quatre secteurs d'activités que sont l'agriculture, l'élevage, le commerce et la transformation des produits agro-pastoraux. Les PME ont été choisies en combinant des méthodes d'échantillonnage aléatoires et en boule de neige. Dans un premier temps, utilisant les répertoires des PME de l'Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD) et ceux des Chambres de commerce d'industries et d'agriculture des régions, quelques entreprises ont été sélectionnées de façon aléatoire dans les trois régions. Ce premier groupe d'entreprises a permis, grâce à la technique de l'échantillon boule de neige, d'identifier d'autres PME dans les mêmes régions. Cette démarche a permis d'avoir un ensemble hétérogène de PME notamment des entreprises formelles, informelles¹, des entreprises dirigées par des femmes, etc.

¹ Selon le rapport du BIT de 1993 (Mesure de l'économie informelle, Genève, 19 p.), le secteur informel est officiellement défini comme « un ensemble d'unités produisant des biens et des services en vue principalement de créer des emplois et des revenus pour les personnes concernées. Ces unités, ayant un faible niveau d'organisation, opèrent à petite échelle et de manière spécifique, avec peu ou pas de division entre le travail et le capital en tant que facteurs de production. Les relations de travail, lorsqu'elles existent, sont surtout fondées sur l'emploi occasionnel, les relations de parenté ou les relations personnelles et sociales plutôt que sur des accords contractuels comportant des garanties en bonne et due forme ». Dans le cadre de l'Enquête nationale sur le secteur informel au Sénégal, ce dernier est défini comme l'ensemble des unités de production dépourvues de numéro statistique et/ou de comptabilité écrite formelle, obéissant aux normes

Le questionnaire a été conçu pour recueillir des informations étendues sur de nombreux aspects liés à l'adaptation des PME, tant en ce qui concerne les chocs climatiques actuels que les risques climatiques futurs. Les principaux thèmes du questionnaire concernent la compréhension des chocs et risques climatiques par les répondants, les mesures qu'ils prennent pour faire face, les impacts probables que le changement climatique aura sur leurs entreprises et la planification de mesures de réduction des risques climatiques ou d'adaptation pour faire face aux impacts du changement climatique.

Le questionnaire comprend également des questions sur les ressources que les PME ont à leur disposition pour l'adaptation et les contraintes auxquelles elles sont confrontées pour accéder à ces ressources. Des données ont été aussi recueillies sur l'exposition aux risques (par exemple le type d'aléa, le nombre d'événements climatiques), les caractéristiques internes de l'entreprise (par exemple, la structure de la propriété y compris le sexe du propriétaire, le nombre d'employés, etc.) et l'environnement externe (par exemple, l'accès aux marchés, aux financements et aux infrastructures). Ce qui a permis de relier les décisions d'adaptation au contexte économique et commercial dans lequel elles ont été prises. Enfin, les données quantitatives brutes utilisées dans cet article ont été soumises à un processus rigoureux de contrôle de la qualité, y compris des vérifications approfondies de la cohérence avant d'être traitées avec le logiciel SPSS et le tableur Excel.

3 RÉSULTATS

Les PME des régions étudiées font face à plusieurs chocs climatiques qui sont globalement en rapport avec la pluviométrie, la température et les vents. Ces différents paramètres impactent d'une manière ou d'une autre sur les PME.

3.1 LES CHOCS CLIMATIQUES ET LEURS CONSÉQUENCES SUR LES PME

Il ressort des enquêtes que 91 % des acteurs économiques interrogés déclarent que leurs PME ont été directement affectées par des conditions climatiques au cours des cinq dernières années. Pour ces acteurs économiques, les principaux événements climatiques ayant affecté leur PME durant ces cinq dernières années (figure 2), sont la sécheresse/le déficit pluviométrique (42 %), la chaleur extrême (25 %), les pluies exceptionnelles (18 %) et les inondations (9 %).

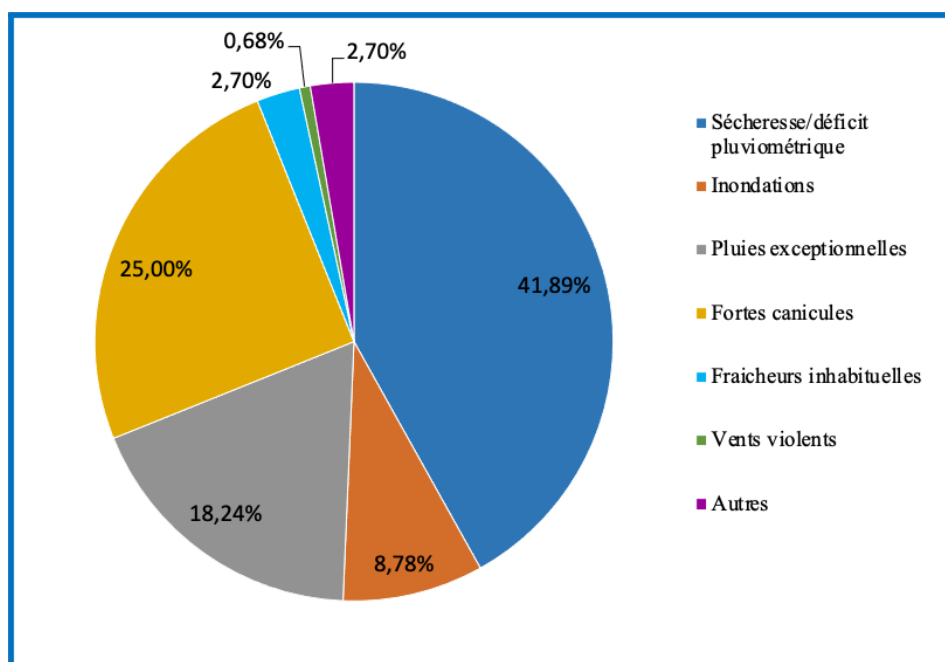


Fig. 2. Les principaux types d'événements extrêmes affectant les PME

du Système Comptable Ouest Africain (SYSCOA). Dans le cadre cette étude, une PME informelle est définie comme une unité économique non enregistrement administratif sans les papiers règlementaires requis par les autorités compétentes. CF.

Selon eux, ces événements climatiques se manifestent principalement par des pertes de biens (70 %), une réduction de la productivité (79 %) et une diminution des ventes (89 %) avec comme effets induits une perte de revenus. Au niveau des PME agricoles et celles évoluant dans le secteur de l'élevage, ces événements climatiques affectent directement l'approvisionnement en matières premières et les processus de production. Quant aux PME actives dans le secteur du commerce des produits céréaliers ou d'origine animale et celles spécialisées dans la transformation de produits issus de l'agriculture et/ou de l'élevage, elles sont indirectement affectées à travers le processus d'approvisionnement en matières premières. Cependant, cela ne rend pas ces PME moins vulnérables. En effet, plusieurs PME étudiées surtout dans le domaine de la transformation ont été victimes d'une incapacité à faire fonctionner leurs entreprises pendant plusieurs jours (35 %), faute de produits ou de conditions climatiques idéales. En plus de ces conséquences, d'autres acteurs (41 %) se disent même affectés par une réduction permanente dans l'activité principale de leur unité économique. Il en est de même des entreprises pourvoyeuses de produits et de services et qui sont également sensibles à la situation des PME agricoles et du secteur de l'élevage.

Autant les acteurs économiques se préoccupent des événements climatiques passés et présents, autant ils ont conscience des risques climatiques futurs qui menacent leurs PME. De leurs points de vue, les risques qui présentent le plus de menaces potentielles sont le déficit pluviométrique, les températures extrêmes, les pluies exceptionnelles, les vents violents, l'érosion et la salinisation des sols (figure 3).

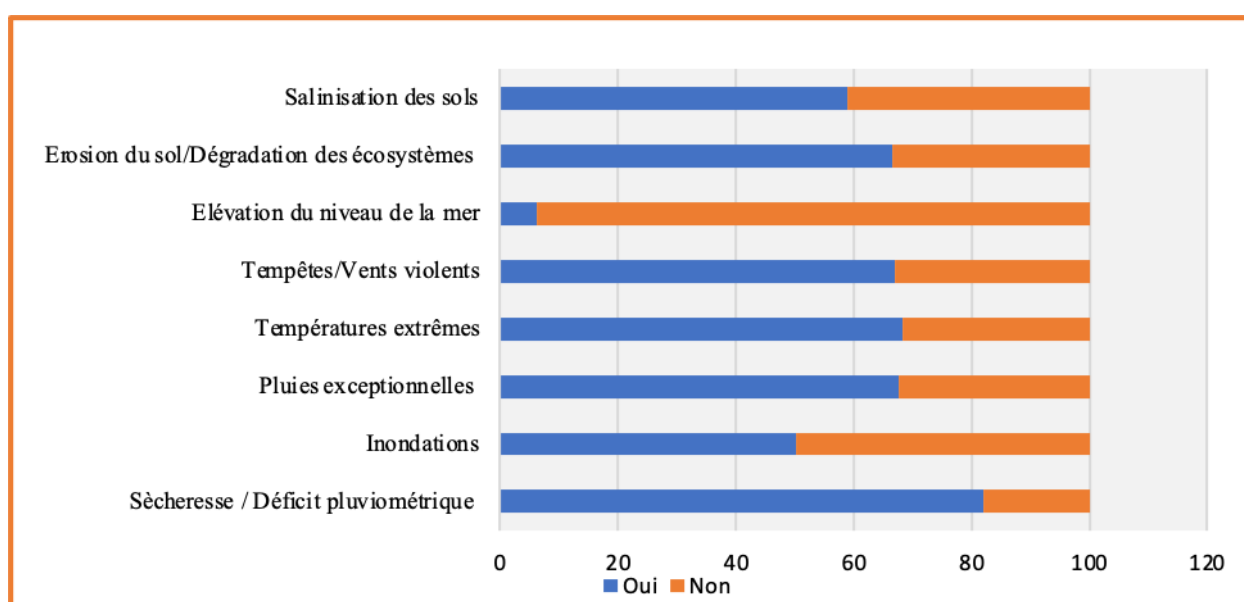


Fig. 3. Les événements climatiques extrêmes présentant des risques futurs pour les PME

Malgré tous ces risques climatiques, 52 % des responsables de PME étudiées pensent être en mesure de s'adapter plus ou moins si les événements climatiques venaient à augmenter en intensité et en fréquence dans le futur. Néanmoins, 28 % ne s'adapteraient pas tandis que 4 % cesseraient complètement leurs activités de production. Ce qui pourrait avoir des répercussions non négligeables dans le développement économique des ZSA si les acteurs économiques ne parviennent pas à anticiper les conséquences de ces risques et à s'adapter convenablement.

3.2 LES STRATEGIES DE GESTION DES CHOCS CLIMATIQUES ET DE LEURS CONSEQUENCES POUR LES PME

Pour faire face à ces événements climatiques, la plupart des responsables de PME se sont évertués à apporter des réponses. Ces réponses sont généralement, le changement de variétés culturales (19 %), le recours au crédit (17 %), la diversification des produits pour réduire la vulnérabilité (14 %), le passage à un autre produit ou culture (12 %), la souscription à une assurance (10 %), la réduction de nombre de salariés (7 %), la vente des biens de l'entreprise (6 %) ou leur bradage (3 %).

Cependant, au-delà des mesures prises pour répondre aux événements climatiques passés ou en cours, les responsables de PME sont en train de développer des stratégies d'adaptation planifiées pour faire face aux risques climatiques futurs. C'est ainsi que 7 % des acteurs économiques interrogés disent disposer déjà d'un plan ou d'une stratégie. En outre, 2 % sont en train d'en élaborer et 10 % soutiennent avoir l'intention de se doter d'un plan pour faire face aux risques climatiques (figure 4). Tout compte fait, près de 20 % des responsables de PME étudiées s'intéressent à la planification de mesures pour atténuer les effets

des risques climatiques futurs. Ce qui représente un pourcentage assez intéressant par rapport au contexte global dans lequel se trouvent les PME en ZSA même si, le nombre de PME ne disposant pas d'un plan pour faire face aux risques climatiques reste élevé (69,6 %).

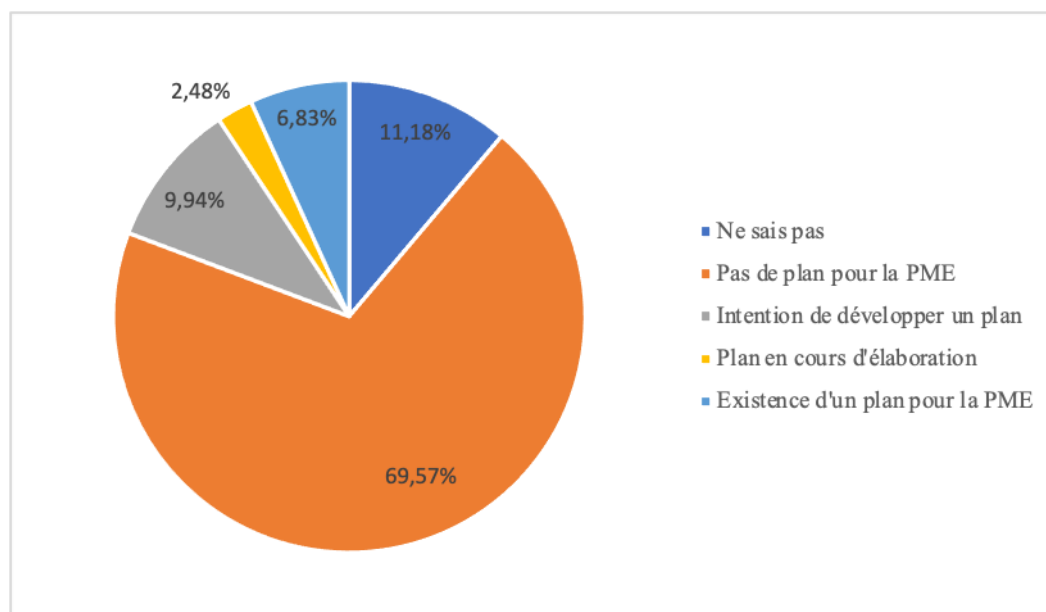


Fig. 4. La planification de mesures pour faire face aux impacts du changement climatique

Au demeurant, plusieurs mesures d'adaptation ou de réduction des risques climatiques sont prévues avec cependant un niveau de planification différent d'une PME à l'autre (figure 5). Globalement, les mesures qui sont davantage mises en œuvre sont la diversification des activités ou le changement pour un produit différent et l'adoption de nouvelles technologies/variétés de culture. Les mesures qui sont « *en cours d'examen* » concernent essentiellement la souscription à une assurance pour couvrir le bien, la mise à niveau/rénovation des équipements pour réduire l'impact des risques et enfin l'endettement pour améliorer la résilience climatique de la PME.

Il convient de mentionner que les responsables de PME qui n'ont pas pris en considération, les différentes mesures mentionnées dans la figure 5 sont très nombreux (69,6 %) par rapport à ceux qui disent les avoir déjà mises en œuvre (7 %). A contrario, les responsables de PME pour qui ces mesures sont « *en cours d'examen* » représentent un nombre plus important (15 %) que ceux pour qui la mise en œuvre est prévue voire planifiée dans le futur (5 %).

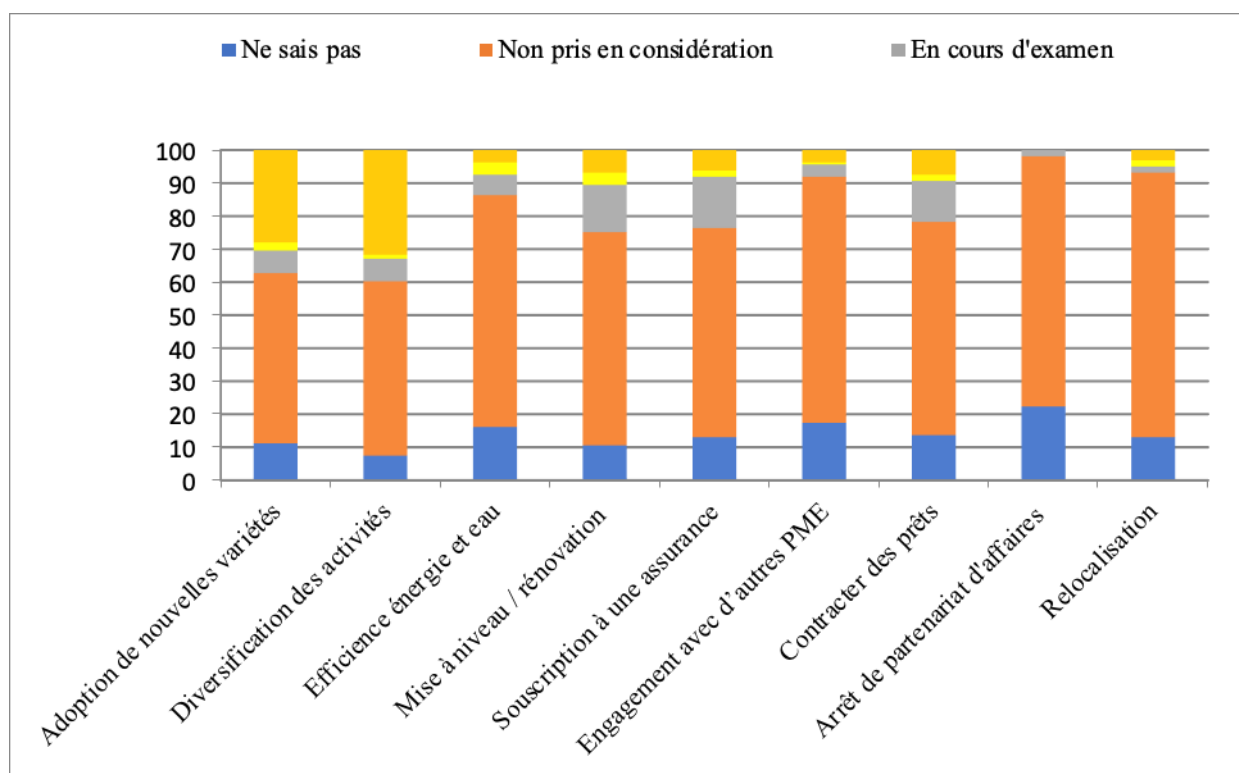


Fig. 5. Les principales mesures de réduction des risques climatiques ou d'adaptation

4 DISCUSSION

Compte tenu de leur appartenance aux ZSA, de leurs caractéristiques, de leur concentration dans certains secteurs et activités, Les PME devront faire face à des défis supplémentaires pour renforcer la capacité d'adaptation et surmonter des obstacles à la prise de mesures pour répondre aux risques climatiques.

4.1 LES ENJEUX ET LES DEFIS À RELEVER POUR RENFORCER LA CAPACITE D'ADAPTATION DES PME

Les statistiques de l'étude donnent des orientations claires sur le niveau de vulnérabilité et la nature des réponses généralement apportées ou celles planifiées. La proportion élevée de responsables de PME (91 %) qui se disent déjà affectés par des conditions climatiques, traduit une vulnérabilité élevée des entreprises et appelle à une maîtrise d'un certain nombre de défis et d'enjeux.

Tout d'abord, l'efficacité dans la gestion de l'eau et dans l'utilisation de l'électricité constitue un enjeu compte tenu surtout de la qualité du service et des tarifs; toutefois, seuls 31 % des responsables de PME interrogés en tiennent compte pour une meilleure rationalisation des coûts de production. En ce qui concerne les stratégies d'adaptation, notamment celles liées à l'adoption de nouvelles races/variétés, des efforts sont notés avec 37 % des unités qui en font usage. Il en est de même des activités de diversification ou de changement de produit (32 %). Seulement, il est constaté une faible mise à niveau et/ou rénovation des infrastructures des PME concernées (7 %). Cette situation traduit le besoin de développer des technologies adaptées et accessibles pour ne serait-ce que permettre à certaines entreprises d'entamer une mise à niveau énergétique, autant bénéfique pour leur compétitivité que primordiale pour lutter contre le changement climatique, ainsi que de contribuer au développement des énergies renouvelables.

Compte tenu des risques climatiques actuels et ceux qui pourraient survenir dans le futur du fait du changement climatique, certaines actions concrètes et immédiates en matière d'adaptation sont nécessaires pour les PME. Parmi ces actions, figurent la souscription à une assurance (classique, indicielle, etc.) pour prendre en charge les dommages à posteriori. Cependant, il faut noter que dans le cadre de cette étude, seul un gestionnaire de PME sur dix fait usage de l'assurance comme outil d'adaptation. Pourtant, [41], [42] et [43], ont mis en exergue l'existence de plusieurs initiatives dans les pays en développement concernant la mise en place d'instruments privés de gestion des risques, notamment l'assurance et le rôle qu'elle joue dans le soutien des stratégies d'adaptation dans ces pays. Au Sénégal, malgré l'existence de sociétés d'assurance et la création en 2009

de la Compagnie Nationale d'Assurance Agricole du Sénégal, cette pratique n'est pas développée dans les ZSA du pays. Selon les acteurs économiques, cela est dû essentiellement à un manque d'accès et à l'inadéquation des offres de service avec les réalités socioéconomiques des PME locales comme le corroborent les conclusions de [43]. Selon ce dernier, au Sénégal, la couverture des différents instruments financiers comme l'assurance, augmente de façon constante, mais ces instruments ne répondent toujours qu'aux besoins d'une partie relativement petite de la population.

Au-delà de l'assurance, une collaboration entre les PME peut permettre de réduire la vulnérabilité des unités économiques et faciliter leur adaptation grâce à la mutualisation des efforts et une meilleure organisation de la chaîne de production. Cependant, seuls 4 % des responsables des unités économiques étudiées, estiment avoir fait recours à une collaboration entre les PME contre 75 % qui n'ont pas pris en considération cette possibilité. Cet état de fait corrobore l'absence de partenariat d'affaires entre les PME pour faire face aux effets néfastes du changement climatique (0 %). Pourtant, des travaux de recherche [44] et [45] ont montré que les entreprises ayant des partenariats innovants pour s'attaquer aux défis associés au changement climatique seront plus résilientes en ce sens que ces partenariats pourront aider à mieux comprendre comment les risques climatiques peuvent façonner les produits futurs, les installations, les chaînes d'approvisionnement et les besoins des clients.

En outre, l'un des enjeux majeurs de l'adaptation des PME au changement climatique constitue l'accès aux crédits pour financer les différentes mesures afin de réduire les risques climatiques. Malgré tout, le niveau de contractualisation de prêts demeure très faible chez les PME des zones semi-arides. En effet, 65 % des unités n'ont pas pris en considération cette modalité pour faire face aux risques alors que pour financer leurs mesures d'adaptation les PME, qui du reste ont généralement des budgets très faibles, ont besoin de sources additionnelles de financements. Ce faible recours aux prêts bancaires s'explique selon les chefs d'entreprises par plusieurs raisons. Si certains évoquent des motifs d'ordre religieux (refus de l'intérêt bancaire), la plupart mentionne le coût élevé des crédits avec des taux d'intérêt compris selon eux entre 7 et 13 % et les difficultés à offrir aux banques les garanties dont elles ont besoin (70 % des personnes interrogées la considèrent comme un obstacle). D'ailleurs, une étude de la Banque Mondiale a montré que les prêts bancaires aux PME en Afrique sont plus coûteux que dans les autres pays en développement [46]. A titre de comparaison, l'étude révèle que « *les redevances perçues sur les prêts aux PME en Afrique - en moyenne, 1,97 % de la valeur du prêt pour les petites entreprises et 1,79 % pour les moyennes entreprises - sont généralement presque deux fois plus élevées que dans les autres pays en développement. Les taux d'intérêt sur les clients des PME sont également de 5 à 6 points de pourcentage de plus en moyenne en Afrique que partout ailleurs dans le monde en développement* » [46].

A cela s'ajoute le fait que les prêts sont généralement de courte durée (c'est le cas de 81 % des acteurs économiques ayant contracté des prêts auprès des banques commerciales ou des systèmes financiers décentralisés) et portent souvent sur des montants assez modiques dont une partie significative est retirée pour les frais de dossier. Ce que confirment [47] qui, étudiant le financement des PME en Afrique, ont montré que l'une des difficultés des PME réside dans le fait qu'elles ne sont pas en mesure de produire des comptes financiers formels ou d'offrir des garanties formelles aux banques. Cette situation pousse ainsi les acteurs économiques à recourir à l'appui d'un proche ou se limiter aux emprunts auprès de parents ou d'amis comme le soulignent certaines études [40], [18], [48].

Tous ces défis et enjeux montrent que l'adaptation au changement climatique est une question cruciale dont la prise en charge dépasse largement les PME d'autant plus que ces dernières, malgré leur volonté et leurs efforts pour faire face aux risques climatiques, sont confrontées à plusieurs obstacles.

4.2 DES OBSTACLES À LA PRISE DE MESURES POUR RÉPONDRE AUX RISQUES CLIMATIQUES FUTURS

En dépit des efforts consentis pour répondre aux événements climatiques ou planifier des stratégies d'adaptation, les PME sont confrontées à plusieurs obstacles qui ne facilitent pas la prise de mesures adéquates pour s'adapter. D'abord près de 70 % des responsables de PME étudiées ne reconnaissent pas la prise de mesures pour répondre aux risques climatiques comme une priorité immédiate. Cet état de fait constitue déjà un blocage dans la mesure où les chefs de PME qui n'en font pas une priorité ne pourront pas accorder une certaine importance à l'adaptation. Ce que confirme [49] qui considère que le fait pour les dirigeants de l'entreprise de ne pas prendre conscience de la nécessité ou de l'intérêt d'engager une démarche d'adaptation constitue, avant toute chose, l'un des grands obstacles dans la marche des entreprises vers l'élaboration et la mise en œuvre d'une stratégie d'adaptation.

A cela s'ajoutent les cinq obstacles les plus cités par les acteurs économiques à savoir: (i) le manque de connaissance concernant les impacts du changement climatique et leur pertinence pour la PME; (ii) la difficulté dans l'identification de mesures efficaces; (iii), le manque de données climatiques pertinentes; (iv) le manque de compétences au sein de l'entreprise, et; (v) la limite budgétaire. Des obstacles similaires ont été mis en relief par [50] sur les facteurs qui peuvent motiver les entreprises à prendre des mesures d'adaptation et sur la manière dont ces facteurs peuvent favoriser ou freiner l'adaptation.

Il en est de même de [49] pour qui la mise en œuvre de stratégies d'adaptation par les entreprises peut être compromise par toute une série d'obstacles économiques, commerciaux et financiers.

Ces différents obstacles, combinés aux faibles capacités techniques et aux contraintes d'ordre institutionnel (environnement des affaires peu favorable, faible soutien de l'État) et financier (difficulté d'accéder à des ressources financières stables et suffisantes) auxquelles sont confrontées les PME, peuvent pousser les acteurs économiques à se résigner ou faire usage de mauvaises pratiques d'adaptation [14]. Surtout qu'une décision d'engager une stratégie d'adaptation peut se trouver contrariée par l'existence d'obstacles tenant au coût d'opportunité de la stratégie, aux risques commerciaux auxquels elle expose la PME et par la difficulté d'accéder aux financements nécessaires [49]. Cet environnement global ne semble pas être en phase avec la volonté des autorités sénégalaises de faire de la PME un vecteur efficace de croissance économique et de création d'emplois. Cela d'autant plus que près de 95 % des acteurs économiques interrogés soutiennent n'avoir reçu aucun appui financier, matériel ou technique de la part de l'État, des collectivités territoriales ou d'un partenaire pour faire face aux impacts du climat.

5 CONCLUSION

L'appréhension de la vulnérabilité et la capacité d'adaptation du secteur privé local et l'identification des principaux obstacles au changement stratégique constituent une dimension importante pour faire des PME un des leviers de la croissance économique du Sénégal. C'est dans ce souci que cette recherche sur les PME en ZSA s'est évertuée à mettre en relief la vulnérabilité, les stratégies et les difficultés des acteurs économiques face aux effets adverses du changement climatique. L'analyse a révélé que les responsables des PME ont généralement conscience des risques liés au changement climatique pour leurs activités de production et ont pu identifier les événements climatiques qui les affectent le plus ou qui sont susceptibles de les impacter dans le futur. Réagissant aux effets adverses du changement climatique, ces acteurs économiques ont mis en œuvre des actions d'adaptation souvent plus réactives que proactives. Même si les PME font face à plusieurs obstacles dans l'élaboration et la mise en œuvre de stratégies d'adaptation, la plupart des acteurs économiques ont conscience de la nécessité d'agir en conséquence. Le défi pour ces acteurs économiques demeure toutefois l'accès et la mobilisation des ressources financières, des connaissances scientifiques, des services et technologies nécessaires à une bonne planification et une meilleure mise en œuvre des stratégies d'adaptation.

Néanmoins, l'amélioration de l'accès à l'information et la formation sur les menaces et les opportunités du réchauffement climatique et sur les outils leur permettant de le prendre en compte sont primordiales pour les PME. Elles constituent un moyen concret pour mettre à la disposition des responsables de PME des connaissances probantes leur permettant de développer des mesures d'adaptation plus efficaces. Il en est de même de l'accroissement des capacités des PME à capter les financements liés au climat pour accompagner certaines initiatives (par exemple, la réduction de la dépendance aux énergies fossiles, la réorganisation des processus techniques, le développement de nouveaux produits, la réorientation des PME, etc.). En outre, dans le souci d'une meilleure prise en compte de la dimension changement climatique dans leurs modèles d'affaires, les PME doivent explorer les opportunités de mise en place de partenariats avec les structures de recherche-développement et s'intéresser davantage à l'assurance climatique indicelle comme outil d'adaptation grâce à des offres de service adaptés aux réalités des petites entreprises surtout des zones semi-arides.

En définitive, l'État à travers les différentes structures d'appui de même que les collectivités territoriales ainsi que leurs différents partenaires, doivent veiller à la promotion d'un environnement favorable à l'adaptation des PME en soutenant la planification et la mise en œuvre de stratégies appropriées au contexte et au niveau de développement des unités économiques des ZSA du pays.

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie le *Department for International Development* (DfID) et le Centre International de Recherches pour le Développement (CRDI) pour le soutien financier ainsi que toutes les personnes qui, de par leurs commentaires constructifs, ont permis l'amélioration de ce travail.

REFERENCES

- [1] Bourque. « Les changements climatiques et leurs impacts ». Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement. 2000. [En ligne] Disponible: <http://vertigo.revues.org/4042> (19 avril 2023).
- [2] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change, Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2014.
- [3] G Kilroy. «A review of the biophysical impacts of climate change in three hotspot regions in Africa and Asia». *Regional Environ Change* 15: pp. 771–782, doi: 10.1007/s10113-014-0709-6, 2015.
- [4] A. Badji, D. Okii, A. Ibanda, S. Akello and E. Adipala. «Climate change impacts and adaptation strategies in Africa: Selected case studies». *African Journal of Rural Development*, Vol. 7 (3), pp.209-274, 2022.
- [5] H. Reid, M. Alam, R. Berger, T. Cannon, S. Huq & A. Milligan. «Community-based adaptation to climate change: an overview». *Participatory Learning and Action*, 60, pp. 11–33. London: IIED, 2009. [En ligne] Disponible: <http://pubs.iied.org/pdfs/14573IIED.pdf> (17 novembre 2022).
- [6] IPCC, Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 p., 2022, doi: 10.1017/9781009325844.
- [7] J.D Ford, L. Berrang-Ford, A. Bunce, C. McKay, M. Irwin and T. Pearce. «The status of climate change adaptation in Africa and Asia». *Regional Environ Change* 15: pp. 801–814, 2015. DOI 10.1007/s10113-014-0648-2.
- [8] K. Descheemaeker, S.J. Oosting, S. Homann-Kee Tui, P. Masikati, G.N. Falconnier and K.E. Giller. «Climate change adaptation and mitigation in smallholder crop–livestock systems in sub-Saharan Africa: a call for integrated impact assessments». *Regional Environ Change*, 16, pp. 2331–2343, 2016. DOI 10.1007/s10113-016-0957-8.
- [9] G K. E.annon, E. Castellano, S. Eskander, D. Agol, M. Diop, D. Conway and E. Sprout. «The triple differential vulnerability of female entrepreneurs to climate risk in sub-Saharan Africa: Gendered barriers and enablers to private sector adaptation». *WIREs Climate Change*, 13 (5), 2022. <https://doi.org/10.1002/wcc.793>
- [10] Kathleen, L. Christiaensen, A. Dabalen and I. Gaddis. *Poverty in a Rising Africa*. Washington, DC: World Bank., 145 p, 2016.
- [11] J. Cust, A. Zeufack (Eds.). Les ressources naturelles, un enjeu clé pour l'avenir de l'Afrique: Ressources naturelles et transformation économique dans un contexte de transition vers des économies décarbonées. World Bank Publications, 68 p, 2023.
- [12] L. Dougherty-Choux, P. Terpstra, S. Kammila and P. Kurukulasuriya. *Adapting from the ground up. Enabling small businesses in developing countries to adapt to climate change*. World Resources Institute and United Nations Development Programme, 2015.
[En ligne] Disponible: https://www.wri.org/sites/default/files/Adapting_From_The_Ground_Up.pdf (20 juin 2022).
- [13] AO. Ayandibu and J. Houghton. «The Role of Small and Medium Scale Enterprise in Local Economic Development (LED) ». *Journal of Business and Retail Management Research*, 11 (2), pp. 133-139, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.24052/JBRMR/262>.
- [14] F. Crick, S. Eskander, S. Fankhauser and M. Diop M. «How do African SMEs respond to climate risks? Evidence from Kenya and Senegal». *World Development*, 108, pp. 157–168, 2018.
- [15] O.A. Abisuga-Oyekunle, S.K. Patra and M. Muchie. «SMEs in sustainable development: Their role in poverty reduction and employment generation in sub-Saharan Africa», *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, Taylor & Francis Journals, vol. 12 (4), pp. 405-419, 2020. DOI: 10.1080/20421338.2019.1656428.
- [16] S. Fjose, L.A. Grünfeld, and C. Green. «SMEs and growth in Sub-Saharan Africa. Identifying SME roles and obstacles to SME growth». *MENON-publication*, 2010. [En ligne] Disponible: <https://www.norfund.no/getfile.php/133983/Bilder/Publications/SME%20and%20growth%20MENON%20.pdf> (13 octobre 2023).
- [17] AfDB (African Development Bank Group). *Supporting the Transformation of the Private Sector in Africa*. Private Sector Development Strategy, 2013-2017, 37 p, 2013a.
[En ligne] Disponible: https://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Policy-Documents/2013-2017_-_Private_Sector_Development_Strategy.pdf (11 décembre 2022).
- [18] J. Haselip, D. Desgain, and G. Mackenzie. «Financing energy SMEs in Ghana and Senegal: Outcomes, barriers and prospects». *Energy Policy* 65: pp. 369–376, 2014.
- [19] F. Crick, S.M.S.U Eskander, S. Fankhauser and M. Diop. «How do African SMEs respond to climate risks? Evidence from Kenya and Senegal». Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment Working Paper No. 284, 2017.

- [En ligne] Disponible: http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2017/11/Working-Paper-284_Crick-et-al.pdf (23 décembre 2023).
- [20] AfDB (African Development Bank Group). *Development Effectiveness Review 2013. Senegal. Country Review*, 40 p., 2013b. [En ligne] Disponible: https://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Project-and-Operations/Development_Effectiveness_Review_2013_-_Senegal.pdf (23 décembre 2023).
- [21] N.A. Kane-Diakhaté, R. Wane, A.A. Diop et B.M. Mbaye. *Le financement de l'économie au Sénégal*. DPEE/DSC, 2014. [En ligne] Disponible: http://www.dpee.sn/IMG/pdf/financement_economie.pdf (16 novembre 2023).
- [22] USAID Senegal, 2017. *Economic Growth For All (FY2018-2023)*. Project, 89 p. 2017. [En ligne] Disponible: https://2017-2020.usaid.gov/sites/default/files/documents/1860/EG4ALL_Vision_Public_20170512_FINAL_DONE.pdf (20 février 2022).
- [23] T. S. Nomo et S. Ndao. « Définition et caractérisation socioéconomique des PME au Sénégal ». *Revue Organisations & Territoires*, 31 (3), pp. 75–94, 2023. <https://doi.org/10.1522/revueot.v31n3.1521>.
- [24] ANSD (Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie). *Rapport de l'Enquête Nationale sur les Petites et Moyennes Entreprises 2013*. Ministère du commerce; Direction des PME, 49 p., 2014.
- [25] ANSD. Rapport global du Recensement général des Entreprises. Ministère de l'Économie, des Finances et du Plan, 101 p., 2017b.
- [26] A.T. Gaye, H.M. Lô, S. Sakho-djimbira, M.S. Fall and I. Ndiaye. *Sénégal: revue du contexte socioéconomique, politique et environnemental*. Rapport d'étude IED, PRISE, 2015. [En ligne] Disponible: http://www.iedafrique.org/IMG/pdf/Revue_Resilience_Croissance_et_changement_climatique_au_Senegal-2.pdf (20 décembre 2022).
- [27] F. Crick, M. Diop, M. Sow, B. Diouf, B. Diouf, J. Muhwanga and M. Dajani. *Enabling private sector adaptation in developing countries and their semi-arid regions – case studies of Senegal and Kenya*. Grantham Research Institute on Climate Change and the Environment Working Paper, No. 258, 2016. [En ligne] Disponible: <http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2016/12/Working-Paper-258-Crick-et-al.pdf> (20 décembre 2022).
- [28] M. Sall, S.M. Tall, A. Tandian et A.A. Samb. Changements climatiques, stratégies d'adaptation et mobilités. Évidence à partir de quatre sites au Sénégal. Human Settlements Working Paper Series, 44 p., 2011.
- [29] M. Seck, M. Na Abou, S. Wade and J.P. Thomas. Adaptation aux Changements climatiques: l'étude de cas des systèmes de production agricoles de Sébikotane (Sénégal). Enda T.M., 33 p., 2005.
- [30] L. Garcia. *Impact du changement climatique sur les rendements du mil et de l'arachide au Sénégal Approche par expérimentation virtuelle*. Mémoire de fin d'études présenté pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur Agronome. Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), 54 p. [En ligne] Disponible: <https://agritrop.cirad.fr/590889/1/M%C3%A9moire%20L%C3%A9o%20Garcia.pdf> (05 novembre 2024). <https://agritrop.cirad.fr/590889/1/M%C3%A9moire%20L%C3%A9o%20Garcia.pdf>
- [31] Gaye. « Suivi de la pluviométrie au Nord-Sénégal de 1954 à 2013: étude de cas des stations synoptiques de Matam, Podor et Saint-Louis ». *Noroi*, 244, pp. 63-73, 2017.
- [32] M. Ndiaye. « Typologie et analyse de la capacité des exploitations agricoles familiales à assurer leur autosuffisance alimentaire dans la région de Kaolack, Sénégal ». *Agric. For. J.*, 2 (1), pp. 26-35, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1313207>.
- [33] Faye, T. Sané et E.H.B. Diéye. « Variation spatiale et temporelle des précipitations de 1971 à 2010 dans le bassin versant du Sine Saloum (Sénégal) ». *Algerian J. Env. Sc. Technology*, 6 (2), pp. 1310-1322, 2020.
- [34] S. Cissé, M. Guèye et B. Sané. Estimation des PIBs régionaux à l'aide des données satellitaires d'intensité lumineuse nocturne. Planning Paper n°28, 26 p, 2023.
- [35] ANSD. Cinquième recensement général de la population et l'habitat. Rapport provisoire, 540 p, 2024.
- [36] ANSD. Situation Économique et Sociale de la Région de Saint Louis 2020-2021. MEPC, 127 p, 2023a.
- [37] ANSD. Évaluation de la contribution des PME au Produit Intérieur Brut (PIB), à l'emploi et au commerce extérieur, 37 p, 2017a.
- [38] ANSD. Situation Économique et Sociale de la Région de Louga 2020-2021. MEPC, 130 p, 2023b.
- [39] ANSD. Situation Économique et Sociale de la Région de Kaolack 2020-2021. MEPC, 155 p, 2023c.
- [40] N. Benjamin et A.A. Mbaye. Les entreprises informelles de l'Afrique de l'Ouest francophone. Banque Mondiale, 273 p, 2012.
- [41] Lagandré et A. Chetaille. « L'assurance indicielle, une réponse face aux risques climatiques ? » *Grain de sel*, (49) pp. 20-21, 2010. [En ligne] Disponible: http://www.inter-reseaux.org/IMG/pdf_p20_21_Gret.pdf, (4 décembre 2024).
- [42] K. Warner, K. Yuzva, M. Zissener, S. Gille, J. Voss and S. Wanczeck. Innovative Insurance Solutions for Climate Change: How to integrate climate risk insurance into a comprehensive climate risk management approach. Report No. 12. Bonn: United Nations University Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS), 50 p, 2013. [En ligne] Disponible: <https://collections.unu.edu/eserv/UNU:1850/pdf11484.pdf> (12 septembre 2022).

- [43] Campillo, M. Mullan and L.Vallejo. *Climate Change Adaptation and Financial Protection: Synthesis of Key Findings from Colombia and Senegal*. OECD Environment Working Papers, No. 120, OECD Publishing, Paris, 59 p., 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/0b3dc22a-en>.
- [44] CSR (Corporate Social Responsibility). *Climate change adaptation: Engaging Business in Asia*. Main Report Publication 1 of 5 CSR Asia, 2011. [En ligne] Disponible: https://www.preventionweb.net/files/20777_sida21.pdf (23 novembre 2022).
- [45] E. Cameron, C. Erickson & R. Schuchard. *Business in a Climate Constrained World: Catalyzing a Climate-Resilient Future through the Power of the Private Sector*. BSR Working Paper. BSR, San Francisco, 48 p., 2014. [En ligne] Disponible: www.bsr.org/bccw (13 octobre 2022).
- [46] T. Beck, A. Demircuc-Kunt and M.S. Martinez Paria. *Bank Financing for SMEs around the World: Drivers, Obstacles, Business Models and Lending Practices*. World Bank Policy Research Working Paper 4785, 40 p., 2008.
- [47] T. Beck and R. Cull. Small and medium-sized enterprise finance in Africa. Africa Growth Initiative Working Paper 16, 28 p. 2014. [En ligne] Disponible: https://www.brookings.edu/wp-content/uploads/2016/06/SME-Finance-in-Africa-Designed_FINAL.pdf, (09 novembre 2022).
- [48] P. Quartey, E. Turkson, J.Y. Abor and A.M. Iddrisu. «Financing the growth of SMEs in Africa: What are the constraints to SME financing within ECOWAS?» *Rev. Dev. Finance*, 7, pp. 18–28, 2017.
- [49] P. Moati. *Les obstacles aux stratégies d'adaptation des entreprises*. CREDOC. Cahier de Recherche, N° 175, 2002. [En ligne] Disponible: <http://pratclif.com/economy/moatti/C175.pdf> (4 décembre 2024).
- [50] S. Agrawala, M. Carraro, N. Kingsmill, E. Lanzi, M. Mullan and G. Prudent-Richard. *Participation du secteur privé à l'adaptation au changement climatique. Approches de la gestion des risques climatiques*. Document de travail de l'OCDE sur l'environnement No. 39, 58 p, 2011.

Considérations de l'environnement en tant qu'approche transversale dans le vécu quotidien des ménages: Aperçu sur la gestion, la protection et l'éducation environnementale dans la commune rurale d'Aru, au Nord-Est de la RD Congo

[Environmental considerations as a cross-cutting approach in the daily lives of households: An overview of environmental management, protection and education in the rural commune of Aru, North-Eastern DR Congo]

John Kisembo Katabuka¹ and Amuda Baba Dieu Merci²

¹Chercheur à l'Institut Panafricain de Santé Communautaire, RD Congo

²Professeur Associé à l'Institut Supérieur des Techniques Médicales de Bunia, RD Congo

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Environmental management and protection, like the cross-cutting approach, is an obligation for everyone; even more so at a time when, according to the future of our planet is in jeopardy. The aim of this study is, on the one hand, to list the measures taken and the policies, but also and above all the tools put in place for environmental management, both by the competent authorities (environmental service managers and educators) and by households and some community groups, and to identify the interests of households in protecting the environment. On the other hand, it will shed light on the promotion of environmental education in schools. It is therefore the responses obtained from the various categories that have enabled us, by triangulating the data, to respond to the concern linked to environmental considerations as a cross-cutting approach in the daily lives of households.

In short, we found irregularities with regard to environmental management and protection in our study area: no clearly defined environmental protection policy, no tools for implementing environmental management policies, no support for environmental management initiatives, and a low level of environmental knowledge and protection among learners. The same applies to households.

In the light of the results obtained, we have proposed a tool adapted to the environmental situation in the study area.

KEYWORDS: environmental management and protection, environmental education, environmental policy, households.

RESUME: La gestion et la protection de l'environnement comme l'approche transversale est une obligation pour tous; bien plus en cette période où pour les avertis, l'avenir de notre planète serait hypothéqué. L'objectif de cette étude est d'une part, celui de répertorier les mesures prises ainsi que les politiques mais aussi et surtout les outils mis en place pour la gestion de l'environnement tant auprès des autorités compétentes (responsables des services environnementaux et éducationnels) qu'auprès des ménages et quelques groupes communautaires, de relever les intérêts à la protection de l'environnement par les ménages. D'autre part, elle éclairera la promotion de l'éducation environnementale dans les écoles. Ce sont donc les réponses obtenues auprès des différentes catégories qui nous ont permis par triangulation des données, de répondre à la préoccupation liée aux considérations de l'environnement en tant qu'approche transversale dans le vécu quotidien des ménages.

En bref, nous avons trouvé des irrégularités quant en ce qui concerne la gestion et la protection de l'environnement dans notre espace d'étude: pas de politique de protection de l'environnement clairement définie, pas d'outils de mise en application des

politiques de gestion de l'environnement, pas de soutiens aux initiatives de gestion environnementale, les apprenants présentent un niveau bas dans la connaissance et la protection de l'environnement. De même pour les ménages. Au vu de résultats obtenus, nous avons proposé un outil adapté à la situation environnementale en cours dans le milieu de la présente étude.

MOTS-CLEFS: gestion et protection de l'environnement, éducation environnementale, politique environnementale, ménages.

1 INTRODUCTION

La gestion de l'environnement est une nécessité et un impératif indispensable pour la survie. La gestion responsable de déchets est une obligation à tout le monde en vue d'un développement durable. Cependant, il est triste de constater parmi les populations, l'existence des pratiques plus courantes qui menacent l'existence de l'écologie tant dans un avenir proche que lointain. Or en ce qui concerne l'intégrité écologique, la Charte de la Terre est claire. Elle stipule de facto « de prévenir les dommages comme étant la meilleure méthode pour la préservation de l'environnement et appliquer le principe de précaution lorsque les connaissances sont insuffisantes ».

Sous cet angle, la même charte insiste sur « l'adoption des modes de productions, de consommation et de reproduction qui préservent les capacités régénératrices de la Terre, les droits de l'homme et le bien – être commun. Ainsi, il faut entre autres réduire, réutiliser et recycler les matériaux utilisés dans les systèmes de production et de consommation, et s'assurer que les déchets résiduels peuvent être assimilés par les systèmes écologiques ».

L'article 55 du Protocole I additionnel aux Conventions de Genève de 1949 recommande d'ailleurs en situation de guerre, d'adopter des méthodes et moyens de guerre qui protègent l'environnement en tant que tel. Déjà, le premier principe du même protocole reconnaît que le droit des parties en conflit de choisir des méthodes ou moyens de guerre n'est pas illimité. L'article susmentionné (en sa première ligne) dispose donc ainsi: « La guerre sera conduite en veillant à protéger l'environnement naturel contre des dommages étendus, durables et graves ».

Si pendant les conflits armés, alors que les esprits sont perturbés, il y a tout intérêt à protéger l'environnement, à combien plus forte raison, cela serait le cas en temps de paix ?

Avec cela, la communauté humanitaire se veut préoccupée au plus haut niveau de l'intérêt inhérent à la protection de la nature en situation de conflits armés comme en celle normale.

En plus, le développement doit être focalisé principalement sur le bien-être de la personne humaine. Ainsi donc le développement dans son vrai sens se focaliserait à identifier principalement les besoins humains, à améliorer les conditions de vie des populations et rien que cela, dans un sens plus positif.

Laborieux pense d'ailleurs que: « Le principal objectif du développement humain est d'élargir des choix offerts à la population, qui permettent de rendre le développement plus démocratique et plus participatif ». L'aspect de la démocratie souligne ici que la gestion ainsi que la protection de l'environnement sont réalisées (au mieux) par la population et pour elle.

Cependant, nous avons constaté auprès de la population, un mode de vie qui rame en contre – courant avec la protection de l'environnement. En effet, en quête de survie, il est inévitable que l'on ne touche à l'environnement. Bien souvent les pratiques effectuées en vue de tirer de la dividende porte préjudice au devenir de l'environnement.

D'une part, les manipulations finales des certains produits (plus en polyéthylène ou fibres synthétiques) ne se font pas tel que cela devrait l'être. Ainsi, il est trop courant de constater la présence des plastiques, des éléments tels les débris issus des matériels électroniques et d'autres, contenant des substances nocives: batteries d'accumulateur, piles électroniques usées et polarisées, lampes à incandescence utilisant le gaz néon,...jetés à dessein dans la nature.

Le prescrit 40.10 de l'Agenda 21 stipule « qu'à l'échelon national, les gouvernements devraient envisager de procéder aux modifications institutionnelles nécessaires afin d'assurer l'intégration de l'information concernant l'environnement et le développement ».

Il est donc curieux d'autre part, de constater que l'état de l'environnement dans lequel vit la communauté ne préoccupe ses membres et que nombreux trouvent cela normale. Certains se trouvent même butés à des contraintes imposées par l'accumulation excessive des déchets non bio – dégradables dans leurs environnements directs, néanmoins, cela ne réveille

pas leur conscience. Il y aurait une hypothèse selon laquelle il manquerait d'information nécessaire aux usagers de l'environnement.

Il est donc clair qu'au regard de cet esprit, la prévention des dommages à l'environnement dépend du niveau de connaissance des usagers de l'environnement en matière d'une gestion convenable.

Les démarches pour le développement impacteraient donc négativement sur l'environnement au point de constater en certains endroits, des atteintes irréversibles sur celui-ci, compromettant ainsi l'avenir de l'autre génération.

2 METHODOLOGIE

2.1 ÉCHANTILLONNAGE

Le dénombrement n'étant pas effectué pour l'année en cours, l'effectif des ménages exact pour la Commune Rurale d'Aru n'est pas connu. La population d'étude (N) n'étant donc pas connue, nous avons utilisé la formule: $n = z^2 \times p(1-p) / m^2$ (avec: n = taille de l'échantillon, z = niveau de confiance (1,96), p = taille de la population (inconnue = 0,5), marge d'erreur: 50%. Ainsi, cette formule devient:

$$\frac{1,96^2 \times 0,5(1-0,5)}{\left(\frac{5}{100}\right)^2} = \frac{3,8416 \times 0,5 - 0,25}{\frac{25}{10000}} = \frac{3,8416 \times 0,25}{\frac{25}{10000}} = \frac{0,9604}{\frac{25}{10000}} = 0,9604 \times \frac{10\,000}{25} = \frac{9604}{25} = 384,16$$

La taille de ménages à enquêter retenue était donc de 384. Nous avons enquêté pratiquement 387 ménages, 4 responsables d'écoles, 1 responsable de la structure de gestion de l'environnement de la place (ONGD / ADEJEMS) et le Chef de Service de l'Environnement et Conservation de la Nature du Territoire d'Aru. Enfin, un questionnaire ré-établi a été adressé à 155 apprenants dans 6 écoles différentes de la commune d'Aru.

2.2 TECHNIQUES DE COLLECTE DES DONNÉES

Nous avons utilisé une combinaison de techniques d'enquêtes: entretien semi-structuré auprès des ménages, entretien avec les personnes-clés (les autorités de tutelles) ainsi que les membres des Focus Group Discussions.

Pour la collecte des données auprès des ménages, une équipe d'enquêteurs a été formée sur la thématique de l'enquête et la sélection des ménages eu égard à l'échantillonnage aléatoire systématique. Un suivi a été réalisé auprès de quelques ménages tirés aléatoirement afin de s'assurer de leur passage effectif.

Quant aux apprenants, un questionnaire a été remis à chacun d'eux et répondu après explications liées aux consignes. En ce qui concerne les autorités (scolaire et gestionnaire de politique liée à l'environnement) ainsi que les Groupes à Discussion Focalisés, nous avons eu d'entretiens directs avec les différentes parties.

2.3 TECHNIQUES D'ANALYSE DES DONNÉES

L'analyse des données a été faite par le logiciel **Sphinx Primo**. Les tableaux, les graphiques ainsi que le réajustement des décimaux des données chiffrées (obtenus après conversion au Logiciel **MS Excel**).

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 LES POLITIQUES LOCALES MISES EN PLACE POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT ?

Comme pour tous les pays du monde, la RD Congo, dispose de plusieurs cadres juridiques relatifs à la gestion et la protection de l'environnement. Cependant, ils sont loin de la portée de la population. La Loi n° 14/003 du 11 février 2014 relative à la conservation de la nature donne l'obligation aux pouvoirs publics de définir les mécanismes de sensibilisation, d'information et de participation du public au processus d'élaboration et de mise en œuvre de la politique nationale de conservation de la diversité biologique.

Au niveau international, l'un des cadres internationaux dont l'Agenda 21, revient par exemple sur le renforcement de rôle des principaux groupes entre autres, le renforcement du rôle de la jeunesse et la participation active des jeunes à la protection de l'environnement et à la promotion du développement économique et social et aussi, le rôle des enfants dans la promotion

du développement durable. Une connaissance dès le bas âge relatif à la gestion et protection de l'environnement pourrait mieux contribuer à maintenir un environnement à bon état et ainsi assurer sa durabilité. Néanmoins si les instruments juridiques ne sont que des chapelets de bonnes intentions, et que les outils de mise en application de la politique font défaut, l'on pourrait ne s'attendre à rien comme changement. En ce sens qu'il est constaté une tendance évolutive croissante en ce qui concerne la consommation dans le mode de vie au sein de la population, il s'observe une forte demande en produits plastiques, de pratique de coupe abusive de bois et la présence de trous non protégés constituant de réservoirs d'eau stagnante dans des nombreuses parcelles; ce qui demeure un danger et pourrait dans l'avenir affecter la capacité de charge de la planète au niveau local. Sur ce point le Rapport « Halte à la croissance » est clair: « la capacité de la terre à absorber la pollution sans diminuer la qualité de l'environnement sera limitée. Une hypothèse pas forcément insensée. (Lauriaux, 2012)

Lors de notre enquête, nous avons trouvé suffisamment d'irrégularités tant au niveau des décideurs locaux en matière de gestion et protection de l'environnement qu'à celui des ménages et apprenants.

Le parcours des textes légaux régissant la gestion et la protection de l'environnement de la RD Congo, montre en suffisance que ces textes sont génériques, abstraits et orientés essentiellement vers la conservation de la nature (faune et flore) au sens strict. Les lois demeurent plus administratives et ne prévoient pas de dispositions pratiques en ce qui concerne la gestion directe de l'environnement au niveau périphérique.

Par contre, un texte parallèle en République du Congo voisin (Loi No.33-2023 du 17 novembre 2023 portant gestion durable) paraît plus fluide en interprétations. Bien que mettant elle aussi un accent particulier sur la conservation de la nature (faune et flore), les dispositions générales à l'article 1^{er} de la loi ci – dessus, fixe le cadre légal de la politique nationale en matière de gestion de l'environnement dans le respect des objectifs et des principes du développement durable et visent avec précision à: « prévenir les risques et lutter contre toutes formes de pollution et de nuisances ». Les Article 8 (alinéa b) et 9 complètent clairement ces dispositions ainsi: « L'État prend des mesures nécessaires pour le respect des plans directeurs des centres urbains, notamment, à travers la mise en place d'une structure de suivi de niveau de chaque municipalité, impliquant toutes les parties prenantes ». L'Article 9 est plus explicite quant à ce: « Il est interdit de déposer, de jeter ou de déverser directement ou indirectement, sur la voie publique, dans les caniveaux et les égouts, des substances toxiques ou des objets quelconques encombrants, dangereux ou insalubres, susceptibles de gêner le passage ou l'écoulement des eaux ». Une telle mesure légale, si elle est accompagnée d'une contravention telle que proposée comme mesure d'amélioration de condition de protection de l'environnement par les répondants lors de notre enquête ne peut souffrir d'aucune faille; au vue de la lucidité de son contenu.

Pour la RD Congo, il y a encore le Décret n° 20/031 du 31 octobre 2020 portant statuts, organisation et fonctionnement d'un Etablissement public dénommé Fonds d'Intervention Pour l'Environnement « FIPE » en sigle (le plus récent). L'Article 3 de ce Décret stipule que « le FIPE a pour mission principale de constituer des richesses matérielles et/ou financières en nature ou en numéraire, pour financer exclusivement la réalisation des différents projets et programmes ayant trait à la protection de l'environnement, à l'écologie et au développement durable ». L'Article 4 rassure que « les fonds du FIPE sont destinés à financer les activités, travaux, projets, programmes:

- de l'Administration du Ministère de l'Environnement;
- des autres secteurs publics dont les activités ont un impact sur l'environnement;
- du secteur privé agréé; et
- des communautés locales ou peuples autochtones.

Cependant, il n'y a pas d'initiatives dans le cadre de la gestion et protection de l'environnement, faute de moyen. Pour preuve, sur tout le territoire d'Aru, il y a une seule organisation du secteur privé trouvée sur place (ADEJEMS) qui, de surcroît, s'est plaint d'absence d'appuis (financier, technique...) ainsi que de manque de texte d'orientation en matière de politique environnementale de la part de l'État congolais. Pourtant l'officier en charge de question environnemental local, représentant direct du Ministère de tutelle reconnaît paradoxalement le travail qu'exécute cette organisation.

Par ailleurs, pas une seule de ces lois ne fait mention des dispositions internationales se référant à l'environnement, moins encore des notions relatives à la mise en place de l'Agenda 21 locale dans leurs politiques respectives. Il n'y a pas non plus d'outils connus qui orientent les interventions dans le secteur environnemental au niveau local.

Le Principe 22 de la Déclaration de Rio souligne que « les populations et communautés autochtones et les autres collectivités locales ont un rôle vital à jouer dans la conservation et la gestion durable de l'environnement du fait de leur connaissance du milieu et de leurs pratiques traditionnelles ». Il ajoute que « les États devraient reconnaître leur identité, leur culture et leurs intérêts, leur accorder tout l'appui nécessaire et leur permettre de participer efficacement à la réalisation d'un développement durable ». Nonobstant un caractère policier, il serait souhaitable à l'instance internationale de rappeler les

pays sur ce qu'ils doivent inclure de plus pratique dans leurs lois respectives eu égard à la gestion et la protection de l'environnement (financement, activités, éducation,...); la meilleure de politique étant celle pouvant atteindre le niveau le plus périphérique possible.

3.2 CONNAISSANCE, CONSCIENCE ET ATTITUDES DES MENAGES RELATIVES AUX QUESTIONS ENVIRONNEMENTALES: PLACE DE L'EDUCATION ENVIRONNEMENTALE NON FORMELLE

La préoccupation au sujet de la protection de l'environnement est ancienne et la question liée à l'éducation environnementale y avait trouvé place depuis belle lurette. L'éducation environnementale est donc une notion qui existe depuis bien longtemps. Par exemple l'apprentissage que donnent les parents à leur progéniture par le biais des travaux manuels à domicile (floriculture d'ornement des parcelles,...), travaux champêtres (semis, récoltes, techniques de conservations des récoltes,...).

Au début des années 60 déjà, les spécialistes du domaine environnemental commencèrent à s'intéresser aux problématiques liées à l'environnement. Cette curiosité s'est approfondie avec le changement de mode de pratique agricole migrant de méthodes artisanales aux celles industrielles (utilisant les machines) en vue d'accroître la production en utilisant une main d'œuvre réduite.

Plus tard, dans les années 70, les problèmes socio – environnementaux intéressèrent les gouvernements et les instances internationales. Dans cette optique, il fut inscrit un besoin pour un projet de dimension mondiale consistant à améliorer la qualité environnementale dans les communautés. Et pour y parvenir, il s'est tenu la Conférence Internationale sur l'environnement humain des Nations Unies en 1972 à Stockholm. L'éducation environnementale y a été consignée comme étant une priorité internationale. Deux autres rencontres internationales (celle de Belgrade en 1975 et la conférence de Tbilissi en 1977) ont renforcé cette priorité en soutien à l'éducation environnementale. Une charte en relation à cette dernière a également vu le jour. Vint par la suite la publication du Rapport « Notre avenir à tous » ou **Rapport Brundtland** de 1987 qui définit pour la première fois le concept du Développement Durable.

L'éducation relative à l'environnement va faire partie d'un des moteurs du Développement Durable. Ce concept est repris lors du Sommet de la Terre en 1992 à Rio de Janeiro (Brésil).

L'éducation environnementale pour résoudre les questions liées aux problèmes environnementaux (depuis lors jusqu' à nos jours) demeure alors d'actualité. Le principe 10 de l'Agenda 21 tel que défini à Rio en 1992 stipule que « la meilleure façon de traiter les questions d'environnement est d'assurer la participation de tous les citoyens concernés, au niveau qui convient. Au niveau national, chaque individu doit avoir dûment accès aux informations relatives à l'environnement que détiennent les autorités publiques, y compris aux informations relatives aux substances et activités dangereuses dans leurs collectivités, et avoir la possibilité de participer aux processus de prise de décision. Les Etats doivent faciliter et encourager la sensibilisation et la participation du public en mettant les informations à la disposition de celui-ci. Un accès effectif à des actions judiciaires et administratives, notamment des réparations et des recours, doit être assuré ». Il convient de souligner dans cette pensée que la gestion efficace de l'environnement passe par plusieurs facteurs dont l'éducation environnementale. L'information est donc l'une des armes les plus efficaces afin d'améliorer les connaissances de l'individu sur ce qu'il est censé faire ou pas. En plus, celles – là doivent être précises et régulières pour une effectivité dans la mise en pratique des notions apprises.

Le Principe 8 de la Charte de la terre recommande pour l'Intégrité écologique de « Faire progresser le savoir sur la durabilité écologique et promouvoir le libre – échange et l'application élargie des connaissances acquises ». Ainsi, le point c) de ce principe sous -entend « s'assurer que toute information d'une importance vitale pour la santé humaine et la protection de l'environnement, y compris l'information génétique, est accessible au public ». Naturellement, l'absence des bonnes informations entraîne des pratiques soit lacunaires, soit abusives (de gré ou non). Les différentes réponses nous fournies par les enquêtés dans différents groupes (FGD, Ménages,...) témoignent de cette confusion. Une importante proportion des ménages évacue leurs déchets directement dans les trous à ordures sans les séparer selon leurs natures alors que les mêmes répondants estiment qu'il faut brûler les déchets non biodégradables.

D'autre part, les mêmes individus qui acceptent que leur mode de vie impacte négativement sur l'état de l'environnement ne font paradoxalement rien comme méthode de destruction de déchets. Ceux qui disposent des poubelles, déversent dans les trous à ordures les déchets sans les traiter tout en reconnaissant que les produits en polyéthylène constituent un élément important de pollution environnementale; allant jusqu'à confirmer qu'ils rencontrent souvent de difficultés à travailler dans leurs jardins à domicile à cause de déchets non dégradables qui les encombrant. Pourtant il vaut mieux en être au courant selon les résultats de l'étude menée par l'Académie des Sciences de l'Institut de France en 2016 que « les plastiques, polymères de composition très variable, sont devenus des objets d'usage courant. Difficiles à recycler et difficilement digérables par les micro-organismes, ils sont une source de pollution pour l'environnement dès lors qu'ils sont produits massivement pour des

utilisations à durée brève, souvent inférieure à l'année, ou à usage unique. Considérés alors comme déchets, ils sont jetés dans des décharges, souvent mal contrôlées, ou transportés dans des centres de tri où seule une faible fraction sera effectivement recyclée. Une grande part des plastiques utilisés est rejetée dans l'environnement où ils se dégradent et polluent continents, eaux douces et océans ».

Une proportion confirme par ailleurs que ces déchets peuvent constituer dans l'avenir une source d'appauvrissement de sol, réduisant ainsi le rendement agricole et même entraînant la malnutrition. À en croire ces différentes déclarations, pour certains, la connaissance y est mais pas suffisante et pour d'autres, elle est trop faible. Pour le prouver, les pratiques sont contradictoires avec le savoir. L'éducation environnementale serait donc une priorité incontournable en vue de la gestion et protection de l'environnement dans l'optique d'un développement durable. Dans le contexte nous concernant, nous comprenons comme Yelkouni; l'éducation environnementale comme « un ensemble de modes éducatifs qui ont pour objet de promouvoir des comportements individuels et collectifs, susceptibles de favoriser un rapport harmonieux entre les hommes et leurs milieux de vie ». D'une éducation environnementale de qualité résulterait ipso facto, une harmonie entre les individus et leur environnement. Nous pouvons conclure sans nous tromper que dans la plupart de cas des répondants de l'espace de notre investigation, que l'éducation environnementale est lacunaire voire absente à un certain niveau. Les responsables locaux de service de la protection de l'environnement représentant le Ministère ayant à sa charge la protection de l'environnement l'ont confirmé par leurs réponses respectives. Tout d'abord, les textes dont ils disposent sont abstraits et puis non exploités. Ils ne disposent non plus d'outils liés à la politique de leurs actions. De deux, tous ont été unanimes que les séances de sensibilisation de la population ont pour thématique principale, le reboisement.

Certes, ce volet est aussi une préoccupation pour la région. Bien qu'en proportion tant soit peu minime, les sensibilisations sur le reboisement arrivent à porter des fruits en certains endroits, la thématique quant à la gestion de déchets afin de réduire la pollution de l'environnement direct semble mise dans l'oubliette. Conséquence directe, la population vit dans un environnement pollué des produits non – biodégradables. Cette même population reconnaît qu'une importante accumulation de ces déchets constitue un danger à l'avenir. Et finalement L'absence d'une éducation environnementale ciblant la thématique, laisse les individus désarmés en connaissances et consciences. Par conséquent, ils ont une attitude et pratique lacunaires dans la gestion et la protection de l'environnement direct aux individus. L'éducation environnementale est une variable incontournable pour obtenir un changement positif et assurer l'atteinte d'un développement durable à travers une gestion responsable de l'environnement.

3.3 LES POLITIQUES SCOLAIRES SUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT: STRUCTURE ET IMPACT DE L'EDUCATION ENVIRONNEMENTALE

Dès le bas âge, l'acquisition d'une connaissance structurée peut être assez fructueux d'autant plus que les enfants ont la facilité de mettre en pratique les connaissances acquises. En plus, ils ont beaucoup moins de maladresses s'ils sont suivis par les adultes. Un second avantage relève du respect ainsi que la confiance que les apprenants accordent à leurs formateurs. Les informations acquises pendant la période juvénile sont les mieux assimilées et utilisées même jusqu'à l'âge le plus avancé. L'éducation dans ce sens doit mettre plus d'accents sur le savoir, le savoir-faire et le savoir – être. Et l'éducation environnementale n'échappe pas à cette logique. Au niveau international, l'UNESCO parle d'éducation au développement durable. Elle stipule que « cette forme d'éducation donne aux apprenants les moyens de prendre des décisions en connaissance de cause et d'entreprendre des actions responsables en vue de l'intégrité environnementale, de la viabilité économique et d'une société juste pour les générations présentes et à venir, et ce dans le respect de la diversité culturelle. La stimulation précoce du développement cognitif des enfants a d'importants effets positifs sur leurs trajectoires futures. Fournir des services d'éducation et de protection de la petite enfance précoces et de qualité a un impact positif plus important sur les enfants, et constitue donc un bon investissement, exerçant une influence positive à long terme sur leur réussite éducative. ». (UNESCO, 2014).

L'éducation à l'environnement ou au développement durable se fixe trois objectifs: le savoir (la compréhension de la complexité des relations entre les êtres vivants et leur environnement); le savoir-faire (développement de la curiosité, la capacité à observer, à comprendre, à penser, à imaginer et à agir) et le savoir-être (la responsabilisation, l'engagement individuel et collectif à développer des attitudes de respect vis-à-vis de soi-même et d'autrui, de son environnement et de la société). La question de l'éducation environnementale tant informelle que scolaire a été évoquée lors de la conférence de Tbilissi en 1977. Cette assise selon Joy TOUPET, recommanda explicitement aux États membres d'adopter des politiques nationales en faveur de l'éducation environnementale. Il y a été reconnu que « l'éducation possède un rôle capital à jouer face aux problèmes de l'environnement et aux possibilités qu'il offre. L'éducation relative à l'environnement devrait être intégrée à tous les niveaux du système scolaire afin que le grand public et de nombreux groupes professionnels acquièrent les connaissances, la compréhension, les aptitudes et le sens des valeurs dont ils ont besoin pour participer à la recherche des

solutions en matière d'environnement. L'enseignement non scolaire a lui aussi une contribution extrêmement importante à apporter. La pleine utilisation des moyens de grande information à des fins vraiment éducatives aiderait également à généraliser la conscience et la compréhension de ces questions »

Pour l'UNESCO, quatre axes sont essentiels pour la mise en œuvre d'une politique d'éducation environnementale: la promotion et l'amélioration de l'éducation de base; la réorientation des programmes d'éducation existants dans l'optique du développement durable; l'information et la sensibilisation des publics à la notion de durabilité; la formation de la population active. La mise en place d'une politique d'éducation pour l'environnement effective nécessite aussi la coopération multisectorielle: le ministère de l'Éducation, le ministère responsable de l'environnement, les ONG, les associations, etc.

Dans l'espace de la présente étude, à la grande surprise, les choses ne suivent pas la logique de la réflexion ci – dessus. En effet, l'évaluation des connaissances des apprenants tant au niveau primaire que secondaire démontre à suffisance que les informations au regard de la protection et gestion de leur environnement par eux – même n'est pas une question à l'ordre du jour. Si la majorité d'entre eux acceptent que leur environnement direct est pollué, ils n'ont pas de proposition concrète à faire pour l'amélioration de la situation. En ce qui concerne l'impact de la dégradation de l'environnement, dans la plupart de cas comme pour les responsables des ménages, la plupart des apprenants reconnaissent plus la maladie comme conséquence de la dégradation de l'environnement. Ces maladies sont entre autres: le paludisme, la fièvre typhoïde et les diarrhées. Pourtant, il n'existe que trop peu ou pas une corrélation entre ces maladies et la dégradation de l'environnement. Dans la majorité des réponses des participants aux différents Groupes à Discussions Focalisées, la coupe abusive d'arbre, la présence des trous contenant des eaux stagnantes (dans les parcelles suite à la fabrication des briques) ainsi que l'accumulation des immondices dans les lieux publics, généralement les marchés ont été les plus relevés. Cela est influencé par les contenus des cours que les responsables ont indiqué comme touchant à l'aspect de l'environnement. Ces cours sont essentiellement constitués de la Géographie, de l'éducation pour la santé et l'environnement, l'éducation civique et morale, la Science botanique, l'écologie ainsi que la systématique des végétaux. En fait, pour ce qui concerne les contenus de ces différentes disciplines, si l'on en croit les réponses des enseignants, ils s'apparentent presque essentiellement à l'hygiène et assainissement ainsi que dans une moindre mesure à l'observation de la nature. De plus, les portées sont plus théoriques que pratiques du point de vue gestion et protection de l'environnement. Un enseignant présent dans une des FGD a, partant de ses propres expériences, constaté que de tout ce qu'il enseigne, les apprenants ne mettent qu'en pratique plus l'aspect lié à l'hygiène corporelle et dans une très moindre mesure, l'Assainissement du milieu. Ce qui recoupe les réponses aux questions adressées aux apprenants qui, demeuraient essentiellement sur les maladies comme conséquences de la dégradation de l'environnement, bien qu'une infime proportion se soit attelée sur les odeurs, la pollution de la nature et la présence des insectes vecteurs des maladies. Les notions liées aux problèmes de l'environnement tels que vécus par rapport à la dégradation de celui – ci ne sont pas intégrées dans les objectifs du cours. Cela pourrait avoir comme conséquence logique, un savoir lacunaire ou de bas niveau et un savoir – faire presque inexistante et sans savoir – être. Il a été constaté par ailleurs dans les réponses d'une des institutrices du niveau primaire que penser à l'éducation environnementale au niveau primaire serait « trop précoce » voire « inutile », selon ses propres termes. Un tel formateur aurait peu ou pas de motivation et ne pourrait transmettre aux apprenants que des notions jugées utiles selon son gré.

Selon KARA cité plus haut: « L'éducation environnementale apporte une contribution efficace au développement durable ». Cela sous – tend selon nous qu'il faut des préalables y relatifs. Il faudrait que les responsables gouvernementaux et les décideurs qui s'occupent des politiques de l'éducation s'attaquent à la question de la réforme de l'éducation. Une réforme de l'éducation qui devrait aboutir sur les transformations structurelles, par exemple un rapprochement des responsables de l'éducation, des médias et des entreprises privées. Il faut pour cela que certaines conditions essentielles soient remplies entre autres:

- Garantir un large accès à l'information: une éducation qui contribue à former des citoyens bien informés et motivés, prêts à agir;
- Promouvoir le savoir scientifique et technologique: il est nécessaire de valoriser les ressources humaines dans les domaines de la science et de la technologie pour améliorer les compétences et le bien-être socio-économique des individus;
- Renforcer la coopération internationale et régionale;
- Améliorer la qualité de l'éducation;
- Financer l'éducation et la formation relatives à l'environnement: une part des budgets alloués à la planification du développement devrait en être consacrée;
- Mettre en équation la viabilité de l'environnement et le bien-être de l'homme, en garantissant le respect des droits de l'homme, la démocratie, l'État de droit et des conditions d'existence pacifiques;

Tout de même, la bonne compréhension et la motivation doivent commencer à partir du vecteur de message (formateur). Il doit donc posséder les bonnes informations quant à la thématique. En plus, un système de suivi, structuré doit être mis en place afin de s'assurer que les acquis bénéficient effectivement à la communauté.

3.4 PRATIQUES DE LA COMMUNAUTE LOCALE DANS LA GESTION QUOTIDIENNE DE L'ENVIRONNEMENT

Les pratiques sont les résultats visibles, palpables des informations reçues. Ce sont exactement les manifestations émanant des savoirs dont l'auteur aurait été bénéficiaire. En ce qui concerne la gestion et la protection de l'environnement, ces pratiques doivent être le reflet direct du développement durable, pour ainsi dire que l'éducation environnementale reçue doit elle aussi, intégrer le concept du développement durable. L'éducation à l'environnement ou au développement durable se fixe trois objectifs parmi lesquels, **le Savoir – faire**: elle doit développer la curiosité, la capacité à observer, comprendre, penser, imaginer et agir.

Revêtue de réalité ci - dessus, il est très possible que les pratiques issues de l'éducation environnementales satisfassent aux conditions d'atteinte du développement durable. La mise en place d'une éducation environnementale dépourvue de savoir – faire n'aurait que pour résultats des pratiques désorientées et ne pouvant pas contribuer à l'atteinte d'un développement durable. Une étude que nous avons effectuée en 2017 sur l'utilisation des moustiquaires imprégnée d'insecticide à longue durée (MILD) dans la commune rurale d'Aru a révélé par exemple qu'après que ce matériel soit hors – usage, sa manipulation devient un véritable casse – tête au vu de la protection de l'environnement. En fait, les résultats de cette étude ont pu identifier 2 principaux problèmes que peut poser la gestion maladroite de Moustiquaire Imprégnée d'Insecticide à effet rémanent hors usage:

Le premier est celui lié à la nature textile de la Moustiquaire: « Les MILD peuvent être fabriquées en coton ou tissus synthétiques mais la préférence est donnée aux tissus synthétiques multi – filaments comme le nylon et le polyester, qui sont tous non biodégradables: première raison d'inquiétude pour tout naturaliste averti. Enfin, il se pose le problème relatif au type d'insecticides imprégnant ces Moustiquaires: en fait, les insecticides utilisés dans la fabrication de la MILD répondent tous aux spécifications de l'OMS; et là, aucun problème ne se pose. Seulement que l'on respecte l'utilisation correcte des moustiquaires jusqu'à sa destruction, si elles ne sont plus utiles. En cas d'usage abusif, ces Moustiquaires deviennent un danger inévitable pour l'environnement et de facto, pour la santé. Les deux insecticides utilisés étaient le Deltaméthrine ou la Permethrine, utilisés principalement comme insecticides et répulsifs pour les insectes ou les serpents en raison de leurs propriétés neurotoxiques. A des doses élevées, le Deltaméthrine est mortel; il doit être utilisé avec beaucoup de précautions dans l'environnement. Sa toxicité est élevée en milieu aquatique.

Quant à la perméthrine, sa cible est le système nerveux des insectes. Elle est utilisée pour tuer ou éloigner les insectes (fourmis, moustiques, mouches, poux, puces, cafards, etc.) et les arachnides (araignées, scorpions, sarcoptes, tiques, etc.). Les solutions aqueuses de perméthrine résistent à plusieurs lavages du linge.

Comme les autres pyréthrinoides, la perméthrine est neurotoxique. Même si sa toxicité chez l'humain n'est pas encore prouvée, il convient de mentionner qu'elle est très toxique pour des nombreux animaux, et en particulier les chats et les animaux à sang froid comme les batraciens ou les insectes. Les poissons sont également très sensibles à la perméthrine ». (Kisembo, 2017)

Cependant, pouvait – on trouver leurs débris dans tous les coins possibles: ruisseaux, jardins, rues,...

Sans penser aux risques, les Moustiquaires hors – usage ont été transformés aux enclos des jardins, aux filets de jeu de football pour enfants, aux lianes de construction des maisons, aux rideaux des latrines et douches ou tout simplement jetées dans la nature. Tout cela avait pour causes la sous – information sur le danger de la gestion maladroite de MILD, une fois hors – usage; mais aussi, en grande partie, l'absence de l'éducation environnementale auprès du public utilisateur.

Dans la pratique, les apprenants comme les responsables des écoles ont des points communs démontrant qu'il y a de lacunes dans la gestion et la protection de l'environnement. La majorité des écoles ne disposent pas de poubelles. Comme dans les ménages, elles n'ont que des trous à ordures dans lesquels, les élèves (en présence d'un enseignant surveillant) déversent les déchets (toute nature confondue). Les écoles disposant des poubelles, remplissent celles – ci avec tous les types de déchets pour ensuite immédiatement les déverser dans les trous à ordures. Les ordures les plus citées pour être brûlées sont les papiers parce que considérés comme étant encombrants. En ce qui concerne les ménages, rares sont ceux qui disposent des poubelles et s'ils en ont, les déchets ne sont pas triés avant leur destruction finale. Comme dans les écoles, ils ont déversé leurs déchets immédiatement dans les trous à ordures. Certains ont affirmé qu'ils trient les déchets une fois les trous à ordures remplis et c'est par la suite que les ordures non dégradés (plastiques,...) sont à l'occasion, brûlés, mais comme eux – mêmes l'ont affirmé, cela brûle difficilement à cause de l'humidité ou des terres que revêtent ces ordures. Dans un des groupes, les répondant ont reconnu que les sachets non brûlés sont laissés et entraînés par le vent pour s'en débarrasser et que cela constituerait (selon eux) aussi une des méthodes d'évacuation d'ordures.

Cette dernière pratique est une dangereuse, d'autant plus que ces sachets plastiques divagant dans la nature constituent une source de pollution en ce sens qu'au – delà de contrôle direct, personne ne s'en occuperait. Somme toute, l'analyse de la situation environnementale démontre qu'en amont, il se pose principalement le problème eu égard à l'absence d'une politique environnementale au niveau local. L'absence ou les lacunes de cette politique entraine une sous - information de la communauté ainsi qu'une politique de l'éducation environnementale moins agissante sur les questions liées à l'environnement. Les conséquences sont que les attitudes et pratiques de la collectivité témoignent d'une faible conscience quant en ce qui concerne les questions environnementales avec ses corollaires. Le schéma ci – dessous illustre la situation environnementale de la commune rurale d'Aru.

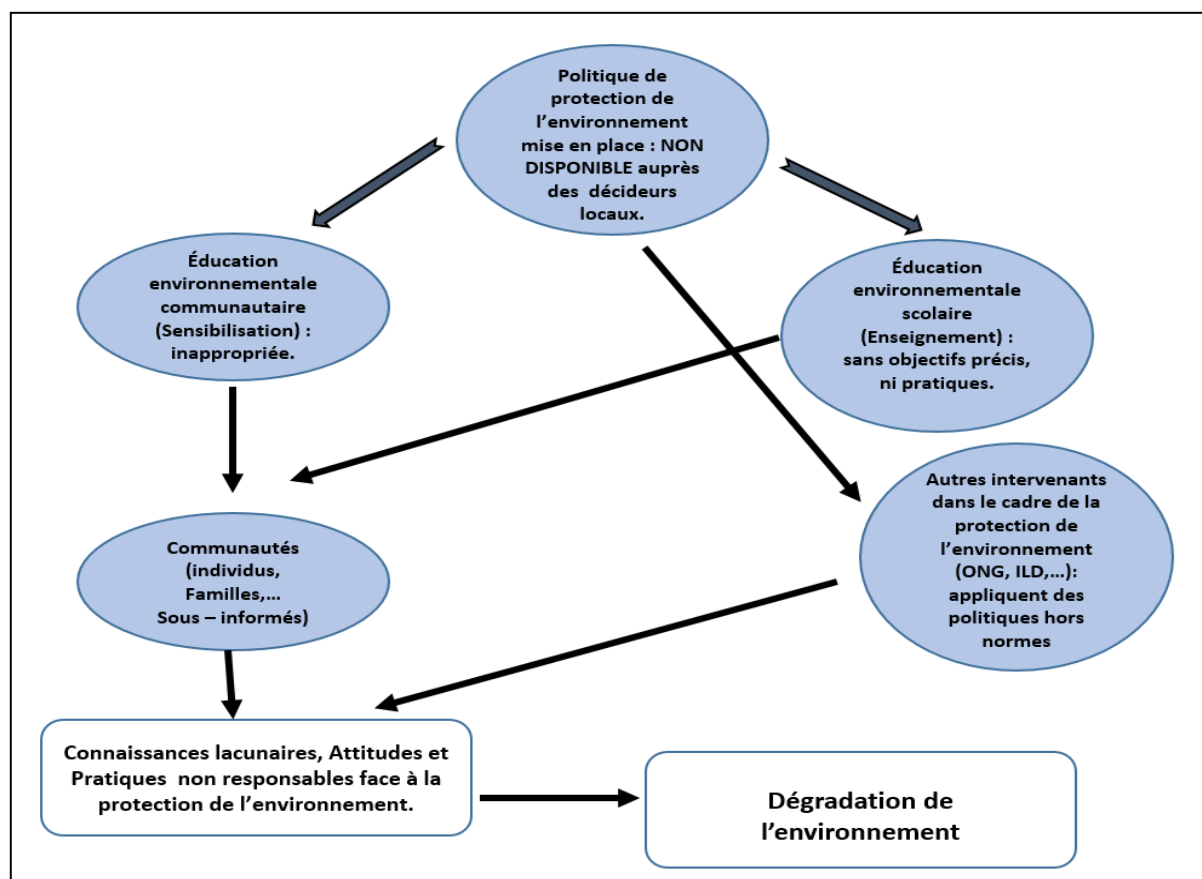


Fig. 1. Analyse de la situation environnementale dans la commune rurale d'Aru

Source: Les auteurs

3.5 PROPOSITION D'UN MODELE D'OUTIL PRATIQUE POUR LA GESTION DURABLE DE L'ENVIRONNEMENT

Le mot outil est défini dans le Grand Robert comme « *Objet fabriqué, conçu et fait pour agir sur la matière, pour exécuter un travail, produire un objet* ».

Un outil ne doit pas être nécessairement statique mais le plus souvent, il est dynamique et capable d'être adapté par l'organisation pour mieux répondre à ses desiderata.

Avant de proposer un modèle d'outil pratique pour la gestion durable de l'environnement, nous nous sentons obligés de présenter les opinions des enquêtés ayant participé à la présente étude sur les failles dans les chefs des uns et des autres. En fait, nous avons demandé à trois catégories des répondants (ceux du FGD, les apprenants ainsi que les responsables des ménages) sur les constants faits et les pratiques rétrogrades, relatives à la gestion et protection de l'environnement dans leur milieu. Partant des faiblesses constatées, les participants ont donné des nombreuses lacunes que nous avons répartie en 3 catégories (responsabilités):

a) Responsabilités du pouvoir publique

- Absence de services de l'environnement avec la population (les services de l'environnement représentant le ministère de tutelle sont méconnues par la population et paraissent inexistantes)
- Manque d'appuis du gouvernement pour les questions liées à l'environnement (cette question a été soulevé par ADEJEMS, la seule ONG – locale ayant pour activités le recyclage des déchets dans la commune d'Aru. En effet, la responsable s'est plaint de manque totale d'appui du gouvernement dans ses programmes (financier, politique comme technique);
- Usage plus courant de sachets plastiques et inexistence d'un système de recyclage de ces produits par les ménages (Selon les enquêtés, l'existence des dispositifs de collectes des déchets serait salubre tant soit peu dans la réduction de la pollution environnementale d'autant plus que l'usage de sachet plastique est actuellement presque lié à la vie au quotidien).
- Manque de service de contrôle de gestion WASH dans les ménages (Ce service du pouvoir publique pourrait aider à changer certaines mauvaises pratiques en réveillant les consciences dormantes face aux probables retombées des contraintes judiciaires)
- Urbanisation ne respectant pas les normes environnementales (ici les enquêtés se réfèrent aux services publiques de l'État qui, de fois, exécutent ses prérogatives sans respect des normes);
- Pas d'organisation des travaux manuels collectifs contraignants (afin de réveiller les consciences dormantes);
- Peu d'intérêt aux activités pratiques relatives à l'éducation scolaire à l'environnement dans les programmes scolaires.

b) Responsabilités des intervenants dans les questions environnementales

- Inexistence des poubelles dans les lieux publics (ainsi pour rendre pratique les connaissances acquises au travers l'éducation environnementale);
- Faible niveau de sensibilisation et éducation environnementale de masse;

c) Responsabilités individuelles

- Peu ou pas de conscience individuelle sur l'état actuel de l'environnement;
- Pas de préoccupation sur la présence des trous à ciel ouvert, pas de souci pour les eaux qui y stagnent dans les parcelles;
- Coupures intenses d'arbres (même ceux fruitiers) sans aucun souci de reboisement.

L'émergence des problématiques environnementales contribue à élargir son rôle et à le soumettre à des problématiques parfois contradictoires entre enjeux économiques et enjeux environnementaux. Différentes activités de Développement comme les urgences impactent sur l'environnement. Il est donc impérieux d'évaluer ces impacts sur l'environnement.

L'évaluation de l'impact environnemental passe inévitablement par la mise en place d'outils spécifiques ou l'adaptation d'outils existants. « En adoptant une logique d'innovation incrémentale, ces outils s'adaptent à la démarche environnementale » (Drevet, 2005). Directement issus de cette approche, les outils de gestion environnementaux se développent et sont adoptés par les entreprises novatrices en la matière. Parmi ces outils, on distingue ceux dont le but est d'encadrer la stratégie environnementale (les normes, certifications, chartes et procédures d'audit) et des outils plus techniques (tableau de bord vert, écobilan, évaluation monétaire des impacts environnementaux...) développés par des groupes de travail sur la mesure de la performance environnementale (Tyteca et al. 2000) qui viennent intégrer le système de gestion une fois que le cadre est posé. (Sorokine, 2008).

La tenue des différentes responsabilités mentionnées plus haut ne sont possibles que si et seulement si les outils sont disponibles et exploités à bon escient. Les responsabilités de chaque partie en ce qui concerne la gestion et la protection de l'environnement doivent concourir à l'atteinte du Développement Durable. Il existe des nombreux outils de gestion de l'environnement. La revue de littérature nous a permis d'en relever un certain nombre, classés (selon l'usage) en ceux de pilotage, de suivi et de diagnostic.

En plus, en vue de permettre une efficacité dans la gestion et la protection de l'environnement, les outils de gestion environnementaux doivent être couplés à la norme ISO 14001.

La norme ISO 14001 est une norme internationale qui définit les critères auxquels doit répondre un système de management environnemental efficace. Elle établit un certain nombre d'exigences (critères) que les entreprises peuvent appliquer pour améliorer leur performance environnementale. Par exemple, en favorisant une utilisation rationnelle des ressources et une gestion optimale des déchets. Les exigences de la norme concernent, entre autres:

- L'état des lieux des processus et des activités de l'entreprise et leur impact sur l'environnement;
- La mise en place d'une politique environnementale, qui définit les objectifs de l'entreprise
- La planification qui cadre avec le plan d'action de l'entreprise pour satisfaire sa politique environnementale;
- La mise en œuvre des actions planifiées;
- Les contrôles et actions permettant de mesurer la réalisation des actions et le bon fonctionnement du système de management environnemental
- La revue de direction qui vérifie l'efficacité de la politique environnementale et la conformité des actions planifiées à la législation, aux réglementations applicables et à la norme ISO 14001.

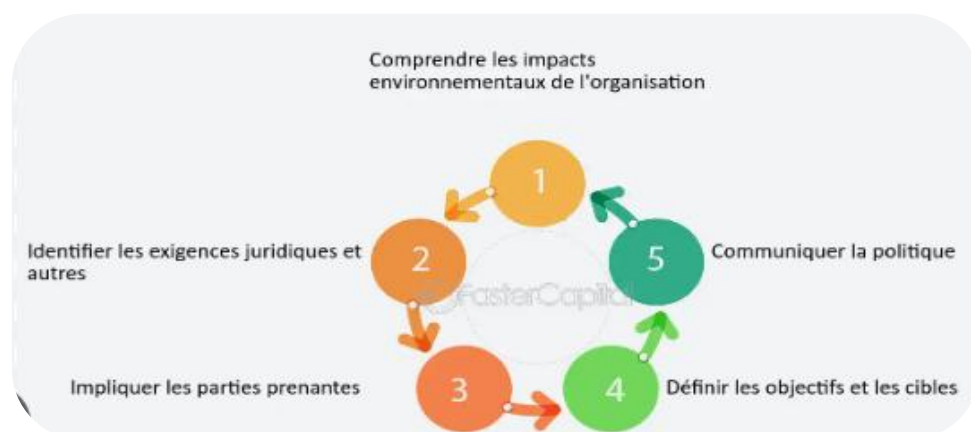


Fig. 2. Etapes d'implémentation de la norme ISO 14001

SOURCE: FasterCapital: <https://fastercapital.com/fr/contenu/ISO-14001-La-gestion-environnement-est-facilitee-avec-les-normes-ISO.html>

1. Comprendre les impacts environnementaux de l'organisation: Il s'agit d'un état des lieux initial à l'issue duquel on connaîtra exactement l'influence de la société sur les milieux locaux
2. Identifier les risques juridiques et autres: Cette étape devrait, selon la logique de la norme, être réalisée en premier.
3. Impliquer les parties prenantes: Il s'agit de l'engagement de la direction pour la protection de l'environnement. Elle devra être disponible pour le public, communiquée aux personnes travaillant pour l'organisme voire aux différents partenaires qu'ils soient institutionnels ou non.
4. Définir les objectifs et cibles: Ces objectifs et cibles devront être assortis d'un calendrier précisant les délais à respecter pour les atteindre et de critères internes pour le suivi des actions menées.

Communiquer la politique: Il est important que tout soit décrit et que chacun des collaborateurs à quelque niveau que ce soit ait la possibilité de s'exprimer par écrit sur ce qu'il fait ou ce qu'il a remarqué dans n'importe quel domaine.

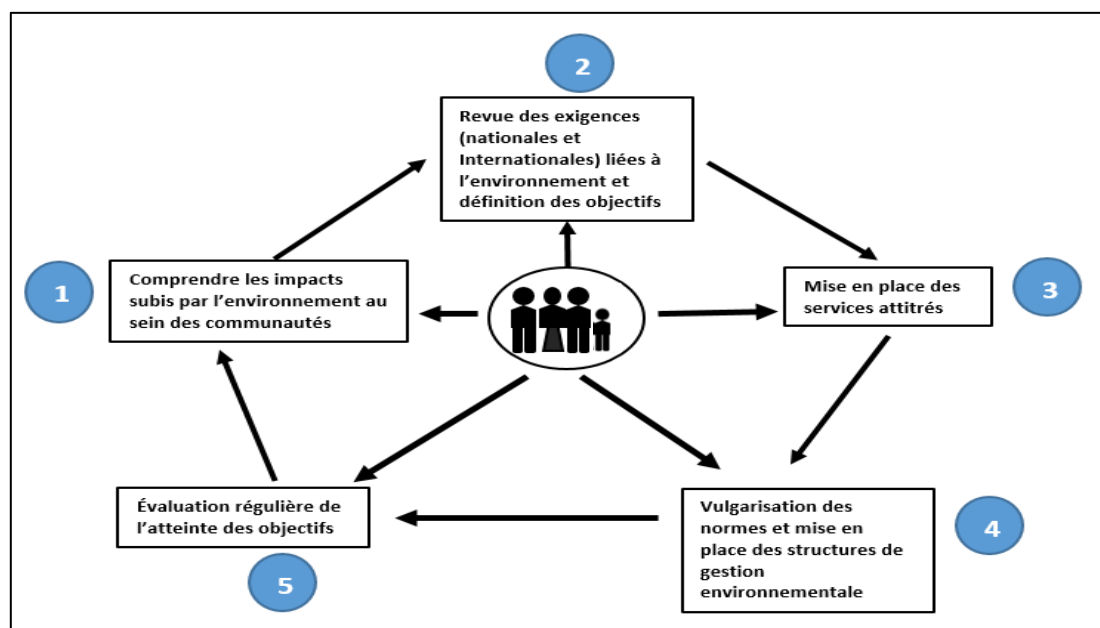


Fig. 3. Modèle Cyclique axé sur la pleine participation communautaire (proposé par les auteurs)

Après échange d'idées avec différents participants aux FGD, nous avons abouti au modèle de gestion et protection environnementale ci – dessous (inspiré de: « **Étapes d'implémentation de la norme ISO 14001** ») tel que proposé par FasterCapital (au – dessus).

Ce modèle de gestion est un cycle et comprend par ordre ascendant: la compréhension des impacts subis par l'environnement au sein de la communauté, la revue des exigences (nationale et internationale liée à l'environnement, la mise en place des services attirés, la vulgarisation des normes et mise en place des structures de gestion environnementale jusqu'à l'évaluation de l'atteinte des objectifs fixés au départ et ainsi de suite (étant un cycle); le plus important étant de faire participer la communauté activement à chaque étape.

Il est souhaitable que ce modèle arrive à inclure (dès l'étape 2) les critères de la **norme ISO 14001** ainsi que les prescrits de l'**Agenda 21** (adapté aux réalités locales).

4 CONCLUSION

Dans un avenir beaucoup plus proche, juste un quinquennat plus tard, d'ici 2030, le monde passera en revue les résultats escomptés des travaux effectués en vue de l'atteinte des Objectifs du Développement Durable (ODD). Apparue pour la première fois en 1987, la notion de « développement durable » fait référence à un développement économique soutenable pour l'environnement, autrement dit qui n'altère pas l'environnement et à même d'inverser la tendance en limitant la capacité de charge de la planète. Comme tous les autres, l'ODD 15: « Préserver et restaurer les écosystèmes terrestres, en veillant à les exploiter de façon durable, gérer durablement les forêts, lutter contre la désertification, enrayer et inverser le processus de dégradation des sols et mettre fin à l'appauvrissement de la biodiversité » sera lui aussi, évalué.

Cette étude montre que les questions environnementales présentent encore de nombreux défis. Il y a donc nécessité de considérer l'environnement en tant qu'une approche transversale dans le vécu quotidien des ménages pour ainsi arriver une bonne gestion, à la protection et à la promotion de l'éducation environnementale dans la commune d'Aru, en Province de l'Ituri, au Nord-Est de la RD Congo.

REFERENCES

- [1] ANONYME, 2016. Agenda 21 de Rio, 1992, Développement durable, Texte historique.
[En ligne] Available at: <http://www.adequations.org/spip.php?article243>.
- [2] Bouvier, A., 1989. La protection de l'environnement naturel en période de conflit armé. *Revue Internationale de la Croix - Rouge*, Issue 792.
- [3] CONGO-BRAZZA, 2023. Loi No. 33-2023 du 17 novembre 2023 portant gestion durable de l'environnement en République du Congo. Brazzaville : s.n.
- [4] FLORENCE, L., 2012. Halte à la croissance !
[En ligne] Available at: https://www.carhop.be/images/Halte_croissance_F.LORIAUX_2012.pdf
- [5] HANDL, G., 2013. Environnement : Les Déclarations de Stockholm (1972) et de Rio (1992).
[En ligne] Available at: https://legal.un.org/avl/pdf/ha/dunche/dunche_f.pdf
- [6] IFC, 2015. Système de Gestion Environnementale et Sociale : Manuel de gestion.
[En ligne] Available at: <https://www.ifc.org/content/dam/ifc/doc/mgrt/esms-handbook-general-v21-fr.pdf>
- [7] JENSEN, A. M. e. D., s.d. Gestion des questions environnementales : arguments en faveur d'une réforme substantielle. *Revue Migrations Forcées*, Issue 29, pp. 46-47.
- [8] KALU, I., 2023. Module Approches transversales : Unité 2, Environnement. Madrid: s.n.
- [9] KARIMA, K., s.d. Notions d'environnement et développement durable.
[En ligne] Available at: <https://fac.umc.edu.dz/snv/faculte/tc/2020/Chap%201%20Environnemenr%20et%20developpement%20L2%202020.pdf>
- [10] KISEMBO, J., 2017. La Moustiquaire Imprégnée d'Insecticide à longue durée d'Action : ce sauveur des vies au rendez - vous manqué ?. *REVUE ACTION COMMUNAUTAIRE*, Issue 003.
- [11] LABORIEUX, E., 2008/2009. MemoireOnline. [En ligne] Available at: <https://www.memoireonline.com/05/09/2041/les-problemes-du-developpement-de-lenvironnement.html> [Accès le 22 Juin 2024].
- [12] LECOINTRE, E., 2024. L'Agenda 21 Local: Outil privilégié du Développement Durable pour l'Exercice de la Gouvernance ? : Essai d'évaluation de la participation citoyenne dans les agendas 21 département aux Français. s.l.: Université de Tours.
- [13] ONU, s.d. Action 21. [En ligne] Available at: <https://www.un.org/french/ga/special/sids/agenda21/action0.htm>
- [14] ONU, s.d. Charte de la terre. [En ligne] Available at: https://earthcharter.org/wp-content/assets/virtual-library2/images/uploads/echarter_french1.pdf
- [15] Piéchaud, L. C. N. H. J.-P., s.d. Agenda 21 Local. [En ligne] [Accès le Mardi Juin 2024].
- [16] RDC, 2014. Loi n° 14/003 du 11 février 2014 relative à la conservation de la nature. Kinshasa: s.n.
- [17] RDC, 2020. Décret n° 20/031 du 31 octobre 2020 portant statuts, organisation et fonctionnement d'un Établissement de public dénommé, Fonds d'Intervention Pour l'Environnement «FIPE» en signe. Kinshasa: s.n.
- [18] SOROKINE, I., 2008. Evaluation de l'impact environnemental : le rôle des outils de gestion.
[En ligne] Available at: <https://fastercapital.com/fr/contenu/ISO-14001--La-gestion-de-l-environnement-est-facilitee-avec-les-normes-ISO.html#Comprendre-les-normes-ISO-14001>.
- [19] TOUPET, J., 2019. Éducation non formelle à l'environnement : fondements sociohistoriques et modalités d'expression territoriale, s.l.: s.n.
- [20] UNESCO, 2014. Le Développement Durable commence par l'éducation : comment l'éducation peut contribuer à la réalisation des objectifs proposés pour l'après 2015. [En ligne] Available at: www.efareport.unesco.or.
- [21] YELKOUNI, M., s.d. Les outils du Développement Durable : Module 4.
[En ligne] Available at: https://www.objectif2030.org/media/modules_pdf/MOOC_module-4_web_CiPmOnz.pdf

Dimensionnement et optimisation des architectures de réseaux: Revue de la littérature

[Review on network architecture sizing and optimization]

Maloba Mbuya Firmin¹, Kaseraka Selain², Fyama Mwepu Blaise³, Kalombo Nshimba Daily⁴, and Kasoro Mulenda Nathanael⁵

¹Chef de Travaux, Institut Supérieur de Statistique de Lubumbashi, RD Congo

²Professeur, Université de Kinshasa, Faculté des Sciences et Technologies, RD Congo

³Professeur, Université de Lubumbashi, Faculté Polytechnique, RD Congo

⁴Professeur, Institut Supérieur de Statistique de Lubumbashi, RD Congo

⁵Professeur ordinaire, Université de Kinshasa, Faculté des Sciences et Technologies, RD Congo

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The increase in the number of workstations, the need to diversify applications and the rise in traffic are prompting a reassessment of network capacity in order to guarantee quality of service and cope with increasingly frequent congestion. Many authors address the sizing of networks, whether physical, virtual, software-based, fibre optic or wireless, by quantifying traffic in order to determine network behaviour.

By superimposing each of these studies, it becomes clear that future research on dimensioning will be based on machine learning models with a view to continuously adapting to the overall behaviour of the network.

KEYWORDS: sizing, optimization, network, metrics.

RESUME: L'augmentation du nombre de postes, le besoin de diversification des applications et la montée en charge du trafic poussent les organisations à réévaluer la capacité de leurs réseaux pour garantir la qualité de service et faire face à la congestion de plus en plus récurrente. De nombreux auteurs abordent le dimensionnement des réseaux qu'ils soient physiques, virtuels, logiciels, sur fibres optiques ou sans fils à partir de la quantification du trafic afin de déterminer le comportement du réseau.

En superposant chacune des recherches, il est apparu que les futures recherches sur le dimensionnement seront basées sur des modèles d'apprentissage automatiques en vue de s'adapter continuellement au comportement global du réseau.

MOTS-CLEFS: dimensionnement, optimisation, réseau informatique, métriques.

1 INTRODUCTION

Les besoins d'adéquation entre les ressources des réseaux et les usages présents et futurs dans le but de garantir la performance et la fiabilité conduisent les organisations à revoir les architectures de leurs réseaux informatiques.

A ce jour, l'évolution des besoins des utilisateurs notamment l'augmentation du nombre de postes, le besoin de diversification des applications et la montée en charge du trafic poussent à réévaluer la capacité du réseau pour garantir la qualité de service et faire face à la congestion de plus en plus récurrente.

Les problèmes de performances constatés, notamment des dégradations du service durant les heures de pointes ont conduit à des incidents récurrents.

Ainsi, administrer les systèmes informatiques exige la mobilisation de ressources suffisantes capable de couvrir toutes les succursales pour escompter un traitement efficient et en temps réel.

La présente étude porte sur la revue de la littérature du dimensionnement des architectures des réseaux informatiques et leur optimisation.

2 METHODES, TECHNIQUES ET OBJECTIFS

Dans cette recherche, nous explorons les différents travaux de synthèses, normes recherches et publications sur le dimensionnement des architectures de réseaux.

L'objectif de cette recherche est de présenter les solutions et tendances proposées par les chercheurs sur le dimensionnement des réseaux d'entreprises, qu'ils soient locaux ou étendus, virtuels ou physiques, « lot » ou réseaux de capteurs.

Il s'agit donc d'explorer de manière intelligible la littérature et les travaux existants pour en faire le point.

Cette étude offre un intérêt réel parce qu'elle permet de circonscrire les connaissances dans le domaine de l'optimisation des réseaux et d'offrir un support technique et scientifique en termes de dimensionnement et d'amélioration des performances dans les réseaux.

En effet, les problèmes de performances constatées, notamment des dégradations du service durant les heures de pointe ont conduit à des incidents récurrents sur les réseaux informatiques. Le temps de réponses des applications, les perturbations de la connexion, le ralentissement de la transmission et les interruptions des services amènent les architectes réseaux à revoir leurs infrastructures en raison des données massives qu'ils produisent et utilisent quotidiennement.

3 CRITERES DE PERFORMANCE D'UN RESEAU INFORMATIQUE

3.1 LA PERFORMANCE DES RESEAUX

La performance en informatique fait référence aux valeurs chiffrées qui déterminent la qualité optimale d'un matériel, d'un logiciel ou d'un système (Chen 2014).

Conformément à la Recommandation E.800 de l'Union Internationale des télécommunications, la qualité de service correspond l'effet général de la performance d'un service qui détermine le degré de satisfaction d'un utilisateur du service. La qualité de service fait référence aux mécanismes du réseau qui permettent de partager aux utilisateurs, équitablement et suivant les besoins requis des applications, la qualité de ressources dont ils ont besoin (Giusti 2024).

Les performances d'un réseau informatique sont déterminées à l'aide d'indicateurs chiffrés appelées métriques (Andrew Tanenbaum 2014) (Cabantous 2023) (Pujolle 2024):

- La bande passante,
- Le débit du réseau;
- La latence;
- La gigue;
- La perte des paquets;
- La disponibilité du réseau;
- La durée de vie du paquet;
- Le taux d'erreur;
- Le temps de réponse du réseau;
- La scalabilité du réseau;
- La capacité du canal de communication;
- La capacité de stockage des nœuds du réseau.

3.2 LES METRIQUES

Les métriques de performance sont définies comme étant les paramètres des objectifs traduisant les besoins des utilisateurs et la qualité de service demandée. Ces paramètres sont mesurables et permettent d'évaluer la performance du réseau. Parmi ces paramètres, les plus utilisés sont (Jean Luc Montagnier 2011) (Pujolle 2018):

3.2.1 LA LATENCE

La latence ou délai détermine la durée d'un qui sépare l'envoi d'un paquet et sa réception. C'est une métrique particulièrement importante pour les applications temps réel.

On distingue:

- Le délai de transmission: dépendant du flot de bits et lié au partage de la bande passante;
- Le délai de propagation: dépendant de la distance qui sépare la destination de la source;
- Le délai d'attente ou de traitement: dépendant de la charge du réseau ainsi politique implémentée dans le routeur afin d'obtenir la fluidité du trafic.

Le délai peut être influencé par plusieurs autres facteurs quantifiables en temps. C'est notamment (DORDOIGNE 2015):

Tableau 1. Source de la latence

Numéro	Source de la latence	Valeur de la latence en ms
1.	Capture d'un échantillon sur le réseau	0.1
2.	Délai d'encodage	17.5
3.	Délai d'encapsulation/désencapsulation	20
4.	Délai de file d'attente	0.5
5.	Délai d'accès au lien	10
6.	Délai de transmission sur le réseau	Variable
7.	Gigue du tampon	60
8.	Délai de décodage	2
9.	Délai de sortie	0.5

La latence est calculée par la formule:

$$Latence = Te + Tp + Ttr \quad (1)$$

$$Te = \frac{Quantité\ de\ données}{Débit} \quad (2)$$

$$Tp = \frac{Distance}{Vitesse\ de\ Propagation} \quad (3)$$

- Te: temps d'émission ou temps de transmission;
- Tp: temps de propagation;
- Ttr: temps de traitement.

Lorsque la latence augmente, le temps de réponse des applications est aussi augmenté. Suivant la recommandation UIT-T G114, l'Union International des Télécommunications (UIT) défini des seuils acceptables de latence pour certaines applications.

Tableau 2. Valeur de la latence dans les réseaux

CLASSE	DELAI	COMMENTAIRES
1	0-150 ms	Communications en temps réel, interactives
2	150-300 ms	Communications par bond
3	300-700 ms	Communications semi-duplex
4	Plus de 700 ms	Communications semi-duplex à applications militaires

3.2.2 LA GIGUE

La gigue correspond aux variations de la latence sur les paquets dans un réseau de bout en bout. Elle précise l'évolution du temps aller simple d'un poste à l'autre (Cabantous 2023).

3.2.3 LA PERTE DE PAQUET

La perte de paquet représente le rapport entre les données envoyés et celles qui peuvent atteindre leur destination à intervalle de temps défini.

La perte de paquet peut être due à la saturation des ressources ou au dépassement d'échéance pour la transmission (DORDOIGNE 2015).

3.2.4 LE TAUX D'ERREURS

Les erreurs sur la transmission de paquets sont généralement dues à l'intégrité de ces derniers. De nos jours c'est un paramètre marginal pour les réseaux filaires et déterminants pour les réseaux sans fils (Stéphane Lohier 2010), notamment à cause de la nature du canal de communication qui influent considérablement sur les probabilités de pertes.

3.2.5 LE DÉBIT

Définit comme la quantité de données numériques qui transitent par un nœud pendant une période (Pujolle 2018), le débit est un indicateur clé et déterminant dans le dimensionnement des réseaux.

3.2.6 LA DISPONIBILITÉ DU RÉSEAU

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (4)$$

Avec:

- MTBF: Mean Time Before Failure (Temps Moyen de fonctionnement normal)
- MTTR: Mean Time To Repair (Temps moyen de réparation)

3.2.7 INTENSITÉ DU TRAFIC DANS LE RESEAU

L'intensité du trafic est l'expression de la quantité de trafic à satisfaire sur le réseau. En utilisant le modèle d'Erlang, nous avons la relation (Vaulot et Rabe 1947)

La première forme de l'intensité du trafic est donnée par l'équation ci-après:

$$E = \frac{1}{t} \int nt \, dt \quad (5)$$

La deuxième forme de l'intensité du trafic est tout simplement:

$$E = \frac{nt}{3600} \quad (6)$$

Avec:

- E: la charge de trafic en erlang;
- t: le temps exprimé en seconde;
- n: le nombre de session par heure.

Un erlang représente l'occupation permanente d'une ligne pendant une heure, ou l'occupation effective de deux lignes à 50% pendant une heure. L'intensité du trafic sur une ligne représente le taux de connexion de celle-ci, c'est-à-dire le temps d'appropriation de la ligne par unité de temps.

Dans un système de pénurie de ressource, lorsque le nombre de clients (n) est supérieur au nombre d'équipement de traitement de l'information (m), erlang a établi que la probabilité (p) de refus d'appel, que nous appelons facteur de blocage, par suite de congestion du trafic à écouler de E erlang est donnée par la relation:

$$p = \frac{\frac{E^m}{m!}}{\sum_{k=0}^{k=m} \frac{E^k}{k!}} \quad (7)$$

En sachant que les collisions sont inévitables, une partie du trafic à écouler ou du trafic demandé peut être perdue. La transformation de l'équation donne la relation entre le trafic demandé et le trafic perdu de la forme:

$$\text{trafic perdu} = \text{trafic demandé} \times p \quad (8)$$

Avec:

p: probabilité de refus d'appel

La formule devient alors:

$$\text{trafic écoulé} = \text{trafic demandé} - \text{trafic perdu} = \text{trafic demandé} (1 - p) \quad (9)$$

Ce modèle suppose que toute demande qui n'est pas satisfaite est mise dans une file d'attente de capacité quasi infinie et sera traitée dès qu'un équipement de traitement de l'information est libéré.

Ce modèle est utilisé par les routeurs.

On a:

$$p_a = \frac{\left(\frac{E^m}{m!}\right) \left(\frac{m}{m-E}\right)}{\left(\sum_{k=0}^{k=m-1} \frac{E^k}{k!}\right) + \left(\frac{E^m}{m!}\right) \times \left(\frac{m}{m-E}\right)} \quad (10)$$

4 SATURATION ET CONGESTION DU RESEAU

La saturation du réseau est un déséquilibre entre la demande de ressources réseau et la capacité disponible. La résultante de cette inadéquation est la dégradation des performances (Nathanael Kasoro 2021).

La saturation trouve ses causes dans:

- L'augmentation du trafic: une augmentation soudaine du volume de données échangées ou du nombre d'utilisateurs peut saturer le réseau;
- Les applications gourmandes en bande passante: certaines applications sont consommatrices de bande passante. C'est notamment les applications de streaming, les jeux vidéo ou encore les transferts de fichiers.
- L'infrastructure inadéquate: lorsque le réseau est configuré avec une capacité insuffisante ou obsolète, cela peut-être à la base de la saturation du réseau;
- Les problèmes matériels: quand les équipements d'interconnexion sont sous-dimensionnés ou défectueux, cela peut créer les goulots d'étranglement dans le réseau;
- Les attaques de déni de services DOS ou DDOS, qui par essence envoient des requêtes en dépassement de capacités, ce qui empêche l'utilisation de la ressource saturée.

L'encombrement du réseau dans le nuage (I. Martinez 2021), résulte de la distance entre les centres de données du nuage qui contribue à un délai de réponse de bout en bout peu fiable. L'informatique en nuage a été introduite comme une alternative fournissant un service à faible latence en apportant des ressources de traitement et de stockage à la périphérie du réseau. Dans cette étude il présente de manière séquentielle les phases nécessaires à la mise en œuvre et à la réalisation de systèmes de fog computing pratiques. Matinez et Jarray (I. Martinez 2021) préconisent la conception et le dimensionnement d'une infrastructure de brouillard; l'approvisionnement en ressources de brouillard pour l'utilisation d'applications IoT et l'allocation de ressources IoT au brouillard; l'installation de cadres de brouillard pour la gestion des ressources de brouillard; et l'évaluation de l'infrastructure de brouillard par le biais de la simulation et de l'émulation.

Selon Tanenbaum (Andrew Tanenbaum 2014), pour éviter la congestion, la solution simple consiste à créer un réseau adapté au trafic qu'il transporte. Les routes s'adaptent à des modèles de trafic qui varient le jour et la nuit en fonction du rythme de vie des utilisateurs et des fuseaux horaires. La modélisation du trafic dans les réseaux informatiques permet de prévoir le comportement qu'aurait un réseau lorsqu'il est soumis à différentes charges. La simulation, nous amènera à évaluer les performances du réseau dans un environnement de test.

Il est fréquent d'utiliser la théorie des graphes pour implémenter le routage. Ainsi, l'algorithme de Dijkstra (Maman Abdurachman Djauhar 2013) est utilisé pour analyser le plus court chemin, les flux de données et les connexions entre nœuds.

Lorsque qu'un grand nombre de données tentent de circuler dans le réseau, celui-peut-être saturé en provoquant des pertes de paquets.

Ils existent plusieurs outils de surveillance réseau qui permettent de surveiller le taux

5 PROBLEMATIQUE DU DIMENSIONNEMENT DANS LES RESEAUX

5.1 DES CONCEPTS

Le dimensionnement d'un réseau d'entreprise consiste à définir la structure globale du réseau en matière de capacité, de couverture et de qualité de service, estimer la quantité des ressources nécessaires et évaluer le coût global du déploiement. C'est donc connaître les applications présente et futures, les supports disponibles et tenir comptes des capacités des équipements (ELIA 2013). Dimensionner une architecture de réseau est un processus méthodique qui commence par la définition des besoins, le choix de la topologie du réseau, le calcul des ressources matérielles, la planification de l'adressage et la mise en place des mesures de sécurité tout en minimisant les coûts (I. Martinez 2021).

L'ingénierie des réseaux recouvre l'ensemble des moyens mis en œuvre pour le choix d'une solution de télécommunication et la réalisation d'un réseau informatique et de télécommunication comprenant la structure du réseau, son dimensionnement, l'évaluation des performances et l'optimisation (Andrew Tanenbaum 2014) (Stéphane Lohier 2010).

Pour répondre à la demande croissante de calculs dans les réseaux cellulaires, les plates-formes d'informatique en nuage conventionnelles ont été mises en place (LINA A. HAIBEH 2022), cela a l'avantage d'augmenter les capacités de leurs serveurs et améliorer ainsi la qualité du service (QoS) qu'elles fournissent.

Cependant, pour diverses raisons, de nouvelles plateformes et architectures informatiques sont nécessaires. Pour que les utilisateurs mobiles puissent accéder aux services traditionnels en nuage, le trafic mobile doit passer par plusieurs étapes, notamment le « backhaul » mobile et éventuellement le cœur de réseau de l'opérateur mobile, ce qui crée une latence de communication supplémentaire qui peut dépasser les exigences de latence des services critiques. Pour contourner cette difficulté, Haibeh (LINA A. HAIBEH 2022) préconise des investissements intensifs en ressources informatiques et de communication.

5.2 DU DIMENSIONNEMENT DES RESEAUX

5.2.1 DIMENSIONNEMENT DANS LES RESEAUX OPTIQUES

Pour Abdallah Jarray (A. Jarray 2009), (A. J. Jarray 2012) l'étude des problèmes de conception et de planification d'un réseau optique de longue distance, aussi appelé réseau de cœur (OWAN-Optical Wide Area Network en anglais) a permis de transporter des flots agrégés en mode commutation de circuits, qui relie différents sites à l'aide de fibres optiques connectées par des commutateurs/routeurs optiques et/ou électriques à l'échelle d'un pays ou d'un continent et permet le transit des données à très haut débit. Ainsi, le problème d'agilité est motivé par la croissance de la demande en bande passante et par la nature dynamique du trafic.

5.2.2 DIMENSIONNEMENT DES RESEAUX SANS FILS

Quentin Bailleul (Bailleul 2023), étudie le dimensionnement de la synchronisation d'un réseau TSN dans différents contextes embarqués. Il étudie la précision de synchronisation atteignable avec la norme IEEE 802.1AS, la capacité des protocoles à résister aux pannes de lien et d'équipements et enfin simulant sur un réseau satellite embarqué, il étudie l'impact de la précision et de la robustesse.

Pour dimensionner le trafic GSM, (Ouadia 2010), utilise la formule d'Erlang B qui définit les critères de GoS (Grade of Service) ou la probabilité de blocage permise. Il accorde une priorité au trafic de la voix au détriment du trafic de la donnée. Ainsi, pour calculer le nombre de PDCH (Packet Data Channel, ce sont des canaux physiques dédiées à la transmission de données utilisateurs ou de contrôles et qui permettent d'atteindre des débits supérieurs à ceux du GSM classiques). On procède par le calcul du débit global par cellule ensuite on le divise par la capacité d'un seul PDCH.

5.2.3 DIMENSIONNEMENT DYNAMIQUE DES RESEAUX

Le Dimensionnement dynamique permet d'ajuster les ressources du réseau en temps réel, en fonction des besoins fluctuants. Il conçoit et implémente les architectures SDN (Thomas Nadeau 2013) (Brij B Gupta 2024) afin d'assurer une gestion flexible et centralisée des ressources utiles.

Les travaux d'Ahmed-Nacer analysent et dimensionnent des réseaux hétérogènes embarqués. Il constate que le défi majeur à relever lors de l'utilisation d'un réseau fédérateur est de respecter les contraintes temporelles des applications qui sollicitent les différents réseaux. Il préconise l'encapsulation des trames pour atteindre l'optimum en tenant compte du nombre de trames à encapsuler, les ordonnancements utilisés, le coût de la bande passante et la gigue (Ahmed-Nacer 2023). Il aborde ainsi l'étude par comparaison et chute

par une proposition de techniques permettant l'interconnexion de réseaux hétérogènes temps réels à la fois pour les applications à faibles et à fortes contraintes temporelles. La gestion de la qualité de service permet de garantir une bande passante nécessaire

La virtualisation des réseaux est une technique qui permet la création de réseaux virtuels pour compenser le déficit des ressources et offrir une flexibilité, offrant ainsi au réseau les capacités changeantes en fonctions des exigences des utilisateurs.

En matière de sécurité, les principaux objectifs de l'audit interne, proactif ou réactif, sont de s'assurer que les contrôles mis en place pour mesurer les risques sont efficaces (Gheraoui 2019) (Cabantous 2023). Brooks (Charles Brooks 2021) précise les moyens d'intégrer les aspects de la sécurité incluant l'évaluation des vulnérabilités et l'implémentation des mesures de sécurité.

5.3 DIMENSIONNEMENT ET MODELISATION

5.3.1 LE PROCESSUS

Le dimensionnement du réseau consiste à déterminer la capacité optimale du réseau pour gérer le trafic prévu tout en garantissant la qualité des services (QoS). La démarche proposée par Nick Feamster (Nick Feamster 2022) pour le dimensionnement est proche de la norme proposée par l'Union International des Télécommunications (Union International desTélécommunications 2001) sur le réseau RNIS qui comprend: l'évaluation des besoins, la modélisation du trafic, le calcul de la capacité des voies, la sélection des équipements, la validation par simulation et enfin l'optimisation par test.

Le dimensionnement et l'analyse des performances créent un système adaptatif qui équilibrent la planification de la capacité et la surveillance des performances en temps réel. Le dimensionnement permet au réseau de gérer efficacement les pics de charge, tandis que l'analyse des performances identifie les zones de sous-performance du réseau et permet une optimisation ciblée.

Ce processus comprend (Atienza 2003):

1. La prévision du trafic: la prévision du trafic vise à estimer la demande de trafic en fonction du comportement des abonnés et des modèles d'utilisation du réseau. Comme le montrent les indicateurs de prévision du trafic, cela comprend:
 - Les taux d'arrivée des appels;
 - Les temps de maintien;
 - L'analyse du trafic afin de prévoir les besoins futurs;
2. Les outils d'optimisation, permettent d'améliorer les performances du réseau en calculant la solution la plus rentable, qu'il s'agisse d'un réseau complexe ou national.
3. La conception d'une hiérarchie de routage, dont les principes sont définis afin d'optimiser le flux de trafic. Cela implique la création de matrices de trafic afin de cartographier le comportement des abonnés et la conception d'une hiérarchie des équipements centraux pour une transmission efficace des données.
4. Processus de conception itératif: le processus de conception implique souvent des calculs pour optimiser les itinéraires à forte utilisation, le trafic de débordement et le routage physique des circuits.

Dans la gestion des réseaux, la saturation et le dimensionnement sont des concepts liés. L'analyse de la saturation a pour objet de relever les goulots d'étranglements et les sources de congestion (Nathanael Kasoro 2021) (Pujolle 2024). Pour y parvenir, les données collectées (utilisation de la bande passante, temps de réponse, taux de perte) servent de base pour planifier le redimensionnement du réseau. Le dimensionnement du réseau est donc une réponse proactive et réactive à la saturation du réseau.

5.3.2 MODELE DE DIMENSIONNEMENT DES RESEAUX

Il existe plusieurs modèles pour dimensionner un réseau informatique (Kasoro 2024):

1. Modèle statistique:
 - ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average): Utilisée pour les séries temporelles, intégrant dépendances temporelles et tendances;
 - Régression Linéaire et non-linéaire: utilise des variables indépendantes pour prédire la demande future
2. Modèle basé sur les processus stochastiques:
 - Chaînes de Markov: modélisent les transitions entre différents états du réseau;
 - Processus de poisson; utilisé pour modéliser des événements se produisant de manière aléatoire dans le temps.
3. Modèle d'apprentissage automatique:
 - Forêts aléatoires: utilise un ensemble d'arbres de décision pour améliorer la précision de prévision

- Réseaux de neurones artificiels: modèles capables de capturer les relations complexes non linéaires dans les données.

5.3.3 TECHNIQUE DE DIMENSIONNEMENT DES RESEAUX

Trois techniques essentielles pour le dimensionnement des réseaux (Kasoro 2024):

1. Techniques de sous-réseautage hiérarchique

Il consiste à organiser un réseau en plusieurs couches ou niveaux. Cela a l'avantage de garantir une gestion facile et une meilleure allocation des ressources en termes de scalabilité, de réduction de la congestion et de simplification de la gestion;

2. Techniques de sous-réseautage dynamique

Il induit l'ajustement automatique des configurations en fonction de la charge du réseau. Il offre les avantages d'adaptabilité, d'optimisation des ressources et de résilience accrue. Souvent utilisé dans le Cloud Computing et les réseaux mobiles

3. Super-réseautage et agrégation de routes dans les environnements complexes. Calcul des super-réseaux.

Il fait référence à des réseaux unifiés pour améliorer l'efficacité de gestion et le routage. Il offre les avantages de réduction des coûts d'infrastructure, de simplification de la gestion, d'amélioration de la sécurité et de la résilience.

5.3.4 MODELISATION DES PAQUETS

L'équipement d'interconnexion peut constituer un goulot d'étranglement lorsque sont pris en compte l'écart de débit entre les liens d'interconnexion et les systèmes locaux. On peut ainsi constater que l'échange d'information entre applications ou entre application et équipement de traitement de données varie en termes de volume et de fréquence d'échange.

En conséquence, les informations ne sont pas transmises instantanément. Ils sont placés dans une file d'attente. Le temps de réponse correspond à la relation:

$$t_r = t_p + t_t + t_q \quad (11)$$

Avec:

- t_r : temps de réponse du système;
- t_p : temps de propagation sur le support;
- t_t : temps de traitement par les équipements d'interconnexion;
- t_q : temps de queue, temps mis par l'information dans le système.

Ainsi donc, la difficulté est d'évaluer t_q par rapport aux caractéristiques du système, parce qu'au fur et mesure que le nombre de message augmente, le temps de queue devient important et les autres variables de la relation du temps de réponse deviennent négligeables.

Par caractéristiques du système, nous entendons:

- Le nombre d'unité d'information traité par unité de temps;
- La longueur du message;
- Le débit de la ligne;

5.3.5 FORMULE DE LITTLE

Dans un système à file d'attente en équilibre, le nombre moyen d'entrées δ est égal au nombre moyen de sorties par unité de temps. Le nombre moyen d'utilisateurs (clients) dans le système (n) est donné par:

$$n = \delta \cdot t_q \quad (12)$$

Avec:

- n : le nombre moyen d'utilisateurs (clients) dans le système;
- δ : le nombre moyen de sorties par unité de temps
- t_q : le temps de queue;

Cette relation est dite de Little. Elle s'applique à tous les types files d'attente, lorsque la condition d'équilibre est respectée.

5.3.6 NOTATION DE KENDAL

Dans la notation de Kendal, la file d'attente est caractérisée par le modèle:

$$\frac{M}{\frac{M}{1}}_{\infty} \quad (13)$$

Avec:

- M: le processus Markovien en entrée (distribution exponentielle des arrivées);
- M: le processus Markovien en sortie;
- 1: dans un système mono-processeur;
- ∞ : la file d'attente à une capacité infinie.

En considérant dans ce système, que les arrivées sont indépendantes, la relation de kendal donne:

$$n_a = \rho \cdot t_a \quad (14)$$

Et

$$n_s = \rho \cdot t_s \quad (15)$$

En décomposant la formule de Little, le nombre d'utilisateurs (clients) dans le système peut s'écrire:

$$n = n_a + n_s = \rho (t_a + t_s) \quad (16)$$

Avec:

- n_a : le nombre d'utilisateurs ou de clients en attente de traitement ;
- n_s : le nombre d'utilisateurs ou de clients en cours de traitement ;
- ρ : le taux d'arrivée des utilisateurs dans la file d'attente ;
- t_a : le temps de séjour dans la file d'attente ;
- t_s : le temps de traitement par le système ;
- $\mu = \frac{1}{t_s}$: représente l'inverse du temps de traitement, il représente le nombre d'information traités par unité de temps, c'est le taux de service. il est désigné par μ .
- t_q : le temps de séjour

Pour tout nouvel entrant dans le système, le temps d'attente correspond au temps nécessaire pour traiter toutes les informations déjà présentes dans la file d'attente:

$$t_a = n \cdot t_s \quad (17)$$

En remplaçant la valeur du temps de séjour dans la file d'attente, dans l'équation 10, on obtient la relation:

$$n = \rho \frac{t_s}{1 - \rho t_s} \quad (18)$$

Si $\mu = \frac{1}{t_s}$, le taux de service du système, alors

$$\sigma = \frac{\rho}{\mu} = \rho \cdot t_s \quad (19)$$

On obtient donc par l'équation:

$$t_a = n \cdot t_s \quad (20)$$

$$\text{Que } t_a = \frac{\sigma}{1 - \sigma} t_s \quad (21)$$

Ainsi, le temps de séjour dans le système ou temps de queue est de:

$$t_q = t_a + t_s = t_s \frac{\sigma}{1-\sigma} = t_s \frac{1}{1-\sigma} \quad (22)$$

En fonction des caractéristiques du message (l: longueur en bits) et du système (d: débit de la ligne en bit/s) on a:

$$\sigma = \frac{\rho}{\mu} = \frac{\rho}{1/t_s} \quad (23)$$

Ce qui donne:

$$\rho \cdot t_s = \frac{\rho \cdot l}{d} \quad (24)$$

Le temps de séjour dans le système ou temps de queue est alors:

$$t_q = t_s \frac{\sigma}{1-\sigma} = \frac{l}{d} \cdot \frac{1}{1-\frac{\rho \cdot l}{d}} \quad (25)$$

On obtient:

$$t_q = \frac{l}{d - \rho \cdot l} \quad (26)$$

Avec:

$$d > \rho \cdot l \quad (27)$$

Compte tenu que le système ne doit pas être chargé à plus de 50%, le débit minimal requis pour la ligne est:

$$d_{min} \geq 2 \rho \cdot l \quad (28)$$

Dans le cas d'espèce, nous nous retrouvons dans une file d'attente en série. Dans ces conditions, les entrées et les sorties suivent la loi de poisson. Le temps de traversée global est la somme des temps de traversées de chacune des files.

En plus, lorsqu'il s'agit de file d'attente à entrées multiples, si les messages ont la même longueur moyenne sur toutes les voies incidentes, la file d'attente est équivalente à une file d'attente où le taux d'arrivée est la somme des taux d'arrivée, par le principe de superposition:

$$\rho = \sum \rho_i \quad (29)$$

Le modèle $\frac{M}{M/\infty}$ à file d'attente infinie, satisfait généralement la majorité des cas. Cependant, dans le contexte des réseaux informatiques où la file d'attente est limitée par les contraintes technologiques, notamment la capacité de la mémoire et donc la taille du buffer (mémoire tampon) de l'équipement de transmission, on a:

Pour une file d'attente de taille k, qui contient n informations, la probabilité pour qu'un nouvel arrivant soit perdu p_n est:

$$Si \sigma \neq 1, p_n = \frac{\sigma^n (1-\sigma)}{1-\sigma^{k+1}} \quad (30)$$

Avec : $0 \leq n \leq k$

$$Si \sigma = 1, p_n = \frac{1}{k+1} \quad (31)$$

Avec : $0 \leq n \leq k$

Ainsi, dans une structure de réseau, en admettant que le système est en équilibre, c'est-à-dire que toute information entrée est sortie, la modélisation nous permet de remplacer chaque élément actif du réseau par une file d'attente.

5.3.7 LE ROUTAGE

Les recherches de Fortz et Thorup créent le concept de voisinage composé d'un côté de voisins aléatoires permettant de sortir des minima locaux et de voisins ajoutant du partage de charge de l'autre. Comme ce voisinage est relativement important l'exploration est aléatoire. Les deux points clés associés à l'évaluation des voisins sont le routage et la propagation. Pour éviter des temps de calculs inacceptables, les auteurs proposent les techniques de propagation dynamique et de retoutage ciblé. Ainsi, le routage OSPF (Open Shortest Path First) optimisé peut être proche de la solution de répartition optimale des flots.

Partant de ces résultats, Cédric Fortuny propose dans sa thèse la modification de la structure de voisinage et du fonctionnement de l'algorithme menant à deux résultats: une diminution des temps de calcul de part un voisinage plus petit et une solution exploitable par les opérateurs de par son aspect incrémental.

A chaque arc a du graphe est associé un poids w_a qui représente la métrique de l'interface correspondante et qui peut prendre toute valeur dans l'intervalle de $\theta = [1, 2^{16} - 1]$. On désigne par N , le nombre de nœuds du graphe et par L , le nombre d'arcs du graphe.

Pour une solution admissible, $w = (w_1, w_2, \dots, w_L)$ on a:

- $D_i^x(w)$ est la distance du nœud i au nœud de destination x ;
- $\delta_{i,j}^x(w) = \begin{cases} 1, & \text{si l'arc } (i, j) \text{ est un plus court chemin vers la destination } x \\ 0, & \text{sinon} \end{cases}$
- $N_i^x(w) = \sum_j \delta_{i,j}^x(w)$, qui représente le nombre d'arcs sortants du nœud i qui sont sur un plus court chemin vers la destination x .

Les réseaux de types IP possèdent un flot de bits supérieur à N^2 afin de prendre en compte tous les indicateurs de la communication notamment les protocoles de transport, les protocoles applicatifs, le type de service, la qualité de service, les ports de destinations, les ports sources, les codecs.

Le trafic émis du nœud i pour une destination x s'écrit:

$$\rho_i^x = \sum_k d^k \quad (32)$$

Avec:

- $s(k) = i$
- $t(k) = x$

Le trafic reçu au nœud i , direct et en transit, pour la destination x , avec une répartition équitable de la charge sur chaque chemin. En considérant qu'il existe N chemin, on a:

$$\gamma_i^x(w) = \rho_i^x + \sum_{j \neq x} \frac{\delta_{i,j}^x(w)}{n_j^x(w)} \gamma_j^x(w) \quad (33)$$

Par voie de conséquence, la charge de l'interface (i, j) devient:

$$Y_{i,j} = \sum_{x=1}^N \frac{\delta_{i,j}^x(w)}{n_i^x(w)} \gamma_j^x(w) \quad (34)$$

A partir de la quantification du trafic, les données en transit des points d'entrée vers la sortie permettent de déterminer le comportement du réseau. En superposant chacun des trafics élémentaires dans chaque file d'attente, on détermine le comportement point à point, puis on en déduit le comportement global et la matrice volumétrique par calculs numériques.

5.4 TRAVAUX DE RECHERCHES SUR LE DIMENSIONNEMENT DES RESEAUX

Ci-après, nous présentons quelques travaux sur le dimensionnement des réseaux informatiques:

Tableau 3. Recherches sur le dimensionnement dans les réseaux informatiques

N°	Auteur et année	Métriques	Problèmes	Applications	Résultats
1.	(Kodjo 2014)	Bande passante ; Routage	Allocations de capacités, cout minimum, partage de bande passante	Réseaux sans fils, réseaux cognitifs	Optimisation robuste à deux niveaux avec un programme linéaire
2.	(Nacer 2018)	Bande passante, gigue	Interconnexion des réseaux hétérogènes	Systèmes embarqués, avionique	Architecture réseau interconnectant un réseau Can via un réseau fédérateur Ethernet PQSE et Ethernet AVB
3.	(Randriamasinoro 2021)	Qualité de service	Combinaison de Edge et infonuagique	Edge computing	Optimisation de l'environnement Edge computing
4.	(Vasconcelos 2023)	Variables linéaires	Consommation d'énergie,	Cloud, datacenter	Carbon-responsive
5.	(Brij B Gupta 2024)	Virtualisation	Dimensionnement dynamique	SDN	Flexibilité et centralisation des ressources
6.	(MAALEJ 2009)	Coût	Minimisation de la fonction coût	Ovlan (Optical Virtual Local Agile Network	Modélisation mathématique, modélisation avec les chaines de Markov
7.	(I. Martinez 2021)	Coût de conception réduit	Programme linéaire Mixte et modèle de génération de colonnes	Fog Computing, infrastructure IoT	Construction d'une infrastructure Fog et IoT
8.	(A. Jarray 2009) (A. J. Jarray 2012)	Bande passante, haut debit	Commutation de circuits	OWAN-Optical Wide Area Network	Transport de flots agrégés sur fibre optiques
9.	(Ouadia 2010)	Grade of Service,	Formule d'Erlang B	Edge Computing, GSM	Calcul du debit global
10.	(Ahmed-Nacer 2023)	Qualité de service	Algorithme d'apprentissages	Réseaux hétérogènes embarqués	Interconnexion des applications à faibles et fortes contraintes temporelles
11.	(Bailleul 2023)	Liens, pannes	Synchronisation TSN	Réseaux satellite embarqué	Résistance aux pannes

6 OPTIMISATION DES RESEAUX

6.1 DEFINITION

L'optimisation est l'activité qui consiste à améliorer les performances de l'infrastructure. Dans notre cas il s'agit d'améliorer la qualité de service du réseau (Kasoro 2024). L'optimisation de l'architecture réseau repose sur trois axes essentiels (Giusti 2024):

- La surveillance et l'analyse de contenu qui circule sur le réseau en utilisant le monitoring;
- La gestion intelligente de la bande passante, en allouant les ressources suivant les priorités pour améliorer la qualité de service;
- L'équilibrage des charges en répartissant le trafic sur des différents liens afin d'éviter la surcharge.

6.2 MAILLAGE DES RESEAUX

L'intérêt principal de mailler des réseaux est de les rendre robustes aux aléas tout en évitant de dupliquer les infrastructures. Afin d'offrir la qualité de service attendue en toute circonstance, on ne peut plus appréhender le dimensionnement du réseau en agrégeant l'ensemble des trafics. Il devient nécessaire de traiter chaque type de trafic de manière différenciée.

6.3 OPTIMISATION DU ROUTAGE

Trois indicateurs retiennent généralement l'attention dans l'optimisation du trafic de routage:

- Le délai: temps de transfert d'un flux entre son entrée et sa sortie dans le réseau;
- La perte: proportion de flux non acheminée dans le réseau;
- La gigue: délai en sortie du réseau pour absorber les aléas et restituer un flux continu. La gigue est caractérisée par la variabilité du délai de transfert.

Le trafic en temps réel, résulte de la superposition des phénomènes agissant à différentes échelles. Pour les réseaux filaires, il existe des corrélations du trafic sur des longues périodes de temps conduisant à l'autosimilarité ou la non-stationnarité.

Les protocoles tels que OSPF et MPLS induisent des contraintes spécifiques sur les routes acheminant le trafic de leur origine à leur destination dans le réseau.

Le multiroutage, où le nombre de route pour acheminer le trafic n'est pas limité, n'induit pas de contrainte spécifique; le monoroutage où l'on admet une route unique pour acheminer le trafic est généralement abordé par les modèles linéaires en nombres entiers; les k-routage où pour acheminer le trafic seules k-routes sont permises nécessite généralement des modèles spécifiques.

Ainsi, des solutions d'optimisation peuvent être abordées telles que:

La minimisation du délai moyen par la formule:

$$Min = \sum_{p \in P} \pi_p \cdot D_p \quad (35)$$

Où:

- π_p : proportion du trafic;
- D_p : délai du chemin p;

La grande difficulté de cette relation est de dégrader fortement la qualité de service de certaines parties du réseau, généralement la partie où le trafic est faible.

En utilisant la fonction de Lagrange:

$$Min = \sum_{p \in P} \lambda_p (D_p \cdot d_{max}) \quad (36)$$

Où:

λ_p : le facteur multiplicateur lagrangien qui pénalise le dépassement du délai D_p obtenu sur le chemin p.

On constate que l'inconvénient de ce modèle de relaxation lagrangienne ne garantit pas une solution réalisable qui satisfait aux contraintes de qualité de service.

Il existe plusieurs algorithmes d'optimisation du routage réseau. C'est notamment:

- a. Algorithmes de Dijkstra et Bellman-Ford pour les plus courts chemins;
- b. Algorithme de Ford-Fulkerson et Edmonds-Karp pour le flot maximum;
- c. Algorithme de Kuhn-Munkres pour le couplage maximal;
- d. Algorithme de Prim et Kruskal pour les arbres couvrants minimaux.

Une autre approche consiste à minimiser la grande valeur induite. On minimise le délai maximum. Pour remédier aux difficultés induites par les précédents modèles, une solution équilibrée serait d'appliquer de nouveau le critère basé sur les extremums aux variables de décision encore libres. L'approximation de la charge moyenne totale de la k-ième classe de service se présente de la manière suivante:

$$4X_k = \frac{\lambda_k}{\mu_k} + \lambda_k \frac{\sum_{j=1}^k \sigma_j^2 \cdot \lambda_j}{2-2\rho} \quad (37)$$

Avec:

$$\rho = \sum_{j=1}^k \frac{\lambda_j}{\mu_j} \quad (38)$$

6.4 LES METHODES LOGICIELLES D'OPTIMISATION DU TRAFIC RESEAU

Il existe plusieurs méthodes logicielles d'optimisation du trafic réseau, les plus courantes sont (Cabantous 2023) (UIT-R 2018):

6.4.1 UTILISATION DE LA QUALITE DE SERVICE

La qualité de service a pour mérite de minimiser la latence pour les applications sensibles (Nick Feamster 2022). En implémentant la qualité de service on peut prioriser un type de trafic en fonction de son importance (Penchev 2023).

6.4.2 LA COMPRESSION DES DONNÉES

La compression des données permet de réduire la taille des données pendant leur transmission, ce qui a pour mérite d'alléger le trafic du réseau. Cette technique est rendue efficace pour les fichiers volumineux.

6.4.3 LE CACHING

La mise en cache des données permet de réduire le trafic tout en gardant localement les données fréquemment demandées. Le caching permet de réduire le temps de chargement et la consommation de la bande passante.

6.4.4 LE LOAD BALANCING

Le load balancing permet la répartition des charges entre plusieurs nœuds, ce qui permet d'équilibrer le trafic et d'éviter les surcharges sur un seul nœud (Muhammad Asim Shahid 2020). Le load balancing maximise la disponibilité et la fiabilité des services.

6.4.5 LA LIMITATION DU TRAFIC

On limite le trafic sur certains ports et applications. Il est possible de gérer le volume des données traversant le réseau. La limitation du trafic permet d'éviter la saturation qui diminue les performances.

6.5 L'EQUATION DU TRAFIC ELEPHANT

Pour calculer le seuil, on utilise l'équation de Tchebychev (Sivalingam et al., 2024) (Wang et al., 2024). Le seuil est défini afin de comptabiliser le trafic éléphant, cette équation considère pour référence la moyenne et les écarts type. Lorsque la valeur est supérieure au seuil, le trafic est considéré comme éléphant (Lan & Heidemann, 2006):

$$Seuil = f + 3 \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_i - f)^2}{n-1}} \right) \quad (39)$$

7 GESTION DU TRAFIC RÉSEAU

7.1 LES RÈGLES DE GESTION

La gestion du trafic réseau nous amène à observer 3 règles essentielles:

- L'allocation dynamique de la bande passante est cruciale pour répondre à la demande fluctuante des applications, cela garantit que les applications critiques disposeraient toujours de ressources suffisantes;
- La surveillance du trafic en temps réel pour détecter les anomalies. Pour cela on utilise des outils de monitoring;
- La configuration de la qualité de service, les politiques de qualité de service permettent de garantir la priorité des applications critiques.

Pour optimiser la gestion du trafic réseau, les indicateurs ci-après sont généralement évalués:

Tableau 4. Indicateurs de gestion du trafic

	Indicateur	Formule	Unité	Observations
1.	Débit	Débit = volume de données/temps	Bit par seconde / bps	Le débit est l'indicateur clé de performance
2.	Latence	Latence = temps de réponse + temps de transmission	Seconde	Le temps nécessaire pour atteindre la destination
3.	Le taux d'utilisation de la bande passante	Utilisation = (débit réel / débit maximum) x 100%		
4.	Maximum Transmission Unit	MTU = Taille de paquet maximum – entêtes		

7.2 OUTILS DE GESTION DU TRAFIC RESEAU

Nous énumérons, ci-après quelques outils de gestion du trafic réseau (Giusti 2024) (Pujolle 2018):

- Zabbix, un outil qui fournit les fonctionnalités de surveillance de l'infrastructure réseau et d'audit de la capacité en temps réel (Zabbix LLC 2025). Il est capable de s'adapter aux besoins spécifiques d'une administration réseaux, c'est un outil libre avec licence GNU;
- Wireshark (Bock 2022) est un outil d'analyse en profondeur, il permet d'analyser les paquets et de diagnostiquer les flux réseau, c'est un outil libre avec licence GNU;
- Solarwinds (SolarWinds 2025), fournit des fonctionnalités avancées pour analyser et surveiller les réseaux complexes en offrant une série d'alertes personnalisées lorsqu'une anomalie est détectée;
- PRTG Network Monitor, il permet de surveiller la bande passante, les applications en temps réel et d'identifier les problèmes liés au trafic à l'aide d'une interface intuitive;
- Netflow analyser, c'est un outil d'analyse du trafic qui permet de visualiser les flux de données sur le réseau, facilitant la détection des goulots d'étranglement. Il permet l'élaboration des rapports pour l'optimisation des trafics réseaux.

8 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le dimensionnement est une activité de l'ingénierie de réseau qui mérite d'être conduite avec beaucoup d'attention.

Ainsi, les futures recherches pourraient se pencher sur l'utilisation des algorithmes de machine Learning avec des solutions d'optimisation des réseaux définis par logiciels tels que sdn et sdwan. On pourrait aborder dans le sens des recherches (Jorge GOMEZ 2023) qui utilisent sept modèles d'apprentissage supervisés tels que la « regression logistc », le « Support Vector Machine (SVM) », le « Random Forest Classifier », le « Linear Discriminant Analysis (LDA) », le « K-Neighbors Classifier (KNN) », le « Naive Bayes Gaussian (Gaussian NB) » et le « Decision Tree Classifier ».

L'intelligence artificielle (Jean-Paul Haton 2023) (Peter Norvig 2021) permettrait ainsi de prédire les besoins futurs, par l'apprentissage automatique ou par renforcement multi-agents. On anticipe le changement en analysant le trafic pour ajuster le dimensionnement et améliorer l'efficacité opérationnelle.

REFERENCES

- [1] Ahmed-Nacer, Abdelaziz. 2023. Analyse et dimensionnement de réseaux hétérogènes embarqués. Toulouse: Institut National Polytechnique de Toulouse - INPT.
- [2] Andrew Tanenbaum, David Wetherall. 2014. Réseaux. 5ème. Traduit par Jean-Alain Hernandez et René Joly. Paris: Nouveaux Horizons.
- [3] Atienza, Eric. 2003. Méthodologie et outils pour le dimensionnement, Modélisation et simulation. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 157.
- [4] Bailleul, Quentin. 2023. Dimensioning TSN network synchronization in different embedded context Networking and Internet Architecture. Toulouse: Institut National Polytechnique de Toulouse - INPT.
- [5] Bock, Llsa. 2022. Learn Wireshark, a definitive guide to expertly analyzing protocols and troubleshooting network usign wireshark. Birmingham: Packt.
- [6] Brij B Gupta, Amrita Dahiya, Elhadj Benkhelifa. 2024. Sdn And Nfv: A New Dimension To Virtualization. World Scientific.
- [7] Cabantous, Pierre. 2023. Les réseaux informatiques - Guide pratique pour l'administration, la sécurité et la supervision. Eni Editions.
- [8] Charles Brooks, Christopher Grow, Philip Craig, Donald Short. 2021. Cybersécurité, sécurisation des systèmes informatiques. Traduit par Philippe Van Goethem Anne-Sophie Vilret. Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur.
- [9] Chen, Ken. 2014. Evaluation de performances par simulation et analyse. London: Hermes Sciences Publishing.
- [10] DORDOIGNE, José. 2015. Réseaux informatiques: Notions fondamentales. 6ème Edition. Paris: Eni Editions.
- [11] Elia, Mohamad. 2013. Étude et dimensionnement d'un réseau de communications pour le support des services de téléopération de véhicules dans un environnement minier souterrain. Québec: Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue.
- [12] Ghernaouti, Solange. 2019. Cybersécurité, analyser les risques et mettre en oeuvre les solutions. 6ème. Paris: Dunod.
- [13] Giusti, Luca. 2024. Architectures réseau d'entreprise - Concevoir des infrastructures réseau évolutives. Paris: Eni - Editions.
- [14] I. Martinez, A. S. Hafid and A. Jarray,. 2021. «Design, Resource Management, and Evaluation of Fog Computing Systems: A Survey,» IEEE Internet of Things Journal (I.) vol. 8 (no. 4): pp. 2494-2516.
- [15] Jarray, A., Jaumard, B. & Houle, A.C. 2012. « CAPEX/OPEX effective optical wide area network design.» Telecommun Syst 329–344.
- [16] Jarray, Abdallah. 2009. Planification et dimensionnement des réseaux optiques de longues distances. Montréal: Université de Montréal.
- [17] Jean Luc Montagnier. 2011. Réseaux d'entreprises par la pratique. Édité par Eyrolles. 1 vols. Paris: Eyrolles.
- [18] Jean-Paul Haton, Emmanuel Haton, Marie-Christine Haton. 2023. Intelligences artificielles: de la théorie à la pratique: Modèles, applications et enjeux des IA. Paris: Dunod.
- [19] Jorge GOMEZ, Velssy Hernandez Riano, Gustavo Ramize Gonzalez. 2023. «Traffic Classification in IP Networks Through Machine Learning Techniques in Final Systems.» IEEE Access 1-9.
- [20] Kasoro, Nathanael. 2024. Dimensionnement et optimisation des réseaux. Lubumbashi: Université Don Bosco de Lubumbashi.

- [21] Kodjo, Alvinice. 2014. Dimensionnement et optimisation des réseaux de collecte sans fil. Nice: Ecole doctorale sciences et technologies de l'information et de la communication de Nice.
- [22] LINA A. HAIBEH, MUSTAPHA C. E. YAGOUR, ABDALLAH JARRAY. 2022. «A Survey on Mobile Edge Computing Infrastructure: Design, Resource Management, and Optimization Approaches.» IEEE Accès 27591-27610.
- [23] MAALEJ, Ramzi. 2009. Evaluation des performances de l'OVLAN et son application aux reseaux optiques d'accès. Quebec: UNIVERSITY DE SHERBROOKE.
- [24] Maman Abdurachman Djauhar, Siew Lee Gan. 2013. «Minimal spanning tree problem in stock networks analysis: An efficient algorithm.» Physica A: Statistical, mechanics and its applications 2226-2234.
- [25] Mouret, Pascal. 2017. «Haute disponibilité réseau: et pour quelques neuf de plus.» JRES 10.
- [26] Muhammad Asim Shahid, Noman Islam, Muhammad Mansoor Alam, Mazliham Mohd Su'ud. 2020. «A Comprehensive Study of Load Balancing Approaches in the Cloud Computing Environment and a Novel Fault Tolerance Approach.» IEEE ACCESS (IEEE Access) 1-27.
- [27] Mur, Jean-Michel. 2019. Les fibres optiques: Notions fondamentales (Câbles, Connectique, Composants, Protocoles, Réseaux...). 3ème Édition. Paris: Eni Editions.
- [28] Nacer, Abdelaziz Ahmed. 2018. Analyse et dimensionnement de réseaux hétérogènes embarqués. Toulouse: École doctorale Mathématiques, informatique et télécommunications de Toulouse.
- [29] Nathanael Kasoro, SK Kasereka, GK Alpha, K Kyamakya. 2021. «ABCSS: A novel approach for increasing the TCP congestion window in a network.» Édité par Elsevier. The 8th International Symposium on Emerging Inter-network, Communication Mobility (ScienceDirect) 437-444.
- [30] Nick Feamster, Andrew Tanenbaum, David J. Wetherall. 2022. Les réseaux. 6ème. Paris: Pearson France.
- [31] Ouadia, Manal Senhaji. 2010. Dimensionnement et optimisation du réseau EDGE. Fès, Maroc: Université Sidi Mohamed Ben Abdellah.
- [32] Penchev, Miroslav Slavov and Pencho. 2023. «Quality of Service (QoS) for converging Service Technologies.» Journal of Information Organization 8.
- [33] Peter Norvig, Stuart Russell. 2021. Intelligence artificielle 4e édition: Une approche moderne Tome 4. Paris: Pearson Education.
- [34] Pujolle, Guy. 2024. Les Réseaux - Édition 2024-2026: Wi-Fi 7 / 8, 5G / 6G, réseaux quantiques, constellations de satellites... 10ème. Paris: Eyrolles.
- [35] —. 2018. Les réseaux: l'ère des réseaux cloud et de la 5G - Edition 2018-2020. 9ème édition. Paris: Eni Éditions.
- [36] Randriamasinoro, Njakarison Menja. 2021. École doctorale Mathématiques, informatique et télécommunications calcul périphérique. MONTREAL: ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE UNIVERSITÉ DU QUÉBEC.
- [37] Sara Akbarzadeh, Jean Schwoerer, Bertrand Bailly, Wael Labidi. 2020. Les réseaux 5G. Paris: Eni Editions.
- [38] SolarWinds. 2025. «<https://www.solarwinds.com/fr>.» Solarwinds. Accès le 02 22, 2025. <https://www.solarwinds.com/fr>.
- [39] Stéphane Lohier, Aurélie Quidelleur. 2010. Le Réseau Internet: des services aux infrastructures. Paris: Dunod.
- [40] Thomas Nadeau, Ken Gray. 2013. SDN – Software Defined Networks. Maryland: O'REILLY.
- [41] UIT-R. 2018. Rapport UIT-R SM.2356-2, Procédures de planification et d'optimisation des réseaux de contrôle du spectre en ondes métriques/décimétriques. Paris: Union International des télécommunications.
- [42] Union International desTélécommunications,. 2001. «Méthodes de dimensionnement pour le RNIS à large bande.» Recommandation UIT-T E.737. New-York: UIT-T, 02. 43.
- [43] Vasconcelos, Miguel Felipe Silva. 2023. Stratégies pour l'opération et le dimensionnement des centres de données cloud à faible émission de carbone. Grenoble Alpes: École doctorale Mathématiques, sciences et technologies de l'information, informatique de Grenoble.
- [44] Vaulot, A. E., et F. W. Rabe. 1947. «Démonstration des formules d'erlang en usage pour le calcul du trafic.» Annales des Télécommunications, décembre: 387-389.
- [45] Zabbix LLC. 2025. «<https://www.zabbix.com/fr/index>.» Zabbix. Accès le 02 23, 2025. <https://www.zabbix.com/fr/index>.

Facteurs associés à la Faible Implication des Partenaires Masculins au Service de Prévention de la Transmission Mère-Enfant (PTME) dans la Zone de Santé de Bunia, Province de l'Ituri, République Démocratique du Congo

[Factors associated with the Low Involvement of Male Partners in the Prevention of Mother-to-Child Transmission (PMTCT) Service in the Bunia Health Zone, Ituri Province, Democratic Republic of Congo]

Consolée Kyomuhendo¹ and Amuda Baba Dieu-Merci²

¹Chercheuse Indépendante, Licenciée en gestion des programmes de santé, Zone de santé de Bunia, province de l'Ituri, RD Congo

²Professeur Associé, Institut Supérieur des Techniques Médicales de Bunia (ISTM, Bunia), RD Congo

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study was conducted to describe factors explaining the low involvement of male partners in the PMTCT service in the Bunia health zone.

The cross-sectional method, supported by a questionnaire survey, was used to conduct this study among 400 male partners of pregnant women in the Bunia health zone in August and September 2021. Content analysis supported by percentage calculations was used to analyze the data.

After analysis, the study revealed the following:

- The main factors associated with the low involvement of male partners in accompanying their wives to the PMTCT service are respectively the perception of poor organization of PMTCT services (73%), lack of time on the part of spouses (48%), ignorance of the importance of PMTCT by spouses (36.75%) and the PMTCT service being perceived as a female environment (21%).
- Nearly 2/3 of respondents mentioned that non-participation in the PMTCT service could result in remaining sero-ignorant (36.68%) and increase the risk of contamination (29.65%).

In the light of these results, it must be admitted that efforts still need to be made to ensure the effective involvement of male partners in PMTCT services. An important aspect is to develop strategies to overcome the main factors affecting the non-involvement of male partners in PMTCT services.

KEYWORDS: factors, involvement of male partners, PMTCT, Bunia.

RESUME: Cette étude a été réalisée pour décrire les facteurs explicatifs de faible implication des partenaires masculins dans le service de PTME dans la zone de santé de Bunia.

La méthode transversale, appuyée par un questionnaire d'enquête a servi pour la réalisation de cette étude auprès de 400 partenaires masculins de femmes enceintes de la ZS de Bunia. L'analyse de contenu appuyée par le calcul de pourcentage a servi pour l'analyse des données.

Après analyse, l'étude a révélé ce qui suit:

- Les principaux facteurs associés à la faible implication des partenaires masculins à l'accompagnement de leurs conjointes au service de PTME sont respectivement la perception de mauvaise organisation de services de PTME (73%), le manque de temps des conjoints (48%), l'ignorance de l'importance de PTME par les conjoints (36,75%) et le service de PTME perçu comme un environnement féminin (21%).
- Près de 2/3 des enquêtés ont évoqué que la non-participation au service de PTME peut avoir comme risque de rester séro-ignorant (36,68%) et augmenter le risque de contamination (29,65%).

Au vu de ces résultats, il sied d'admettre que des efforts doivent encore être conjugués pour permettre l'implication effective des partenaires masculins dans le service de CPN/PTME. Un aspect important doit s'orienter pour la prise en compte de développer des stratégies pouvant surmonter les principaux facteurs affectant la non implication des partenaires masculins au service de PTME.

MOTS-CLEFS: facteurs, implication des partenaires masculins, PTME, Bunia.

1 INTRODUCTION

Le VIH demeure un problème majeur de santé publique de portée mondiale, qui a entraîné jusqu'ici près de 33 millions de décès. On estimait à 38 millions le nombre de personnes vivant avec le VIH à la fin de 2019. En effet, le Plan mondial déclare que « des efforts doivent être réalisés pour assurer l'implication et le soutien des hommes dans tous les aspects de ces programmes et pour lutter contre la discrimination liée à l'infection à VIH et aux inégalités entre hommes et femmes qui compromettent l'accès à ces services, ainsi que leur utilisation et la fidélisation des patients » (OMS, 2020).

Sous cet angle d'idées, les partenaires jouent un rôle important dans la rétention des femmes dans la cascade de la Prévention de la Transmission Mère-Enfant (PTME). Les femmes refusent parfois le dépistage prénatal du fait de la nécessité de consulter leurs conjoints pour leur accord. Cependant, traditionnellement, dans de nombreux pays aux ressources limitées, les hommes ne participent pas aux services de soins de santé de la reproduction de la mère et de l'enfant. Les services de reproduction et la PTME sont souvent fortement axés sur les femmes enceintes qui sont habituellement testées pour le VIH seul, souvent sans impliquer leurs partenaires. Pourtant, les décisions importantes relatives au statut de la femme devraient idéalement être partagées avec leurs partenaires (Astou et al. 2016).

À l'échelle mondiale, la plupart des publications scientifiques documentant les expériences de PTME dans les pays en développement présentent principalement des données quantitatives sur des indicateurs de processus. Certaines composantes du paquet de services de PTME, telles que le dépistage du VIH ou la modification des pratiques de nutrition infantile, ont fait l'objet d'études ponctuelles de recherche opérationnelle, plus qualitatives. Mais dans l'ensemble, il est rare que ces articles abordent l'intégralité de l'intervention de PTME, du dépistage prénatal jusqu'aux conditions de suivi deux ans après l'accouchement (date maximale du dépistage de l'infection pédiatrique à VIH par des techniques biologiques classiques) (OMS, 2019).

Selon Miller et Jeannette (s.d.), le dépistage volontaire du VIH, combiné au conseil avant et après le test, a pris une place considérable dans les programmes nationaux et internationaux de prévention et de soins. La connaissance de son propre état sérologique grâce au conseil et au test volontaires peut motiver à la fois les personnes VIH-positives et négatives à adopter un comportement sexuel plus sûr qui permet aux séropositifs d'éviter d'infecter leurs partenaires et aux séronégatifs de le rester. Cette intervention facilite également l'accès aux services de prévention pour les séronégatifs et constitue un point d'entrée clé dans les services de soins et de soutien pour les séropositifs.

Environ 21 % des personnes vivant avec le VIH ne connaissent pas leur statut sérologique. Le seul moyen de le déterminer est que la personne concernée fasse un test de dépistage du VIH. Dans de nombreux pays, des lacunes considérables existent au niveau des services liés au VIH pour la prévention, le dépistage et le traitement. Souvent, ces efforts n'atteignent pas les personnes exposées au plus grand risque, à savoir les jeunes filles et les jeunes femmes, les hommes et les groupes de populations clés notamment les hommes ayant des rapports sexuels avec des hommes, les travailleurs (ses) du sexe, les personnes qui s'injectent des drogues, les personnes transgenres, les personnes en prison ou dans des environnements confinés (OMS, 2021).

L'Afrique reste la région du monde la plus touchée par le VIH, virus responsable du sida avec 25,9 millions de personnes infectées. Les femmes et les filles en Afrique subsaharienne représentaient 59% de toutes les nouvelles infections à VIH (Kanati, Kaba et Chagbele, 2017).

En République Démocratique du Congo (RDC), la situation reste encore très préoccupante en dépit de multiples efforts fournis. D'énormes défis demeurent toujours bien que des progrès aient été réalisés dans plusieurs domaines notés dans la riposte nationale au sida. En effet, moins de 20% de malades ont accès aux antirétroviraux, l'offre de services pour l'élimination de la transmission du VIH de la mère à l'enfant reste très limitée à quelques sites, la persistance des comportements marginalisant les personnes vivant avec le VIH, le financement de la riposte nationale dépend à 97% de ressources extérieures (Matata, 2017).

Cependant, selon les estimations Spectrum 2017 V6.1, le nombre de personnes vivant avec le VIH est de 516 617. Les provinces portant le gros de ce nombre sont Kinshasa, le Haut-Uélé, le Maniema, le Haut-Katanga et le Kasai Oriental (UNAIDS, 2017).

Comme indique la même source, la RDC connaît une épidémie à VIH généralisée avec une prévalence moyenne de 2.77% chez les femmes enceintes et de 1.2% auprès de la population générale. Parmi les premiers pays en Afrique sur le front de la lutte contre le sida, l'élan de la RDC a été freiné par deux décennies de troubles politico-militaires et sociaux. Comme tous les autres plans de développement national, la mise en œuvre de celui de la réponse au sida fait aujourd'hui face à de grands et nombreux défis.

Cependant, l'Ituri reste l'une des zones à fort taux (5%) de prévalence du VIH/Sida, alors que la moyenne nationale adoptée par l'Organisation Mondiale de la Santé OMS est de 1,1%. Ce qui fait de l'Ituri la première Province la plus touchée par cette pandémie suivie de la Province du Bas Uélé avec 4,5%, selon le Programme National de Lutte contre le VIH/SIDA et IST (PNLS/Ituri, 2018).

En ce qui concerne les partenaires masculins, dans la Division Provinciale de Santé de l'Ituri, sur 635178 partenaires attendus au dépistage au service de CPN/PTME en 2020; 1746 partenaires ont été dépistés, soit 0,27% parmi lesquels 263 sortis positifs et 256 ont accepté et retiré leurs résultats. (PNLS/Ituri, 2020).

Par ailleurs, la Zone de Santé de Bunia rencontre encore d'énormes difficultés quant à l'implication de partenaires masculins au service de la consultation prénatale et précisément dans son volet de prévention de transmission de VIH/SIDA de la mère à l'enfant (PTME). Ce constat découle de longues expériences professionnelles sur terrain et des analyses effectuées dans des différentes structures sanitaires où il y a organisation de ce service. Les différents monitorages de ces structures rapportent de faibles taux de dépistage de partenaire masculin dans ce service de VIH /SIDA (10%) par rapport à la norme nationale qui est de 80%.

L'objectif de cette étude est de décrire les facteurs explicatifs de la faible implication des partenaires masculins au service PTME dans la Zone de Santé de Bunia.

2 MATERIEL ET METHODES

Cette étude s'est déroulée dans la Zone de Santé de Bunia, l'une de 36 Zones de santé de la Division provinciale de l'Ituri. Elle a eu lieu dans les aires de santé de ladite Zone ayant intégré les activités de PTME. La Zone de santé est constituée de 20 aires de santé dont 16 urbaines et 4 rurales, avec 20 CS, 1 CSR, 3 CH, 1 HGR et les formations sanitaires privées (BCZ-Bunia, 2019).

Cette étude, du type descriptif a couvert une période allant du mois d'août au mois de septembre 2021. La population d'étude était constituée des partenaires masculins qui vivaient en union avec leurs épouses ayant suivi au moins la CPN où se trouvent le service de PTME. Pour déterminer la taille de l'échantillon, nous avons fait appel à la formule de Lynch cité par Kothari (2004). Cette formule nous a permis de déterminer la taille de 400 partenaires masculins des femmes enceintes dans 20 Aires de santé de la Zone de santé de Bunia.

Pour trouver la taille de l'échantillon, nous avons utilisé l'échantillonnage en plusieurs degrés:

- Au premier degré, le choix des aires de santé était exhaustif.
- Au deuxième degré, le choix des partenaires masculins des femmes enceintes, nous avons utilisé l'échantillonnage occasionnel pour atteindre le nombre des enquêtés dans chaque AS selon la pondération reprise dans le tableau ci-dessous:

AIRE DE SANTE DE LA ZS	POPULATION	EFFECTIF DE FEMMES ENCEINTES (4%)	PROPORTION DE CHAQUE AS (%)	NOMBRE DES ENQUETES ATTENDU
Adventiste	13278	531	3.5	14
Aero	10333	413	2.8	11
Bankoko	37680	1507	10	40
Bigo	33054	1322	8.8	36
Bora Uzima	10688	428	2.8	11
Bunia Cite	16112	644	4.3	17
Centrale	11183	447	3	12
CNCA	24038	962	6.4	26
Kindia	19696	788	5.3	21
Lembabo	27208	1088	7.3	29
Mudzimaria	31534	1261	8.4	34
Muhito	10667	427	2.9	11
Ndibakodu	11691	468	3.2	12
Ngezi	29000	1160	7.7	31
Nyakasanza	24205	968	6.5	26
Nzere	16371	655	4.4	17
Opas	7554	302	2	8
Rwambuzi	13224	529	3.5	14
Simbilyabo	16911	676	4.5	18
Soleniama	10088	404	2.7	11
TOTAL	374515	14981	100	400

Pour cette étude, nous avons recouru à la méthode transversale (Vaughan et Morrow, 1991). Un questionnaire préétabli, administré aux partenaires masculins, nous a aidé à collecter les données auprès des enquêtés. Les données ont été saisies sur ordinateur dans le logiciel sphinx. Après saisie et contrôle, les données recueillies ont été exportées sur Excel pour être traitées et analysées par SPSS.

3 RESULTATS

Variables	Manque de temps			Perception de mauvaise organisation des services		Ignorance de l'importance de PTME		Service perçu comme un environnement féminin	
	n	f	%	f	%	f	%	f	%
Age (ans)									
18 à 28	93	42	45,16	73	78,49	41	44,09	26	27,96
29 à 38	93	48	51,61	70	75,27	26	27,96	11	11,83
39 à 48	102	56	54,9	69	67,65	27	26,47	22	21,57
49 et plus	112	46	41,07	80	71,43	53	47,32	25	22,32
Profession									
Fonctionnaire	89	42	47,19	81	91,01	29	32,58	11	12,36
Commerçant	59	28	47,46	46	77,97	25	42,37	5	8,47
Petits métiers	59	34	57,63	23	38,98	15	25,42	10	16,95
Cultivateur/Agriculteur	97	49	50,52	70	72,16	38	39,18	26	26,80
Sans fonction	96	39	40,63	72	75,00	40	41,67	32	33,33
Niveau d'étude									
Analphabète	109	41	37,61	71	65,14	48	44,04	18	16,51
Primaire	90	47	52,22	64	71,11	24	26,67	25	27,78
Secondaire	99	55	55,56	78	78,79	26	26,26	24	24,24
Supérieur/Universitaire	102	49	48,04	79	77,45	49	48,04	17	16,67
Etat matrimonial									
Marié monogamique	155	47	30,32	119	76,77	78	50,32	51	32,90
Marié polygamique	141	94	66,67	100	70,92	42	29,79	17	12,06
Union libre	104	51	49,04	73	70,19	27	25,96	16	15,38
Confession religieuse									
Catholique	112	42	37,5	76	67,86	60	53,57	20	17,86
Protestante	69	29	42,03	77	111,59	25	36,23	13	18,84
Musulmane	106	75	70,75	65	61,32	21	19,81	14	13,21
Autre	113	46	40,71	74	65,49	41	36,28	37	32,74
Total	400	192	48,00	292	73,00	147	36,75	84	21,00

Les principaux facteurs associés à la faible implication des partenaires masculins à l'accompagnement de leurs conjointes au service de PTME sont respectivement la perception de mauvaise organisation de services de PTME (73%), le manque de temps des conjoints (48%), l'ignorance de l'importance de PTME par les conjoints (36,75%) et le service de PTME perçu comme un environnement féminin (21%).

Facteurs associés à la Faible Implication des Partenaires Masculins au Service de Prévention de la Transmission Mère-Enfant (PTME) dans la Zone de Santé de Bunia, Province de l'Ituri, République Démocratique du Congo

Variables	Risque de rester dans la Séro-ignorance			Naissance d'un enfant séropositif		Mauvaise adhérence en cas de séro-positivité d'un conjoint		Risque de contamination		Autres	
	N	Eff	%	Eff	%	Eff	%	Eff	%	Eff	%
Age (ans)											
18 à 28	93	23	24,73	8	8,60	11	11,83	32	34,41	19	20,43
29 à 38	93	31	33,33	7	7,53	7	7,53	33	35,48	15	16,13
39 à 48	102	49	48,04	8	7,84	10	9,80	28	27,45	7	6,86
49 et plus	112	43	38,39	13	11,61	15	13,39	25	22,32	16	14,29
Profession											
Fonctionnaire	89	37	41,57	8	8,99	10	11,24	31	34,83	3	3,37
Commerçant	56	24	42,86	5	8,93	5	8,93	11	19,64	11	19,64
Petits métiers	61	16	26,23	10	16,39	13	21,31	16	26,23	6	9,84
Cultivateur/Agriculture	96	44	45,83	6	6,25	5	5,21	29	30,21	12	12,50
Sans fonction	98	25	25,51	7	7,14	10	10,20	31	31,63	25	25,51
Niveau d'étude											
Analphabète	106	48	45,28	6	5,66	6	5,66	28	26,42	18	16,98
Primaire	89	30	33,71	8	8,99	11	12,36	33	37,08	7	7,87
Secondaire	101	37	36,63	9	8,91	12	11,88	35	34,65	8	7,92
Supérieur/Universitaire	104	31	29,81	13	12,50	14	13,46	22	21,15	24	23,08
Etat matrimonial											
Marié monogamique	155	59	38,06	12	7,74	11	7,10	39	25,16	34	21,94
Marié polygamique	141	43	30,50	15	10,64	25	17,73	47	33,33	11	7,80
Union libre	104	44	42,31	9	8,65	7	6,73	32	30,77	12	11,54
Confession religieuse											
Catholique	100	38	38,00	12	12,00	8	8,00	31	31,00	11	11,00
Protestante	99	39	39,39	9	9,09	7	7,07	29	29,29	15	15,15
Musulmane	98	36	36,73	2	2,04	17	17,35	29	29,59	14	14,29
Autre	101	33	32,67	11	10,89	11	10,89	29	28,71	17	16,83
Total	398	146	36,68	34	8,54	43	10,80	118	29,65	57	14,32

Près de 2/3 des enquêtés ont évoqué que la non-participation au service de PTME peut avoir comme risque de rester séro-ignorant (36,68%) et augmenter le risque de contamination (29,65%).

4 DISCUSSION

4.1 FACTEURS JUSTIFICATIFS DE NON ACCOMPAGNEMENT DES FEMMES ENCEINTES PAR LEURS PARTENAIRES MASCULINS AU SERVICE DE PTME

Les principaux facteurs associés à la faible implication des partenaires masculins à l'accompagnement de leurs conjointes au service de PTME sont respectivement la perception de mauvaise organisation de services de PTME, le manque de temps des conjoints, l'ignorance de l'importance de PTME par les conjoints et le service de PTME perçu comme un environnement féminin (Tableau II).

Conformément à ces résultats, d'autres études ont plus développé les contraintes culturelles comme facteur clé justifiant la faible implication des hommes dans l'accompagnement de leurs conjointes, étant donné que ce service est perçu comme un environnement féminin. Pour OMS (2015), les hommes ressentent qu'ils ne sont pas les bienvenus et qu'on leur manque de respect, et qu'il est clair que les services avaient été conçus sans que leurs besoins spécifiques aient été pris en compte. Dans la même optique, l'OMS (2012) indique que dans de nombreux endroits en Afrique subsaharienne, la participation des hommes à la PTME va clairement à l'encontre des normes sexo-spécifiques en vigueur. Le recours au soin en matière de santé génésique était considéré par les hommes comme « du ressort des femmes ». Les services de consultations prénatales sont vus par les hommes comme un endroit pour les femmes, la définition et l'organisation du programme comme fondamentalement orientées à l'intention des femmes. Selon OMS et ONUSIDA (2007), ces informations alimentent une notion souvent passée sous silence dans laquelle l'homme est vu comme un obstacle à la santé plutôt que comme un partenaire dans la promotion de la santé familiale. Pourtant, il existe des données de plus en plus nombreuses indiquant que quand les hommes procèdent à un examen critique des normes de pouvoir, acquièrent de nouvelles connaissances et de nouvelles compétences et remettent en question les normes sexo-spécifiques en vigueur, il peut en résulter de nombreux avantages pour la santé génésique globale des familles. Un partenaire qui veut accompagner sa femme à la CPN se trouve confronté au regard stigmatisant des hommes et des femmes de sa communauté (Faraja, 2018).

La mauvaise organisation perçue des services a aussi constitué le premier principal facteur qui décourage l'implication des partenaires dans le service de PTME (Tableau V). Selon Traversy et al. (2015), la longueur des procédures relatives au consentement (selon la

réglementation locale) ainsi que des procédures de counseling peut entraîner un manque de temps. Les fournisseurs de soins de santé peuvent considérer ce manque de temps comme un obstacle s'ils ne connaissent pas très bien la réglementation locale.

Nombreux sont ceux aussi qui savent combien il est important de se faire dépister mais qui sont réticents à le faire. Le poids de la stigmatisation et de la discrimination pèse encore beaucoup et le manque de discrétion et d'anonymat des services des centres de santé les décourage (Ndaya, 2015).

À l'échelle mondiale, le recours aux services associés continue d'être plus faibles chez les hommes que chez les femmes. Cela s'explique par le fait que le dépistage du VIH est désormais bien intégré aux services de santé reproductive, notamment dans le cadre des soins prénatals, mais que cette intégration n'a pas été opérée de manière systématique dans d'autres services cliniques pertinents. En outre, le dépistage des partenaires masculins n'est pas pratiqué à grande échelle et, lorsqu'il est offert, il n'est pas toujours accepté (OMS, 2016). Cette réalité s'expliquerait par le fait que l'activité de PTME ne semble pas être bien organisée dans beaucoup de structures et les prestataires n'y mettent pas l'accent là-dessus.

Bien que la perception d'une mauvaise organisation de service de PTME et le manque de temps par les partenaires masculins des femmes enceintes soient considérés comme des principaux facteurs bloquant leur implication dans le service de PTME, cela pourrait être considéré comme un prétexte. Comme stipulé par d'autres auteurs, le vrai facteur serait plutôt lié aux considérations culturelles, où l'homme perçoit qu'il ne se sentirait pas en sécurité au milieu des femmes ou dans un service dont les principaux bénéficiaires directs sont les femmes et que l'environnement est généralement féminin. Il est donc important, en plus de sensibilisation qui se passe dans la communauté, d'envisager certaines réformes organisationnelles dudit service, en privilégiant un environnement neutre où tous les hommes quelques soient leurs statuts, puissent se sentir à l'aise. Mais aussi, il est capital d'envisager des sessions de vulgarisations faites, par les animateurs qui auront été formés comme pairs éducateurs, étant donné qu'ils peuvent facilement intégrer certaines considérations communautaires sensibles.

4.2 RISQUE LIES À LA NON-PARTICIPATION AU SERVICE DE PTME SELON LES ENQUETES

La séro-ignorance et l'augmentation de risque de contamination ont été identifiées comme les principaux risques de la non-participation des conjoints au service de PTME (Tableau III). Comme trouvé ci-haut, Lewis (2007) stipule également l'aggravation du risque de transmission du VIH en cas d'infections sexuellement transmissibles non dépistées ou non traitées chez l'un ou l'autre des partenaires.

Le risque de transmission du VIH augmente avec le nombre de partenaires sexuels qu'une personne possède. Le plus de partenaires une personne dispose, plus est grande la probabilité qu'elle s'engagera dans le sexe avec quelqu'un qui a un niveau supérieur de VIH dans leur fuselage (charge virale) ou une maladie sexuellement transmissible différente (STD), qui sont des facteurs de risque pour la transmission de VIH (Sally, 2019).

Ces risques sont réels, et pourraient contribuer à l'expansion de la maladie. Mais également, il y aura difficulté pour arriver à contrôler la charge virale, et par conséquent avec des effets directs sur l'état sanitaire de la mère, de fœtus et même du père. Si cette tendance persiste, le contrôle de VIH posera certainement un problème majeur dans nos communautés.

5 LIMITE DE L'ÉTUDE

La principale limite de la présente étude se situe au niveau de l'échantillonnage utilisé pour le choix des enquêtés. L'échantillonnage occasionnel faisant partie du type d'échantillonnage probabiliste ne nous permet pas à procéder à la généralisation de des résultats de cette étude.

6 CONCLUSION

Cette étude a révélé que les principaux facteurs associés à la faible implication des partenaires masculins à l'accompagnement de leurs conjointes au service de PTME dans la Zone de santé de Bunia sont respectivement la perception de mauvaise organisation de services de PTME, le manque de temps des conjoints, l'ignorance de l'importance de PTME par les conjoints et le service de PTME perçu comme un environnement féminin.

Au vu de ces résultats, il y a lieu des efforts complémentaires soient faits, non seulement pour repenser le cadre de l'organisation de service de PTME en y mettant de dispositions facilitant l'intégration des partenaires masculins, mais l'organisation des campagnes de sensibilisation communautaire faite par les pairs éducateurs communautaires qui auront la facilité de prendre en compte les aspects communautaires sensibles.

REFERENCES

- [1] Astou et al. (2016) Facteurs Associés à l'Implication des Partenaires des Femmes Enceintes reçues en Consultation Périnatales au Burundi, https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00WJG2.pdf
- [2] BCZ-Bunia (2019) Rapport d la Zone de santé de Bunia. Inédit.
- [3] Faraja B. (2019) *Implication des hommes dans la consultation prénatale dans la ville de Bukavu, cas du centre hospitalier de Chahi*. Travail de fin de cycle, ISTM/Bukavu. Inédit. <https://www.memoireonline.com/12/19/11371/Implication-des-hommes-dans-la-consultation-prenatal-dans-la-ville-de-Bukavu-cas-du-centre-hospital.html>.
- [4] Kanati, Kaba et Chagbele (2017) Des hommes et le dépistage du VIH/SIDA dans le programme de prévention de la transmission mère-enfant dans la commune Kozah1 au Togo les raisons de la réticence.
- [5] Matata P. (2017) *plan stratégique national de lutte contre le VIH et le SIDA*. <https://www.ilo.org/dyn/natlex/docs/ELECTRONIC/102956/124714/F-295779962/COD-102956.pdf>
- [6] Kothari C.R. (2004) *Research methodology. Methods and techniques*. (2nd ed.). New Delhi: New Age International Publishers.
- [7] Miller et Jeanette O. (sd) *Conseil et test VIH volontaires: une voie d'accès à la prévention et aux soins*. https://www.unaids.org/sites/default/files/media_asset/jc729-vct-gateway-cs_fr_0.pdf
- [8] OMS (2012) Déclaration sur le conseil et le dépistage du VIH: l'OMS et l'ONUSIDA réitèrent leur opposition au dépistage du VIH obligatoire. https://www.who.int/hiv/events/2012/world_aids_day/hiv_testing_counselling/fr/#:text=L'OMS%20recommande%20de%20proposer, les%20services%20m%C3%A9dicaux%20en%20situation.
- [9] OMS (2015) *Impliquer les hommes dans la prévention de la transmission mère-enfant du VIH* <https://plateforme-elsa.org/wp-content/uploads/2015/01/impliquer-hommes-ptme.pdf>
- [10] OMS (2016) Lignes directrices sur services de dépistage du VIH décembre 2016 l'auto dépistage du VIH et la notification aux partenaires. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272938/9789242549867-fre.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [11] OMS (2019) *lignes directrices unifiées sur les services de services de dépistage du VIH 2019*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/340219/9789240016330-fre.pdf>
- [12] OMS (2020) Connaissances de bases sur le VIH et réduction de la stigmatisation Module 3. Conseil et dépistage en matière de VIH et aspect éthique, <https://apps.who.int/iris/handle/10665/204685>.
- [13] OMS (2021) *Services de dépistage du VIH*. <https://www.who.int/hiv/topics/vct/about/fr/>.
- [14] OMS et ONUSIDA (2007) Guide Du Conseil Et Du Dépistage Du VIH À L'initiative Du Soignant Dans Les Établissements De Santé, https://www.who.int/hiv/topics/vct/PITCguidelines_F.pdf
- [15] PNLS- Ituri (2018) Plan Stratégique Opérationnelle de programme national de lutte contre le VIH/SIDA et IST, Province de l'ITURI. Inédit.
- [16] PNLS-Ituri (2020) Plan Stratégique Opérationnelle de programme national de lutte contre le VIH/SIDA et IST, Province de l'ITURI, 2020. Inédit.
- [17] Ndaya R. (2015) *Le VIH/SIDA chez les adolescents: une stratégie prometteuse pour le dépistage volontaire*. <https://reliefweb.int/report/democratic-republic-congo/le-vihsida-chez-les-adolescents-une-strat-gie-prometteuse-pour-le-d>.
- [18] Sally R. (2019) Risques et facteurs de risques du VIH/SIDA.
- [19] [https://www.news-medical.net/health/HIV-Risks-\(French\).aspx](https://www.news-medical.net/health/HIV-Risks-(French).aspx).
- [20] Lewis S. (2007) *Facteurs de risque de l'infection à VIH/sida chez la femme*. https://healtheducationresources.unesco.org/sites/default/files/resources/bie_facteurs_de_risquedefversionfinale.pdf
- [21] Traversy G.P. et al. (2016) *Obstacles et facteurs favorables au dépistage du VIH*. Québec: Agence de la santé publique du Canada. <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/rapports-publications/releve-maladies-transmissibles-canada-rmtc/numero-mensuel/2015-41/rmtc-volume-41-12-3-decembre-2015-bonnes-nouvelles-vih/rmtc-volume-41-12-3-decembre-2015-bonnes-nouvelles-vih-1.html>.
- [22] UNAIDS (2017) Combinaison des approches communautaires «Mère Mentors» et «CPN-Papa» dans le cadre de l'élimination de la transmission mère-enfant. https://plateforme-elsa.org/wp-content/uploads/2020/10/Meres-mentors-et-CPN-Papa_Combinaison-pour-IETME_Rapport_RDC-FR.pdf
- [23] Vaughan J.P. et Morrow R.H. (1991) Manuel d'épidémiologie pour la gestion de santé au niveau du District. Genève: OMS.

Apport de la statistique descriptive à l'étude de la productivité des forages d'eau en milieu de socle: Cas de la région du N'Zi-Comoe en Côte d'Ivoire

[Contribution of descriptive statistics to the study of water drilling productivity in bedrock environments: The case of the N'Zi-Comoe region in Côte d'Ivoire]

Assoue Kouakou Sylvestre KOUADIO, Zahibo Oscar ONETIE, Yao Salomon KOUAKOU, and Assa Fabrice YAPI

Département de Géosciences, UFR des Sciences Biologiques, Université Péléforo Gon COULIBALY (UPGC), BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study is part of a search for sustainable solutions for access to drinking water in rural areas of Côte d'Ivoire, where boreholes in bedrock areas are the main source of drinking water supply. The objective is to statistically analyse the flow rates (Q , in m^3/h) of water boreholes in the N'zi-Comoé region in order to assess their variability, distribution and relevance in characterising the aquifer potential in bedrock environments. To do this, descriptive statistics and the Shapiro-Wilk and Chi^2 statistical tests of normality were used. This approach yielded relevant results, namely an average flow rate of $5.71 \text{ m}^3/\text{h}$, which is lower than the standard deviation, and a coefficient of variation of 131%. These values indicate a high degree of heterogeneity in flow rates in the N'ZI-Comoé region. This highlights the discontinuous nature of the aquifer tapped for drinking water supply not only in the study area but also in the bedrock environment in Côte d'Ivoire.

KEYWORDS: N'Zi-Comoé, productivity, drilling, descriptive statistics, fractured aquifers.

RESUME: Cette étude s'inscrit dans un contexte de recherche de solutions durables pour l'accès à l'eau potable en milieu rural ivoirien, où les forages en zone de socle constituent la principale source d'approvisionnement en eau potable. L'objectif est d'analyser statistiquement les débits (Q , en m^3/h) des forages d'eau de la région du N'zi-Comoé afin d'évaluer leur variabilité, leur distribution et leur pertinence dans la caractérisation du potentiel aquifère en milieu de socle. Pour ce faire, la méthode de la statistique descriptive et les tests statistiques de normalité de Shapiro-Wilk et du Chi^2 ont été utilisées. Cette démarche a permis d'obtenir des résultats pertinents, à savoir une moyenne de débit de $5,71 \text{ m}^3/\text{h}$ qui est inférieure à l'écart type et un coefficient de variation de 131 %. Ces valeurs indiquent une forte hétérogénéité des débits de la région du N'ZI-Comoé. Ce qui marque le caractère discontinue de l'aquifère capté pour l'alimentation en eau potable non seulement de la zone d'étude mais en milieu de socle en Côte d'Ivoire.

MOTS-CLEFS: N'Zi-Comoé, productivité, forage, statistique descriptive, aquifères fissurés.

1 INTRODUCTION

En Afrique de l'Ouest, l'accès à l'eau potable constitue un défi majeur, en particulier en milieu rural où les ressources en eaux souterraines représentent souvent la seule source disponible [1]. En Côte d'Ivoire, les aquifères de socle représentent les principales sources d'alimentation en eau potable des populations [2]. Selon la Direction de la Gestion et de la Protection des Ressources en Eau (DGPRE) du ministère des eaux et forêts, la quantité d'eau contenu dans le socle est estimée à environ 113 milliards de m^3 dont 35,5 milliards de m^3 renouvelés chaque année. Cette partie souterraine est exploitée pour l'alimentation

en eau potable des populations rurales et certaines villes du pays. Malgré la disponibilité de ces ressources, l'alimentation en eau potable demeure une préoccupation. C'est le cas des régions du N'zi, Iffou et Moronou où le taux de couverture est de 72 % en zone rurale [3]. En 2010, ces régions ont bénéficié de 150 forages d'eau équipés de pompe à motricité humaine dans le cadre du programme économique régional de l'Union Economique Monétaire Ouest Africaine (UEMOA). En effet, il a été constaté que plusieurs ouvrages existants sont dysfonctionnels et le problème d'accès à l'eau potable continue de se poser. Même si le taux de couverture dépendrait d'une volonté politique, il serait aussi fonction de la productivité des ouvrages. Plusieurs études ont été menées sur le fonctionnement des aquifères de socle en Côte d'Ivoire entre autres [4]. Mais celle que nous avons réalisé met l'accent sur l'utilisation de l'analyse descriptive à l'étude de la productivité des forages d'eau en milieu de socle. L'objectif de celle-ci est d'analyser statistiquement les débits (Q , en m^3/h) des forages d'eau de la région du N'zi-Comoé afin d'évaluer leur variabilité, leur distribution et leur pertinence dans la caractérisation du potentiel aquifère en milieu de socle.

2 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Du point de vue géographique, La zone d'étude est l'ex région du N'Zi-Comoé située au Centre-Est de la Côte d'Ivoire entre les longitudes $3^{\circ}40'$ et $4^{\circ}55'$ Ouest et les latitudes $6^{\circ}20'$ et $8^{\circ}10'$ Nord et regroupe neuf départements. Il prend en compte les régions du N'zi, du Iffou et du Moronou (Fig. 1).

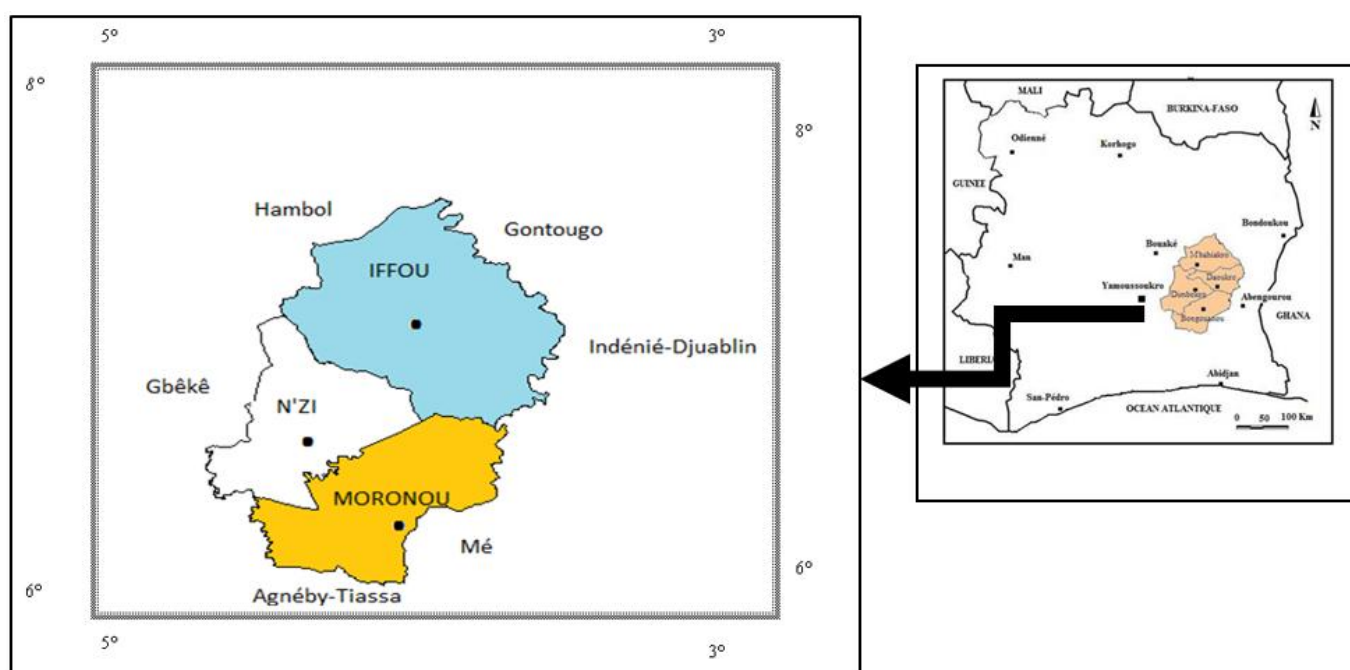


Fig. 1. Situation géographique de la région du N'Zi-Comoé [3]

La région d'étude est caractérisée par une topographie présentant des surfaces aux profils très différents. On distingue essentiellement un relief accidenté et un relief monotone. La végétation est constituée de savanes arborée et arbustive avec des forêts galeries ou de savanes herbeuses. Du point de vue hydrographique, la presque totalité de la zone d'étude fait partie des bassins versants de la Comoé et du Bandama. Le climat qui y règne est de type équatorial de transition avec une pluviosité mensuelle qui varie de 13,11 à 178,73 mm [5].

Géologiquement, cette zone appartient au domaine Paléoprotérozoïque encore appelé domaine Baoulé-Mossi [6]. Sa lithologie est caractérisée par un ensemble complexe de formations géologiques constituées essentiellement de roches ignées, métamorphiques et volcano-sédimentaires. On distingue les roches éburnéennes et les roches birimiennes. Celles-ci ont acquis leurs propriétés d'aquifères sous l'effet des mouvements tectoniques, des phénomènes de décompressions et des formations des roches cristallines. Dans la zone du N'Zi-Comoé, les fractures principales sont de direction, préférentiellement Nord-Sud et elles sont susceptibles de faciliter la circulation de l'eau dans les roches. Ces formations géologiques ont été également touchées par le phénomène d'altération. Ainsi, l'altération sur le substratum schisteux est particulièrement épaisse et argileuse [7].

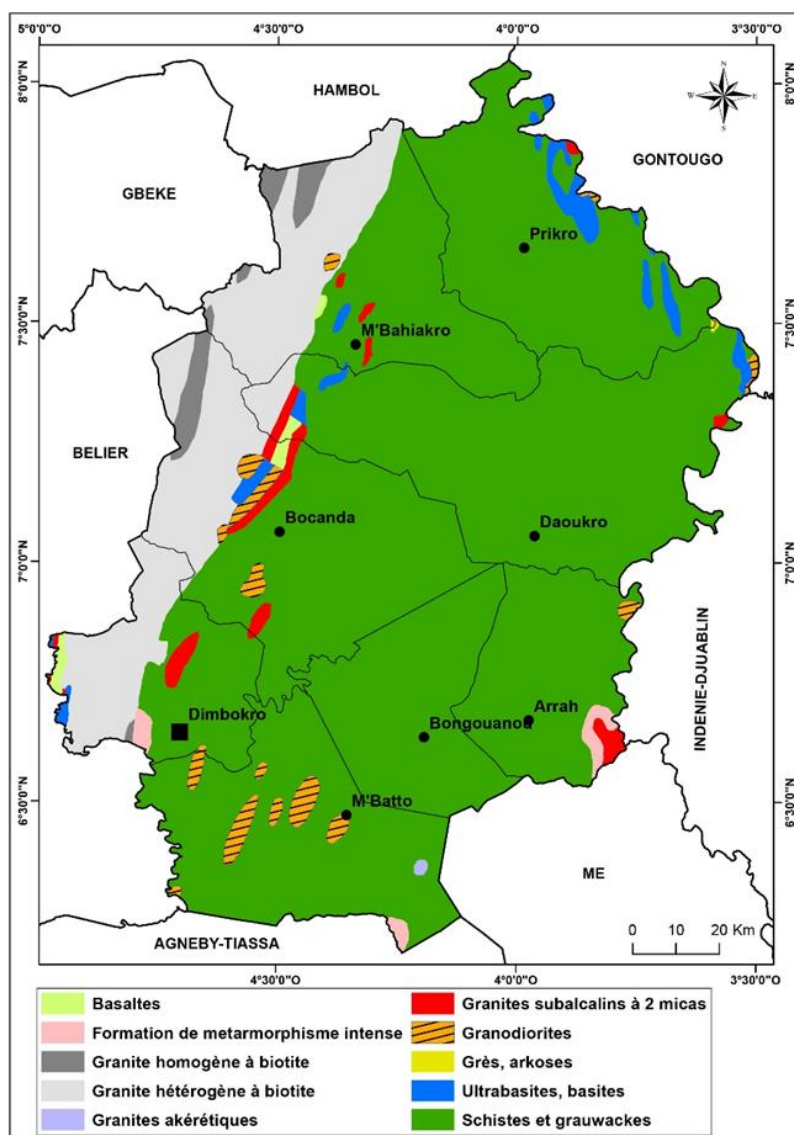


Fig. 2. Carte géologique de la zone d’N’Zi-Comoé [2]

3 MATERIEL ET METHODES

3.1 DONNÉES

L’étude repose sur un jeu de données issu de campagnes hydrogéologiques menées en milieu de socle dans la région du N’Zi-Comoé dans le cadre des projets UEMOA en 2010 et le programme présidentiel d’urgence (PPU) en 2013 (Fig.3). Ces données ont été relevées à partir des dossiers techniques de 136 forages réalisés. Chaque point de données correspond à un forage caractérisé par une mesure de débit air-lift (Q_a).

Elles ont été traitées grâce aux outils informatiques tels que le logiciel STATISTICA 7.1 et le logiciel ARCGIS 10.

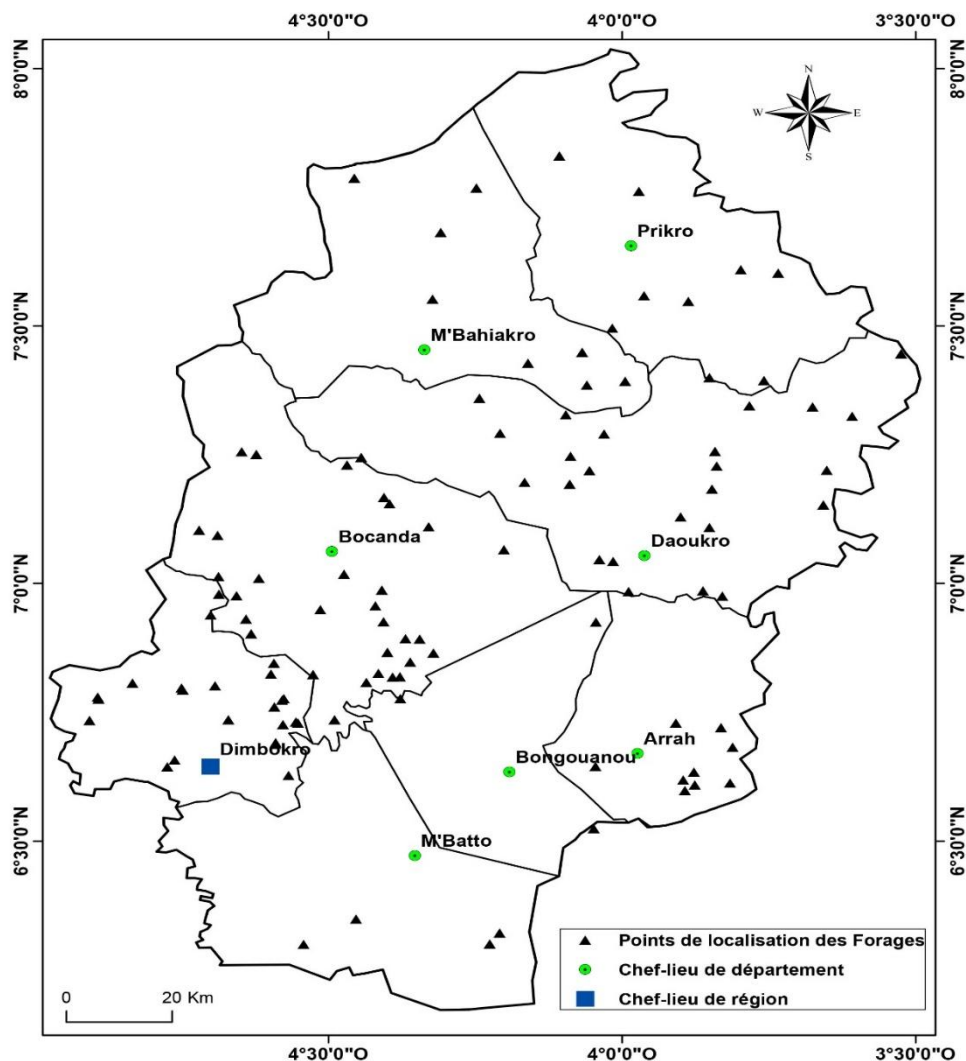


Fig. 3. Répartition spatiale des données utilisées [2]

3.2 MÉTHODES

3.2.1 DETERMINATION ET ANALYSE STATISTIQUE DU DEBIT AIR-LIFT

Le paramètre utilisé dans ce travail est le débit air-lift (Q).

3.2.1.1 METHODE DE DETERMINATION DU DEBIT AIR-LIFT

D'abord, le débit a été obtenu à partir des fiches techniques des forages réalisés. La méthode d'évaluation du débit utilisée pendant les travaux de forages est la méthode volumétrique.

$$Qa = \frac{V \times 3,6}{t} \quad (1)$$

Avec Qa: débit air-lift en m³/h;

V: volume du récipient utilisé en litre (L);

t: le temps de remplissage du récipient en seconde (s).

Ensuite, les classes de débits établies par le Comité Inter-Etats de l'Hydraulique en 1978 [8] ont été analysées.

Tableau 1. Classification des débits selon le CIEH

Classe de Débit (m ³ /h)	Caractéristique
0 - 1	Très faible
1 - 2.5	Faible
2.5 - 5	Moyen
≥ 5	Fort

3.2.1.2 ANALYSE DESCRIPTIVES DES DÉBITS

Les caractéristiques descriptives analysées sont:

- La moyenne des débits

$$\frac{\sum Q_i}{N} \quad (2)$$

Avec Q_i débits et N le nombre de forages

- Médiane

La médiane (Me) est le point milieu d'un jeu de données, de sorte que 50 % des unités ont une valeur inférieure ou égale à la médiane et 50 % des unités ont une valeur supérieure ou égale.

$$Me = \frac{\left(\frac{N}{2} + \left(\frac{N}{2} + 1\right)\right)}{2} \quad (3)$$

Me : Médiane, N : le nombre de forages. Ici les valeurs des débits doivent être ordonnés par ordre croissant.

- L'écart-type

$$\sigma = [\sum (x_i - m)^2 / N]^{1/2} \quad (4)$$

Avec σ : l'écart type, m : la moyenne, N : le nombre de forage

- Le coefficient de variation Cv

$$Cv = \frac{\sigma}{m} \quad (5)$$

- Le coefficient d'asymétrie (skewness)

$$Sk = \frac{1}{\sigma^3} \frac{\sum (x_i - m)^3}{N} \quad (6)$$

- Le Coefficient d'aplatissement (K)

$$K = \frac{1}{\sigma^4} \frac{\sum (x_i - m)^4}{N} - 3 \quad (7)$$

4 RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 RÉSULTATS

4.1.1 STATISTIQUE DESCRIPTIVE DES DÉBITS

Tableau 2. Statistique descriptive des débits

Variable : Débits Qa (m ³ /h)	
Moyenne	5,71
Médiane	2,99
Écart-type	7,50
Coefficient de variation	131 %
Kurtosis (Coefficient d'aplatissement)	8,16
Coefficient d'asymétrie (skewness)	2,69
Minimum	0,3
Maximum	43,2
Nombre d'échantillons	136

L'analyse statistique et descriptive des débits présentées dans le tableau II montre une variation des débits de 0,3 à 43,20 m³/h dans l'ensemble des forages. Ces forages ont un débit maximum de 43,20 m³/h avec une moyenne de 5,71 m³/h et un minimum de 0,3 m³/h. Mais la médiane est bien plus basse 2,99 m³/h. La distribution est asymétrique et positive ou skewness de 2,69. Le coefficient d'aplatissement ou kurtosis de 8,16 montre une distribution avec des valeurs extrêmes. Quant au coefficient de variation, il est de 131 %. La majorité des valeurs sont concentrées vers la gauche de la moyenne (Fig. 4.). La queue de la distribution s'étire vers la droite, vers des valeurs plus élevées avec une moyenne supérieure à la médiane.

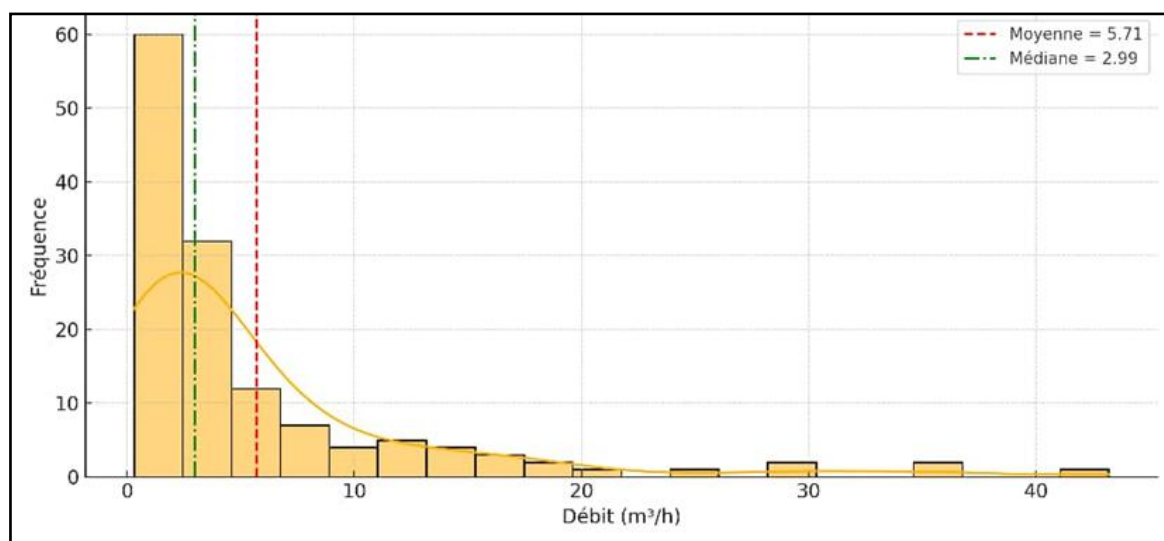


Fig. 4. Distribution des débits dans le cas d'une asymétrie positive

4.1.2 ANALYSE STATISTIQUE DES CLASSES DE DÉBITS

Les résultats de cette analyse sont présentés dans le tableau II. Quatre classes de débits sont présentées selon la classification CIEH. Il s'agit de la classe des débits très faibles, faibles, moyens et forts. La classe des débits très faibles sont les débits strictement inférieurs à 1 m³/h. La classe des débits faibles sont les débits compris entre 1 et 2,5 m³/h. La classe des débits moyens sont les débits compris entre 2,5 et 5 m³/h et la dernière classe est la classe des débits forts, débits supérieurs ou égaux à 5 m³/h. La classe la plus représentée est celle des débits forts ($Q \geq 5$), représentant 31,62 % de l'échantillon. Les débits très faibles ($Q < 1$) sont minoritaires (13,97 %). La moyenne globale des débits est de 5,71 m³/h, fortement influencée

par la classe $Q \geq 5$ (moyenne = 13,60). L'écart-type global élevé (7,50) indique une forte dispersion, reflétant la variabilité importante des débits.

Tableau 3. Analyse descriptive des classes de débits

Classes de Débits (m^3/h)	Effectif	Pourcentage (%)	Moyenne	Ecart-type
$Q < 1$ (Débits très faibles)	19	13,97	0,67	0,20
$1 \leq Q < 2.5$ (Débits faibles)	41	30,15	1,63	0,40
$2.5 \leq Q < 5$ (Débits moyens)	33	24,26	3,41	0,67
$Q \geq 5$ (Débits forts)	43	31,62	13,60	9,21
Total	136	100	5,71	7,50

La boîte à moustaches (Fig. 5) montre la dispersion intra-classe, avec des écarts-types croissants vers les classes supérieures, notamment une grande hétérogénéité dans la classe $Q \geq 5$.

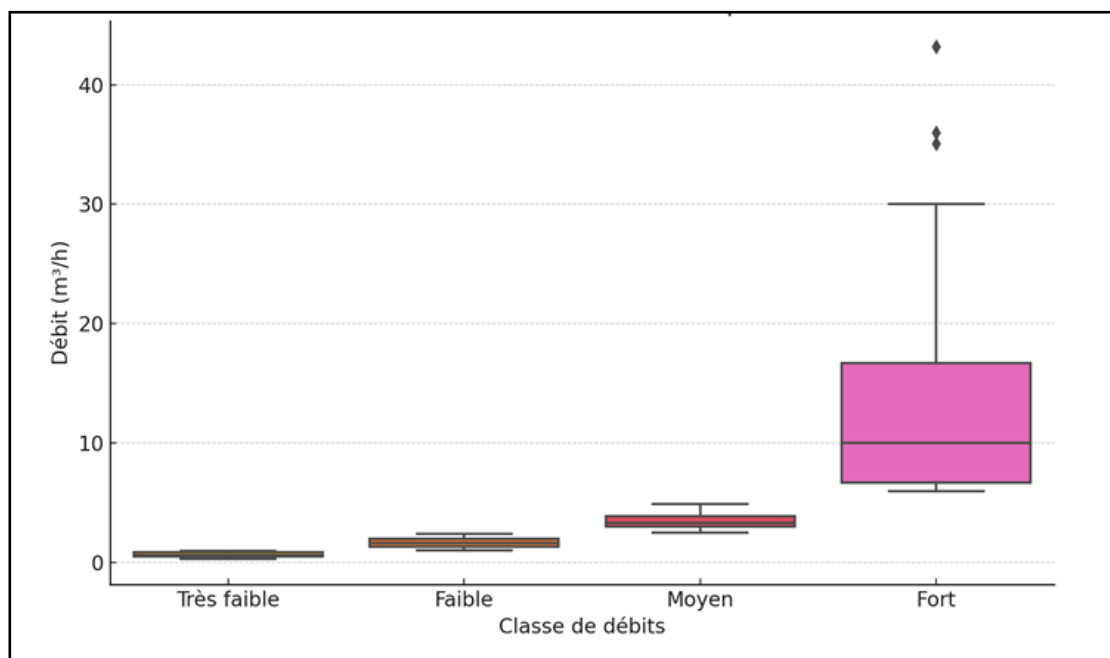


Fig. 5. Boîte à moustache des débits par classe

4.1.3 TEST DE NORMALITE DE SHAPIRO-WILK ET DU CHI2 POUR LA DISTRIBUTION DES CLASSES

Les tests statistiques de normalité de Shapiro-Wilk et du χ^2 nous ont permis d'observer la distribution des débits des forages dans la zone d'étude. Ils donnent des valeurs respectives W 0,661 avec une p -value de 2.83×10^{-16} et χ^2 : 157 avec une p -value de 0.0.

5 DISCUSSION

L'étude des débits des forages a été utilisée comme indicateur de la productivité. Elle a montré que les forages réalisés dans la région du N'Zi-Comoé ont un débit moyen de $5,71 \text{ m}^3/\text{h}$ appartenant à la classe des débits forts ($Q \geq 5 \text{ m}^3/\text{h}$). Cette valeur élevée de la moyenne serait dû à une petite fraction des forages présentant des débits anormalement élevés parce que ces valeurs extrêmes tirent la moyenne vers le haut. A Cela s'ajoute au fait que les formations schisteuses qui sont plus productives sont dominantes dans cette région. Ces résultats ont été prouvés par [9] qui ont mené les mêmes études dans la

région d'Aboisso. Cette productivité dans les schistes est favorisée par une schistosité verticale qui leur confère un bon réservoir d'eau [10]. Ce réservoir devient important selon le plan de schistosité et des espaces inter feuilletés. Parfois, les intrusions de filon de quartz peuvent améliorer la productivité aussi bien dans les schistes que dans les granites. Aussi, est-il important de signifier que la forte proportion de débits élevés ($Q \geq 5 \text{ m}^3/\text{h}$) soit environ 31,62 % explique la présence de structures aquifères bien développées, probablement liées à des discontinuités géologiques (zones fracturées) [12]. De même, la distribution asymétrique de des débits Q (non-normalité) reflète l'hétérogénéité spatiale des aquifères, typique des formations fissurées et altérées de la région. Cependant, la présence de débits très faibles (13,97 %) met en évidence des zones à faible productivité. Ces zones sont à surveiller dans les plans d'approvisionnement en eau [13], [14]. Les résultats statistiques obtenus ont été validés par les tests de normalité de Shapiro-Wilk et du χ^2 . En effet, celui de Shapiro-Wilk nous a permis de tester la normalité de la variable Q qui est le débit et le χ^2 la distribution de cette même variable pour comparer la distribution observée des classes de débits à une distribution théorique définie.

6 CONCLUSION

L'objectif de cette étude était d'analyser statistiquement les débits (Q) des forages d'eau de la région du N'zi-Comoé afin d'évaluer leur variabilité, leur distribution et leur pertinence dans la caractérisation du potentiel aquifère de la zone.

D'abord, nous avons analysé à partir de la statistique descriptive le débit. Il ressort que la moyenne du débit qui est de $5,71 \text{ m}^3/\text{h}$ dans la région du N'zi-Comoé a été tiré vers le haut par 5 % des forages qui ont un débit supérieur ou égale à $20 \text{ m}^3/\text{h}$. Ces débits varient de 0,3 à $43 \text{ m}^3/\text{h}$. La distribution observée des classes correspond exactement à la distribution théorique fournie, ce qui valide le classement initial et suggère une représentation fidèle des conditions hydrogéologiques locales. L'hétérogénéité des débits a été mise en œuvre par le coefficient de variabilité qui est de 131 % et le test de Shapiro-Wilk.

REMERCIEMENTS

Les auteurs voudraient traduire leurs remerciements aux autorités compétentes du projet UEMOA qui ont bien voulu acceptés de mettre à notre disposition les données de forages afin d'effectuer cette étude.

REFERENCES

- [1] OMS-UNICEF (2017). « Progrès en matière d'eau, d'assainissement et d'hygiène, mise à jour 2017 et évaluation des ODD ». Rapport commun OMS/UNICEF.
- [2] A.K.S. KOUADIO (2021). Contribution à l'étude de la productivité des forages d'eau par la méthode de résistivité électrique en milieu de socle fissure: Cas de la zone du N'Zi-Comoe. Thèse de doctorat en géophysique appliquée, Université Nangui Abrogoua (Abidjan, Côte d'Ivoire), 243 p.
- [3] A.K.S. KOUADIO (2014). Etude comparative de la productivité des forages d'eau en milieu de socle cristallins et cristallophylliens dans les régions du N'Zi, de l'Iffou et du Moronou. DEA Univ. Nangui-Abrogoua, Abidjan, 81 p.
- [4] A.K.S. KOUADIO, M. OUEDRAOGO, I. OUATTARA, I. Savane (2020). Use of a Multiple Regression Model in the Estimation of Water Borehole Flows in the Middle of Cracked Basement in Côte d'Ivoire. 18 p.
- [5] D. Yao, C. Delor, G. Gadou, P. Kohou, A. Okou, S. Konate et I. Diaby (1995). Notice explicative de la carte géologique feuille de Dimbokro, 21 p.
- [6] J. C. MAILLARY (1964). Notice explicative des cartes hydrogéologiques d'Abengourou et M'bahiakro 102 p.
- [7] M. DETAY, P. POYET, Y. EMSELLEM, A. BERNARDI, G. AUBRAC, (1989). Influence du développement du réservoir capacitif d'altérites et de son état de saturation sur les caractéristiques hydrodynamiques des forages. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Paris, 309, série II, pp. 429-436.
- [8] B. Dibi, I. Doumouya, B. Goula, I. Savane, J. Biemi (2004). Analyse statistique des paramètres influençant la productivité des forages d'eau en milieu cristallin et cristallophyllien dans la région d'Aboisso (Sud-Est de la Côte d'Ivoire). Sud Sciences & Technologies, n° 13, pp. 22- 30.
- [9] C.I.E.H. (1978). Méthode d'étude et de recherches de l'eau souterraine des roches cristallines de l'Afrique de l'ouest, Géohydraulique, 319 P.
- [10] J. Biemi (1992). Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants sub-sahéliens du socle précambrien de l'Afrique de l'Ouest: Hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus de sillons et aires granitiques de la haute Marahoué (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat d'état ès Sciences Naturelles, Univ. Abidjan, 493 p.

- [11] B. Dewandel, P. Lachassagne, R. Wyns, J.C. Maréchal & N.S. Krishnamurthy (2006). A conceptual hydrogeological model of hard rock aquifers. *Hydrogeology Journal*, 14 (5), 663–675.
- [12] T. Lasm, F. Kouame, M. Oga, J. Jourda, N. Soro et H. Kouadio (2004). Etude de la productivité des réservoirs fracturé des zones de socle Cas du noyau archéen de Man-Danané (Ouest de la Côte de la d'Ivoire). *Rev.Ivoir.Sci. Technol.*, n°5, pp.97-115.
- [13] P. Lachassagne, R. and B. Dewandel (2011). The fracture permeability of Hard Rock Aquifer is due neither to tectonics, nor to unloading, but to weathering processes. *Terra Nova*, 23: 145-161.

Déterminants de l'Hygiène de Transport en Commun dans la Ville d'Isiro, Province de Haut-Uélé, RD Congo

[Determinants of Public Transport Hygiene in the Town of Isiro, Haut-Uélé Province, DR Congo]

Bulupiy Wowo Innocent¹ and Amuda Baba Dieu-Merc²

¹Chef de Travaux, Institut Supérieur des techniques Médicales d'Isiro (ISTM-Isiro), RD Congo

²Professeur Associé, Institut Supérieur des Techniques Médicales de Bunia (ISTM-Bunia), RD Congo

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study was conducted in order to describe the determinants of public transport hygiene in Isiro town, in Haut-Uélé Province, DR Congo during the period from 8 February to 8 June 2023. The cross-sectional method supported by the survey questionnaire and direct observation of devices for maintaining hygiene in agencies and buses enabled us to collect the data. After analysis, the following results were recorded:

- All the material devices relating to public transport hygiene are totally absent.
- The majority of respondents reported vomiting on the bus (100%), not wearing a mask (57%), lack of knowledge about hygiene on public transport (62%), eating on public transport (100%) and smokers on the bus (83%).
- The main consequences of hygiene problems are the presence of insects on the bus (83%), the presence of odours on the bus (70%) and poor hygiene on public transport (67%).

In view of these results, it can be concluded that hygiene in public transport is still a major concern in the town of Isiro. As a result, training for agency managers and drivers and awareness-raising among passengers should be considered in order to avoid potential public health risks.

KEYWORDS: determinants, hygiene, public transport, Isiro.

RESUME: Cette étude a été réalisée dans le but de décrire les déterminants de l'hygiène de transport en commun dans la ville d'Isiro, en Province de Haut-Uélé durant la période allant du 08 février au 08 Juin 2023. La méthode transversale appuyée par le questionnaire d'enquête et l'observation directe des dispositifs pour maintien de l'hygiène dans les agences et les bus nous a permis de récolter les données. Après analyse, les résultats ci-après ont été enregistrés:

- Tous les dispositifs matériels en rapport avec l'hygiène de transport public sont quasiment absents.
- La majorité des enquêtés attestent les pratiques de vomissement dans le bus (100%), le non port de masque (57%), le manque de connaissance sur l'hygiène dans le transport en commun (62%), le fait de manger dans le transport en commun (100%) et la présence des fumeurs dans le bus (83%).
- Les principales conséquences aux problèmes d'hygiène sont principalement la présence des insectes dans le bus (83%), la présence d'odeur dans le bus (70%) et la mauvaise hygiène dans le transport en commun (67%).

Au vu de ces résultats, il y a lieu de conclure que l'hygiène dans le transport en commun constitue encore une préoccupation majeure dans la Ville d'Isiro. De ce fait, une formation des chefs des agences, des chauffeurs et la sensibilisation des passagers doivent être envisagées pour éviter les risques potentiels en termes de santé publique.

MOTS-CLEFS: déterminants, hygiène, transport commun, Isiro.

1 INTRODUCTION

Le transport en commun ou transport public est un mode de transport consistant à transporter plusieurs personnes, ensemble sur le même trajet. Il est généralement accessible en contrepartie d'une attitude de transport en commun un billet ou ticket ou une carte. Pour se protéger de toute contagion, mieux vaut adopter des gestes d'hygiène efficace, comme se laver les mains régulièrement, éviter les contacts, tousser dans son coude et utiliser un mouchoir à usage unique. (Rescapé, 2022).

Leurs moyens de transport montrent à l'intérieur comme à l'extérieur une épaisse couche de saleté cumulée pendant des jours. Du matin jusqu'aux heures tardives, des taxis, cars, bus et motos ne transportent pas que des mêmes passagers. Certains clients porteurs de pathologies avec leurs affaires de toute nature peuvent laisser en descendant des microbes. Alors si la propreté de ces véhicules n'est pas faite de façon régulière, ils seront de milieux de contamination microbienne et peuvent être un vrai nid des microbes et des virus.

Dans ce cas des transports publics, des lieux tels que les guichets, les lieux d'attentes, les installations sanitaires ou encore des éléments comme les rampes, les poignées, les sièges et fenêtres, etc. présentent tous les risques, car ils sont souvent touchés par les usagers. De plus une fois dans le transport et à l'intérieur de ces lieux clos, les passagers et le personnel respirent tous le même air. Ces personnes peuvent inhaler les aérosols émis, par les autres, occupant susceptible de contenir le virus ou les bactéries (Rescapé, 2022).

Cependant, les syndicats des transporteurs en commun se soucient seulement des taxes et d'autres amendes que paient les propriétaires des moyens de transport. Ils devraient aussi pousser ces mêmes propriétaires à penser à l'hygiène de leurs véhicules. Les clients ne prennent pas ces moyens de transport pour sortir infectés, mais pour être transportés seulement jusqu'à bon port. Si aucune disposition n'est prise du côté des gestionnaires de nos cités urbaines à l'allure où vont les choses, les transporteurs en commun négligeront à long terme la propriété de leurs véhicules. Ainsi donc, ces moyens de transport en commun deviendront des « berceaux des microbes ». Et pourtant la propriété classe la maladie et attire les clients. Car, la priorité absolue est de prévenir les risques liés à l'hygiène et aux infections dans les structures telles que les aéroports ou les gares routières et ferroviaires. (Initial, 2022)

Au Burkina-Faso, le résultat de l'étude publié par Traoré (2019) révèle que le transport en commun (bus) expose 10% de burkinabais qui voyage pour des raisons commerciales, sociales et de service.

En Afrique du sud, les résultats d'une étude menée indiquent que 56% de cas de Covid enregistrés étaient contractés au bord de train, d'avion et de bus (OMS, 2020).

En RDC, le résultat d'une étude menée par Massonsa-wa-Massonsa (2021) dans la ville de Kinshasa, a révélé que la population kinoise ne respecte pas les mesures barrières, le transport en commun fait autant de problème pour question de l'hygiène. Ainsi plusieurs cas de maladies de mains sales, maladies virales, bactériennes et d'autres sont contractées par les passagers d'une façon d'une autre.

La ville d'Isiro reçoit les bus provenant de la province de l'Ituri et de Kisangani. Ces mini et grands appartiennent à de différentes agences. Des passagers qui peuvent être des porteurs sains, soit malades, prennent place au bord pour le déplacement. En outre, les structures sanitaires ne cessent d'enregistrer les cas des maladies contagieuses, des mains sales et tant d'autres.

Cette étude vise à décrire les déterminants de l'hygiène de transport en commun en Ville d'Isiro, en Province de Haut-Uélé.

2 MATERIEL ET METHODES

Nous avons mené une étude transversale durant le période allant du 08 février au 08 Juin 2023. Cette étude nous a permis d'observer les dispositifs de l'application de mesures d'hygiène dans des bus de transport en commun et le comportement des passagers. Nous avons rencontré les différents chefs d'agences des bus notamment, DISSA, TRANSCO, Shama et GAD pour l'entretien en vue de faciliter notre recherche.

La population de notre étude était constituée de toute personne âgée de 18 à 70 ans qui voyagent dans les bus des agences implantées dans la ville d'Isiro. Nous avons retenu l'échantillon de 300 passagers et leur choix était occasionnel. Un questionnaire d'enquête a été utilisé pour collecte des données. L'analyse de contenu appuyée par le calcul de pourcentage a servi pour analyser les données.

3 RESULTATS

Tableau 1. Déterminants de l'hygiène liés aux matériels

Variables	Modalités	Effectif	%
Désinfection de bus et des poignées véhicule	Oui	0	0
	Non	300	100
	Total	300	100
Présence des poubelles dans le bus	Oui	0	0
	Non	300	100
	Total	300	100
Solutions désinfectant à l'agence	Oui	0	0
	Non	300	100
	Total	300	100
Présence de dispositif des lavages des mains	Oui	0	0
	Non	300	100
	Total	300	100

Il ressort de ce tableau que tous les dispositifs matériels en rapport avec l'hygiène de transport public sont quasiment absents

Tableau 2. Déterminants de l'hygiène liés à l'homme

Variables	Modalités	Effectif	%
Vomissements dans le bus	Oui	300	100
	Non	0	0
	Total	300	100
Port de masque dans le bus	Oui	121	43
	Non	171	57
	Total	300	100
Connaissances sur l'hygiène dans le transport en commun	Oui	114	38
	Non	186	62
	Total	300	100
Manger dans le Bus	Oui	300	100
	Non	0	0
	Total	300	100
Présence des fumeurs dans le bus	Oui	51	17
	Non	249	83
	Total	300	100

La majorité des enquêtés attestent les pratiques de vomissement dans le bus (100%), le non port de masque (57%), le manque de connaissance sur l'hygiène dans le transport en commun (62%), le fait de manger dans le transport en commun (100%) et la présence des fumeurs dans le bus (83%).

Tableau 3. Conséquences des problèmes d'hygiène

Variables	Modalités	Effectif	%
Présence des insectes dans le bus	Oui	51	83
	Non	249	17
	Total	300	100
Présence d'odeurs dans le bus	Oui	210	70
	Non	90	30
	Total	300	100
Etat de l'hygiène dans le transport en commun	Bon	99	33
	Mauvais	201	67
	Total	300	100

Les principales conséquences aux problèmes d'hygiène sont principalement la présence des insectes dans le bus (83%), la présence d'odeur dans le bus (70%) et la mauvaise hygiène dans le bus.

4 DISCUSSION

Concernant les déterminants de l'hygiène liés aux matériels dans les bus de transport en commun, le résultat de notre étude révèle que 100% des passagers dénoncent le manque de tous les dispositifs matériels en rapport avec l'hygiène de transport public à l'agence voir même dans le bus notamment aucune poubelle dans le bus, manque de désinfectant à l'agence aussi dans le bus et aucun dispositif de lavage de main à l'agence (Tableau I). Ce résultat est contraire aux recommandations faites par Rescapé (2022) qui souligne que les transports collectifs sont à nouveau bien plus fréquentés, des nombreuses personnes se retrouvent ensemble dans des espaces confinés.

En conséquence, la priorité absolue est de prévenir les risques liés à l'hygiène et aux infections dans les structures telles que les aéroports ou les gares routières et ferroviaires. L'étude menée par SOS Arona (2019) en France sur l'hygiène de transport en commun révèle que seul 1/3 des enquêtés ont déclaré le lavage systématique des mains après avoir pris le transport en commun. UNICEF et OMS (2019), pendant la pandémie de COVID-19 avaient instauré comme un programme de prévention à New York le lavage des mains obligatoire et la désinfection à l'alcool pour prévenir les maladies des mains sales, aussi le Corona virus dans le transport en commun. Virginie Racapé (2022) souligne que cette pratique est essentielle pour limiter la contamination croisée et protéger les voyageurs. Des opérations de désinfection peuvent être effectuées quotidiennement à la fin de service dans les bus et les wagons pour traiter fréquemment les surfaces en contact avec les voyageurs.

Il est également important de s'assurer que les passagers et le personnel disposent d'assez de désinfectant pour les mains. Selon Virginie Racapé (2020), la protection des passagers et du personnel avait identifié que dans le cas des transports publics, des lieux tels que les guichets, les files d'attente, les installations sanitaires, ou encore des éléments comme les rampes, les poignées, les sièges et fenêtres, etc. représentent tous des risques, car ils sont souvent touchés par les usagers.

Au regard de déterminants de l'hygiène liés à l'homme dans le transport en commun, le résultat de cette étude montre que la majorité des enquêtés attestent les pratiques de vomissement dans le bus (100%), le non port de masque (57%), le manque de connaissance sur l'hygiène dans le transport en commun (62%), le fait de manger dans le transport en commun (100%) et la présence des fumeurs dans le bus (83%). Ce résultat est similaire à celui de Akono (2021) dans son étude sur l'hygiène de transport en commun, qui révèle que 45% des passagers vomissaient dans le bus et cela présente trois défis importants et étroitement liés (sanitaire, esthétique et économique) qu'on peut relever en suivant quelques gestes de bon sens et de civilité. Le résultat trouvé par SOS Arona (2019) montre que les bus de transport n'étaient pas bons dans le cadre d'hygiène, car même pendant le voyage, les passagers mangent et laissent les autres dans l'avidité. Entre les passagers, il y a eu le faible taux de renouvellement de l'air. C'est ainsi que OMS et UNICEF (2019) exigent le port de masque à tous les voyageurs dans le transport en commun, car le simple virus de grippe peut rester jusqu'à 5 heures sur les barres de maintien et le rota virus dure jusqu'à 60 jrs.

Rescapé (2020) souligne de plus, qu'une fois dans les transports et à l'intérieur de ces lieux clos, les passagers et membres du personnel respirent tous le même air. Ces personnes peuvent donc inhaler les aérosols émis par les autres occupants susceptibles de contenir des particules virales (particules fines ou gouttelettes en suspension, projetées dans l'air par les voies respiratoires. SOS Arona (2019) stipule que le transport en commun a la réputation d'être de nids de microbes à cause de manque d'hygiène appropriée dans le bus. Certaines personnes refusent même de prendre le métro ou de tenir les barres de maintien de peur d'attraper des maladies. Resclin (2014) dans son étude sur l'hygiène de véhicule de transport en commun en France, argumente que le transport en commun doit avoir un minimum de respect de mesures d'hygiène, l'intérieur de bus doit être lavé et désinfecté en vue d'éviter la contamination.

A propos des conséquences de l'hygiène dans le transport en commun, le résultat de cette étude démontre qu'il y a présence d'insectes dans les bus (83%), la présence d'odeur dans le bus (70%) et la mauvaise hygiène dans le transport en commun (67%). Anonyme (2017) ont également identifié dans leur étude la présence de restes alimentaires variés, causés ou délaissés par des voyageurs peu soucieux de l'intérêt général. De nombreuses espèces de microorganismes (bactéries, champignons...) et insectes y trouvent ainsi des supports nutritifs pour pousser, se multiplier et se propager en laissant des empreintes biologiques importantes (moisissures, taches, spores, etc.). En conséquence, le matériel et l'environnement intérieur des moyens de transport peuvent être chargés de polluants biologiques, en plus de polluants chimiques, où l'exposition aux spores de certaines moisissures (par ex., *Cladosporium* et *d'aspergillus*) semble être associée à une augmentation de la rhino conjonctivite (inflammation du nez et de l'œil) chez des sujets exposés. OMS (2019) interdit à toute personne de manger, de boire et de fumer dans le bus à cause de promiscuité et des odeurs qui peut occasionner de nuisances à certains passagers. Bitendo (2016) dans son étude sur l'hygiène de transport en commun au Sud-Kivu, a identifié que les enquêtés de transport en commun se plaignent de la quasi inexistence d'un programme de vulgarisation de moyens de lutte contre l'insalubrité dans leur environnement professionnel.

5 LIMITE DE L'ÉTUDE

Cette étude présente un certain nombre de limites, dont la principale est celle relative à l'échantillonnage utilisé. Étant donné le caractère non probabiliste de l'échantillonnage occasionnel, il sera difficile de procéder à l'extrapolation de résultats de la présente étude.

6 CONCLUSION

L'hygiène de transport en commun constitue un problème de Santé Publique dans la ville d'Isiro. Aucune agence de transport en commun (bus) ne dispose d'un système de désinfection pour les bus et pour les passagers. Les passagers courent les risques et sont exposés à différentes maladies. Ceci demande l'implication de chercheurs, Ministère de l'environnement, de la Santé Publique ainsi d'autres expertises pour la formation des chefs des agences, des chauffeurs et les passagers de transport en commun sur l'hygiène de transport en commun permettant prévenir les infections par contact direct et de la pollution des engins de transport en commun.

REFERENCES

- [1] Akono F. (2020) *Organisation de l'Afrique pour enrayer la propagation du Coronavirus*. 16 RC/BRAZAVILLE LE COURRIER DE KINSHASA. <http://docplayer.fr/182900588-L>.
- [2] Anonyme (2017) Réflexions sur le fait de manger/boire dans les transports en commun.
- [3] Bitendo B. 2016: *Hygiène de transport en commun à BUKAVU*, RDC/2016 <https://www.africmemoire.com/part.1-epigraphe-remerciement-et-dedicace-98.html>.
- [4] INITIAL (2022): Hygiène de l'air • Hygiène des mains • Hygiène professionnelle / Hygiène des transports publics: Comment protéger les passagers et le personnel ? <https://www.initial.com/fr/blog/hygiene-des-transports-publics-comment-protoger-les-passagers-et-le-personnel/>.
- [5] Massonsa Wa Massonsa (2021) *Problématique Des Transports Urbains à Kinshasa*,. <https://www.scribd.com/document/689600147/Devoir-genie-civil>.
- [6] OMS (2019) Mesures barrière contre la pandémie à Coronavirus. Genève: OMS.
- [7] OMS (2020) La lutte contre la pandémie à Coronavirus. Genève: OMS.
- [8] Recapé F. (2022) *Hygiène des transports publics: Comment protéger les passagers et le personnel ?* <https://www.initial.com/fr/blog/hygiene-des-transports-publics-comment-protoger-les-passagers-et-le-personnel/>.
- [9] Resclin (2004) Entretien quotidien du poste de conduite.
- [10] SOS Arona (2019) *Hygiène de transport en commun*. <https://internet-start.net/?q=SOS+AROMA%3A+Transport+en+commun#gsc.tab=0&gsc.q=SOS%20AROMA%3A%20Transport%20en%20commun&gsc.page=1>.
- [11] TRAORÉ K.A. (2019) *Hygiène de transport en commun*. Paris: Université Paris-Sud. <https://internetstart.net/?q=bercin%2C2018+hygiene+de+transport+en+commun#gsc.tab=0&gsc.q=bercin%2C2018%20hygiene%20de%20transport%20en%20commun>.
- [12] UNICEF & OMS (2019) *Hygiène de transport en commun*. Genève: OMS.

Statistiques non gaussiennes des vitesses de surface à partir des données de drifters dans le Golfe de Guinée

[Non-Gaussian statistics of surface velocities from drifter data in the Gulf of Guinea]

Hilaire Amemou¹, Hermann Yapo², Michel Tchiekre³, and Mamadou Koné¹

¹UFR Sciences de La Mer, Université de San Pédro, San Pédro, Côte d'Ivoire

²Classes Préparatoire aux Grandes Ecoles d'Ingénieurs, Université de San Pédro, San Pédro, Côte d'Ivoire

³UFR Sciences biologiques, Département mathématiques physique chimie, Université Peleforo Gon Coulibaly, Korhogo, Côte d'Ivoire

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: We present a thorough Lagrangian analysis of the statistics of surface velocities in the Gulf of Guinea, based on more than twenty years of drifter data. After subtracting the mean Eulerian velocity field and normalizing by the local standard deviation, we compute the probability density functions (PDFs) of the zonal and meridional components of the relative velocities. The distributions obtained display systematic deviations from normality, with heavy tails and moderate asymmetry, suggesting the influence of intermittent energetic events, probably related to mesoscale eddy activity. The analysis of Lagrangian autocovariance functions highlights anisotropy in the integration times, with longer persistence in the zonal direction, in line with the dynamics of equatorial currents. Finally, segmenting trajectories into 10-day segments confirms the robustness of these statistical signatures at the meso scale, supporting the hypothesis of a dynamics dominated by non-Gaussian coherent structures.

KEYWORDS: Drifters, velocity, probability density function, mesoscale eddies, Lagrangian statistics.

RESUME: Nous présentons une analyse lagrangienne approfondie des statistiques des vitesses de surface dans le Golfe de Guinée, basée sur plus de vingt années de données issues de des drifters. Après soustraction du champ de vitesse eulérien moyen et normalisation par l'écart-type local, nous calculons les fonctions de densité de probabilité (PDF) des composantes zonale et méridienne des vitesses relatives. Les distributions ainsi obtenues présentent de manière systématique des déviations marquées par rapport à la normalité, avec des queues épaisses et une asymétrie modérée, suggérant l'influence d'événements énergétiques intermittents, probablement liés à l'activité tourbillonnaire de mésoéchelle. L'analyse des fonctions d'autocovariance lagrangienne met en évidence une anisotropie des temps d'intégration, avec une persistance plus longue dans la direction zonale, en cohérence avec la dynamique des courants équatoriaux. Enfin, le découpage des trajectoires en segments de 10 jours confirme la robustesse de ces signatures statistiques à l'échelle mésoéchelle, consolidant l'hypothèse d'une dynamique dominée par des structures cohérentes non gaussiennes.

MOTS-CLES: Drifter, vitesse, fonction de distribution de probabilité, tourbillons de mésoéchelle, statistiques lagrangiennes.

1 INTRODUCTION

Le transport et la dispersion de particules passives à la surface de l'océan jouent un rôle central en océanographie physique, avec des implications majeures pour la compréhension des circulations à mésoéchelle, la prévision de la dérive de polluants, les opérations de recherche et de sauvetage, ainsi que la gestion des ressources marines côtières [1]. Pour appréhender ces processus dynamiques, les bouées dérivantes (drifters) constituent un outil d'observation privilégié, offrant un accès direct aux trajectoires lagrangiennes à haute résolution spatiale et temporelle.

L'exploitation des données issues de drifters permet d'étudier les propriétés statistiques des mouvements de surface, selon des approches à une particule (statistiques de type single-particle) ou à deux particules (two-particle statistics), selon que l'on s'intéresse à la dispersion absolue ou relative [1], [2]. Ces analyses fournissent des estimations de grandeurs clés telles que les échelles de temps lagrangiennes, la diffusivité turbulente, l'énergie cinétique turbulente ou encore les fonctions d'autocorrélation des vitesses [1], [2], [3].

Parmi les outils statistiques centraux, les fonctions de densité de probabilité (PDF) des composantes zonale et méridienne de la vitesse offrent un moyen synthétique de caractériser les régimes de transport. Lorsque les PDF sont proches de lois normales, cela peut refléter un régime de turbulence homogène et isotrope [4], [5]. Toutefois, de nombreuses études ont révélé des distributions non gaussiennes, souvent marquées par des queues épaisses et une légère asymétrie. Ces signatures sont généralement interprétées comme les marques d'une intermittence dynamique, où les contributions d'événements intenses tels que les tourbillons mésoéchelle ou les jets dominent les statistiques globales [2], [3], [4].

Dans le cadre de la turbulence bidimensionnelle (2D), il a été montré que le mouvement de particules autour de structures cohérentes tourbillonnaires pouvait produire des distributions asymptotiques fortement non gaussiennes. En particulier, des modèles idéalisés à base de tourbillons ponctuels ont permis de démontrer comment la superposition de vitesses induites par plusieurs vortex pouvait générer des PDF à queues épaisses [4]. Ces résultats sont étayés par des simulations numériques à haute résolution ainsi que par l'analyse de longues séries temporelles issues de données historiques [5].

Le Golfe de Guinée constitue une région équatoriale dynamique, dominée par des courants zonaux alternants, une forte variabilité saisonnière, et une activité mésoéchelle non négligeable [6], [7], [8], [9], [10]. Pourtant, cette région reste relativement peu étudiée du point de vue des statistiques lagrangiennes de surface. Quelques travaux isolés ont suggéré que les PDF des vitesses y seraient globalement gaussiennes [11], mais ces études n'ont pas systématiquement tenu compte des effets d'inhomogénéité spatiale ni appliqué de méthode rigoureuse de normalisation du champ de vitesse.

Dans ce contexte, la présente étude vise à combler ce manque en proposant une analyse lagrangienne approfondie des statistiques de vitesse de surface dans le Golfe de Guinée, basée sur plus de deux décennies de données de drifters. Nous estimons les champs moyens de vitesse, l'énergie cinétique, et les fonctions de densité de probabilité (PDF) des vitesses corrigées, après soustraction du champ moyen eulérien et normalisation par bin géographique. L'objectif est de caractériser la forme des distributions et d'en évaluer la robustesse à l'échelle mésoéchelle, à travers un découpage des trajectoires en segments temporels.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 RÉGION D'ÉTUDE

La présente étude se concentre sur le Golfe de Guinée (GG), situé entre les longitudes 12°W et 11,75°E, et les latitudes 4°S et 8°N. Cette région, située à l'est de l'Atlantique tropical, est caractérisée par une dynamique océanique dominée par des courants de surface principalement zonaux. Ceux-ci alternent entre des courants dirigés vers l'ouest tel que le Courant Équatorial Sud (SEC), sous l'influence des alizés du sud-est, et des courants orientés vers l'est, tels que le Courant de Guinée (CG), bien décrits dans les travaux de [12], [13], [14]. Outre cette circulation de surface, plusieurs études ont également mis en évidence l'existence de sous-courants équatoriaux en profondeur, contribuant à la complexité du système de courants équatoriaux du GG [12], [15]. Par ailleurs, un upwelling saisonnier bien marqué s'observe durant l'été boréal dans la partie nord du Golfe de Guinée, notamment le long des côtes ivoiriennes et ghanéennes. Ce phénomène d'upwelling côtier, qui résulte d'une remontée des eaux profondes plus froides et riches en nutriments, joue un rôle écologique crucial en favorisant notamment le recrutement de *Sardinella aurita*, l'un des poissons pélagiques les plus dominants de la région [16], [17], [18]. La dynamique du Golfe de Guinée est également influencée par des structures mésoéchelles telles que les tourbillons, qui peuvent interagir avec l'upwelling côtier et moduler fortement la distribution de température, de nutriments, et la dispersion des particules de surface. [6] ont mis en évidence la présence de tels tourbillons en aval des caps marquant la transition entre la Côte d'Ivoire et le Ghana. Plus récemment, [10] ont confirmé la persistance de ces structures mésoéchelles à proximité de l'upwelling ivoiro-ghanéen, soulignant leur rôle potentiel dans la variabilité interannuelle du transport de matière et d'énergie dans cette zone équatoriale. Cette configuration régionale fait du Golfe de Guinée un cadre idéal pour étudier la variabilité des vitesses de surface à partir d'observations lagrangiennes, ainsi que les signatures statistiques associées à la dynamique turbulente de mésoéchelle.

2.2 BASE DE DONNÉES DES DRIFTERS

Les données utilisées dans cette étude proviennent du Global Drifter Program (GDP), coordonné par la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), qui fournit un ensemble de trajectoires de bouées dérivantes (drifters) de surface sur l'ensemble du globe (Dataset: <https://doi.org/10.25921/7ntx-z961>; [19]). Les drifters du programme sont constitués d'une bouée de surface équipée de capteurs et reliée à une ancre flottante (ou *drogue*) positionnée à 15 mètres de profondeur, permettant un suivi fidèle de la circulation océanique de surface [20]. Ces instruments mesurent plusieurs paramètres océanographiques, notamment la température de surface de la mer (SST), la direction et l'intensité des courants, la pression atmosphérique et parfois le vent en surface. Les données sont transmises en temps quasi réel aux satellites via le système ARGOS, utilisé historiquement, ou le système Iridium, déployé depuis

2015 et aujourd'hui largement majoritaire. Ce dernier, couplé au GPS, permet un échantillonnage plus fréquent et une précision accrue dans les positions enregistrées [21]. Les enregistrements de position sont typiquement effectués toutes les six heures [22], bien que les versions récentes permettent un pas de temps horaire [21]. Pour cette étude, nous avons adopté une approche homogène en fusionnant les deux types de données. Les trajectoires ont été ramenées à une résolution temporelle commune de six heures. Cette étape d'interpolation a permis d'assurer l'homogénéité statistique de l'échantillon tout en conservant un maximum d'informations dynamiques. L'ensemble du jeu de données couvre une période suffisamment longue pour permettre une analyse statistique robuste des vitesses de surface et de leurs propriétés dispersives dans le Golfe de Guinée.

2.3 ANALYSE STATISTIQUES

2.3.1 DISTRIBUTION SPATIALE DES OBSERVATIONS (DRIFTERS)

Afin de caractériser la couverture spatiale de notre jeu de données, nous avons généré des cartes de densité représentant le nombre total d'occurrences des drifters dans chaque cellule d'une grille régulière de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, couvrant le Golfe de Guinée sur la période 1999–2020. Cette approche permet d'évaluer les zones les mieux échantillonnées, ainsi que les biais éventuels liés à la distribution inhomogène des trajectoires. Les cartes de densité fournissent également un cadre spatial pour la moyenne conditionnelle des vitesses et des autres statistiques lagrangiennes.

2.3.2 CHAMP D'ÉNERGIE CINÉTIQUE

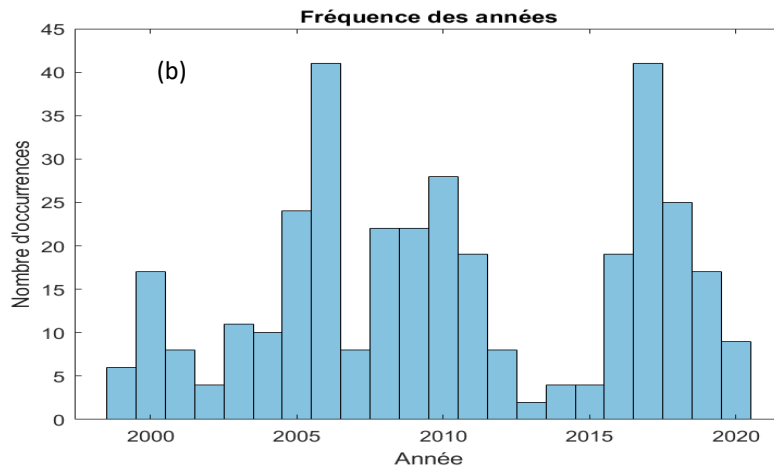
L'énergie cinétique par unité de masse, notée E_{ij} , a été estimée dans chaque cellule de grille selon l'expression:

$$E_{ij} = 1/2 (u_{ij}^2 + v_{ij}^2) \quad (1)$$

où u_{ij} et v_{ij} sont respectivement les composantes zonale et méridienne de la vitesse moyenne dans la cellule de grille (i, j) . Ce champ permet d'identifier les zones dynamiquement actives, notamment en lien avec les courants zonaux, les tourbillons de mésoéchelle ou les régions d'upwelling.

2.3.3 FONCTION DE DENSITE DE PROBABILITE (PDFS)

La distribution statistique des vitesses de surface a été étudiée à travers les fonctions de densité de probabilité (PDFs) des composantes zonale u et méridienne v . Pour une distribution normale centrée réduite, les PDFs théoriques sont données par:



$$P(u) = (1 / \sqrt{2\pi} \sigma_u) \exp(-u^2 / (2\sigma_u^2)) \quad (2)$$

$$P(v) = (1 / \sqrt{2\pi} \sigma_v) \exp(-v^2 / (2\sigma_v^2)) \quad (3)$$

Où σ_u et σ_v représentent les écarts types des composantes de vitesse respectivement zonale et méridienne. Ces PDFs théoriques sont comparées aux distributions empiriques issues des observations afin d'évaluer leur degré de gaussienneté. Une attention particulière est portée à la correction du champ de vitesse par soustraction du champ moyen, conformément à la méthode proposée par [4], pour distinguer l'effet des grandes structures cohérentes de la turbulence.

3 RESULTATS

3.1 CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES TRAJECTOIRES

Les positions initiales de l'ensemble des drifters utilisés dans cette étude ainsi que la répartition temporelle des lâchers par année sont présentées à la Fig. 1. La carte des positions initiales (Fig. 1a) met en évidence une couverture spatiale inégale, concentrée entre 4°S et 0°S dans le Golfe de Guinée. Par ailleurs, les fréquences annuelles des lâchers (Fig. 1b) révèlent une forte variabilité interannuelle, suggérant une disponibilité inégale des données selon les années et potentiellement selon les saisons.

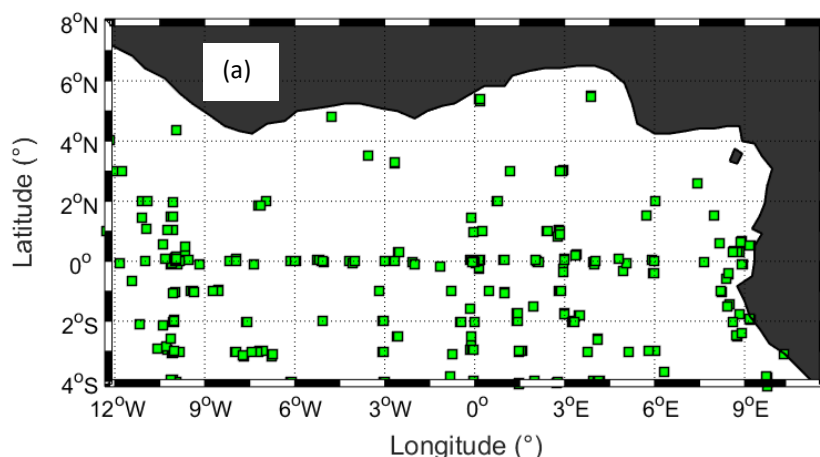


Fig. 1. (a) Positions initiales de tous les drifters utilisés pour l'étude. (b) Fréquences des années de lâchées

3.2 DISTRIBUTION SPATIALE ET CHAMP DE VITESSE EULERIEN

La Fig. 2 présente, d'une part, la densité spatiale des drifters calculée sur une grille régulière de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ (Fig. 2a), et d'autre part, le champ de vitesse eulérien moyen dérivé des vitesses moyennes dans chaque cellule de la grille (Fig. 2b). Pour la carte de densité (Fig. 2a), seules les grilles contenant au moins 30 positions de drifters ont été conservées. Les données sont principalement concentrées entre 1°N et 4°N dans le Golfe de Guinée, avec des densités maximales observées sur les parties est et ouest du bassin. Certaines zones, notamment au nord et au sud-est du domaine, présentent une densité faible. Le champ de vitesse eulérien moyen (Fig. 2b) met en évidence des courants zonaux bien définis, caractérisés par une dominance des composantes vers l'ouest au sud de l'équateur, et vers l'est au nord du Golfe de Guinée.

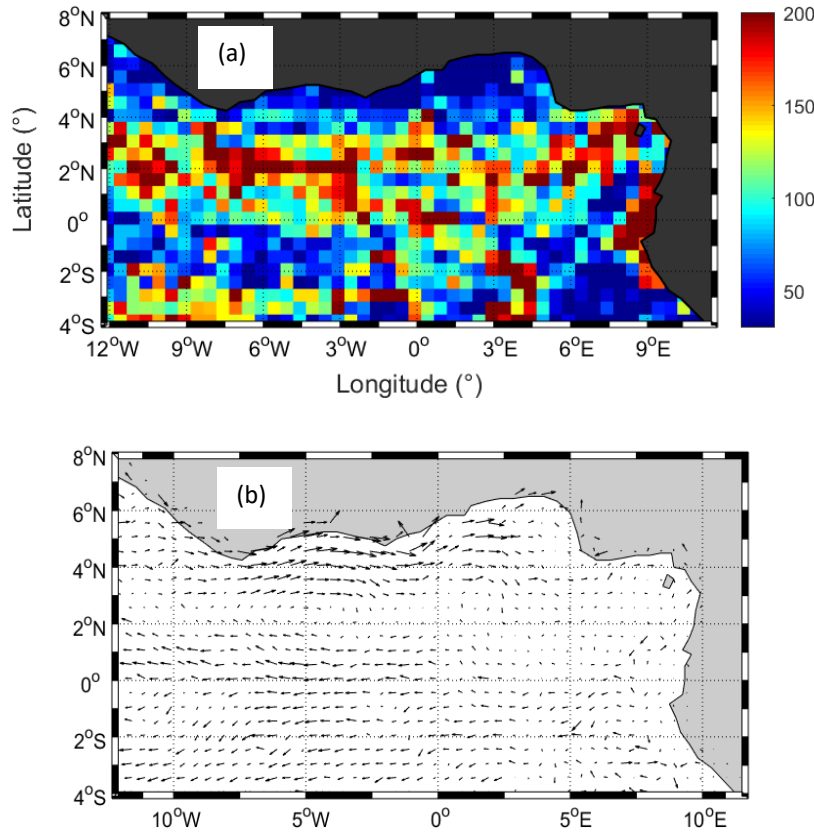


Fig. 2. (a) Densité moyen des drifters calculé dans une grille de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. Les cellules contenant moins de 30 positions sont laissées vides. (b) Champ de vitesse eulérien moyen calculé à partir de la moyenne des positions dans chaque cellule

3.3 ENERGIE CINETIQUE ET VARIANCE DU CHAMP DE VITESSES

La distribution spatiale de deux diagnostics dérivés du champ de vitesse eulérien est présentée: l'énergie cinétique normalisée (Fig. 3a) et la variance normalisée des vitesses (Fig. 3b), calculées sur une grille régulière de $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. L'énergie cinétique normalisée met en évidence des zones localisées d'intensité dynamique élevée, notamment dans la partie nord du Golfe de Guinée ainsi que dans la région sud-ouest du bassin. Quant à la variance normalisée, elle révèle les secteurs où les fluctuations de vitesse autour de la moyenne sont les plus marquées. La région comprise entre 0°N et 4°N présente une variance plus élevée que le reste du domaine.

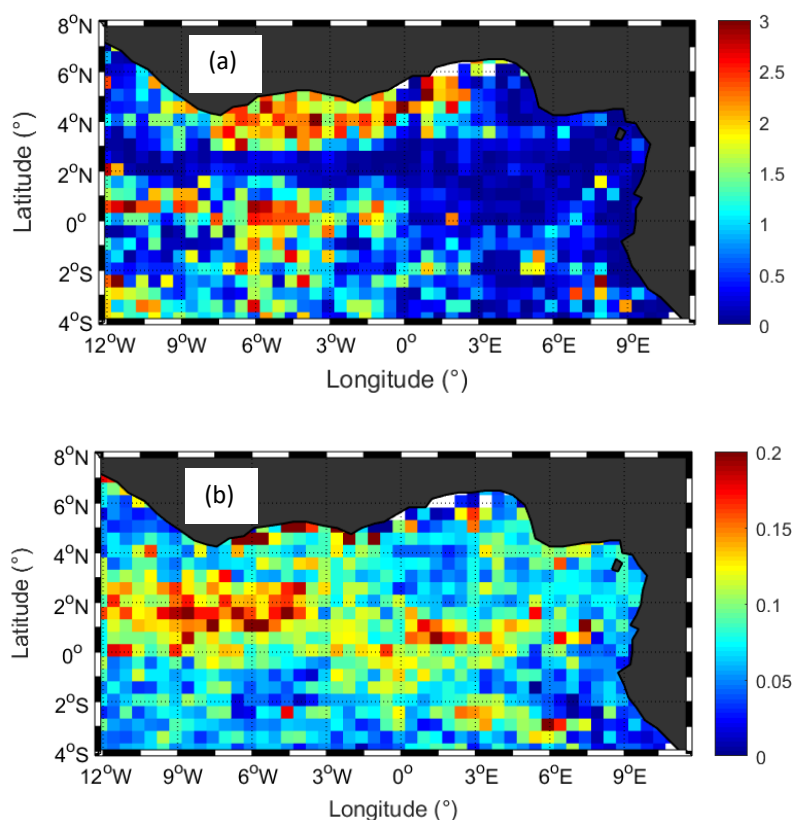


Fig. 3. (a) Densité du champ d'énergie cinétique normalisé par la vitesse moyenne des drifters. (b) Densité de la variance normalisée du champ de vitesse

3.4 DISTRIBUTIONS DE VITESSES (PDFs)

Les fonctions de densité de probabilité (PDFs) des vitesses zonale et méridienne sont présentées pour les données brutes (Figs. 4a et 4b) ainsi que pour les vitesses corrigées u' et v' (Figs. 4c et 4d). Dans chaque cas, une distribution gaussienne théorique, ayant la même moyenne et écart-type que les données, est superposée sous forme de courbe pointillée pour référence. Les distributions observées, qu'elles soient brutes ou corrigées, s'écartent clairement de la loi normale, affichant des queues épaisses caractéristiques. Cette non-gaussianité est corroborée par les moments statistiques: skewness de $-0,08$ pour u' et $0,14$ pour v' , ainsi qu'une kurtosis élevée, respectivement de $3,63$ et $3,79$. Ces valeurs traduisent une légère asymétrie et une présence significative de queues épaisses. Par ailleurs, le test de Kolmogorov-Smirnov appliqué aux séries corrigées confirme le rejet de l'hypothèse de normalité avec un niveau de confiance élevé: pour la composante zonale u' , $n = 3235$, $p = 3.39 \times 10^{-12}$ et pour la composante méridienne (v'): $n = 12421$, $p = 6.93 \times 10^{-21}$.

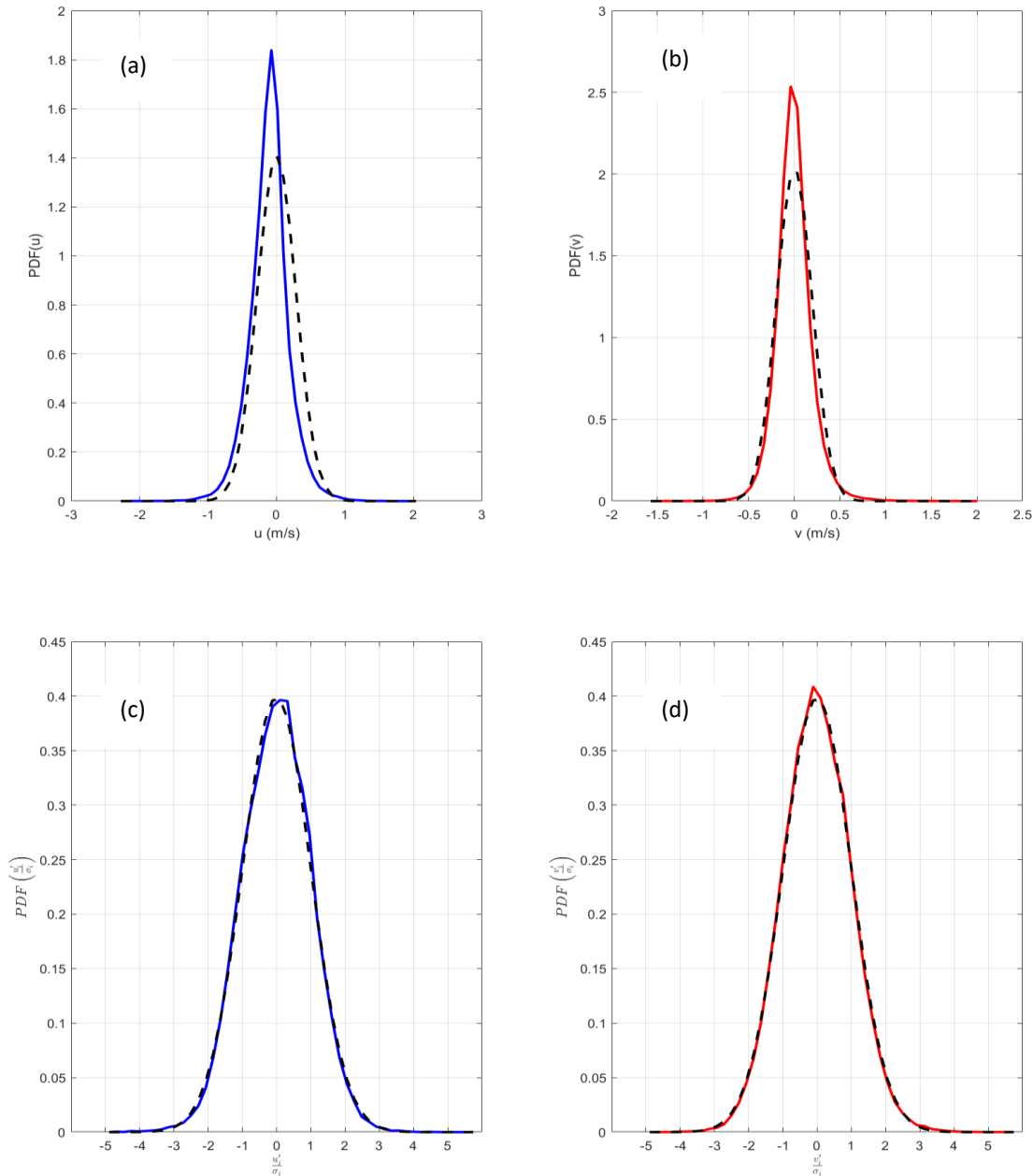


Fig. 4. Fonctions de densité de probabilité (PDFs) des vitesses pour (a) la composante zonale (en bleu, à gauche) et (b) la composante méridienne (en rouge, à droite). Les PDFs des vitesses corrigées sont représentées pour (c) la vitesse zonale et (d) la vitesse méridienne. Les lignes en pointillées représentent la distribution normale dans chaque cas

3.5 FONCTIONS D'AUTOCORRÉLATION LAGRANGIENNES

Fig. 5 présente la fonction d'autocovariance lagrangienne des vitesses zonale (Fig. 5a) et méridienne (Fig. 5b), calculée à partir de l'ensemble des trajectoires complètes de drifters. La décroissance de l'autocovariance avec le temps de décalage (τ) reflète la perte progressive de corrélation des vitesses dans le temps. La composante zonale montre une autocorrélation plus persistante que la composante méridienne, suggérant une dynamique plus cohérente dans la direction zonale. Les temps d'intégration lagrangiens ont été calculés comme l'intégrale de l'autocovariance normalisée: $T_{Lz} = 6,64$ jours et $T_{Lv} = 1,70$ jours. Ces valeurs ont ensuite servi de base pour définir la taille des segments utilisés dans les calculs statistiques ultérieurs. Ainsi, les trajectoires ont été découpées en segments de 10 jours, durée cohérente avec les échelles temporelles caractéristiques du mouvement des particules dans la région.

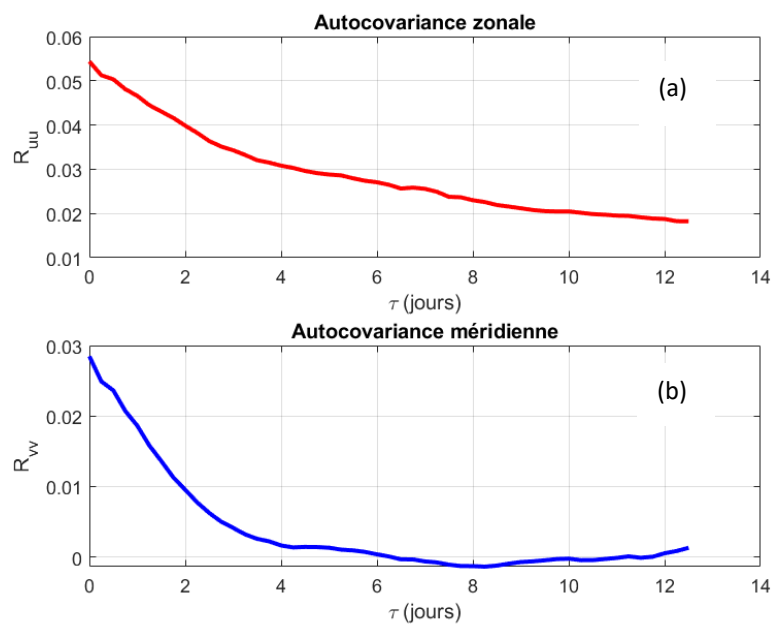


Fig. 5. Autocovariance de la vitesse lagrangienne pour (a) la composante zonale (en rouge) et (b) la composante méridienne (en bleu)

3.6 ANALYSE À L'ÉCHELLE DE 10 JOURS

Les fonctions de densité de probabilité (PDF) des vitesses zonale et méridienne sont ici calculées à partir de segments de trajectoires découpés en intervalles de 10 jours, conformément aux échelles temporelles caractéristiques estimées précédemment. Les graphiques en haut présentent les PDFs des vitesses non corrigées, tandis que ceux du bas correspondent aux vitesses corrigées par soustraction du champ de vitesse eulérien moyen. Dans tous les cas, les distributions s'écartent nettement de la loi normale (courbe pointillée), avec des queues épaisses et une forme aplatie. Cette persistance de la non-gaussianité, même après correction, corrobore les résultats obtenus sur l'ensemble des séries complètes (voir Fig. 4).

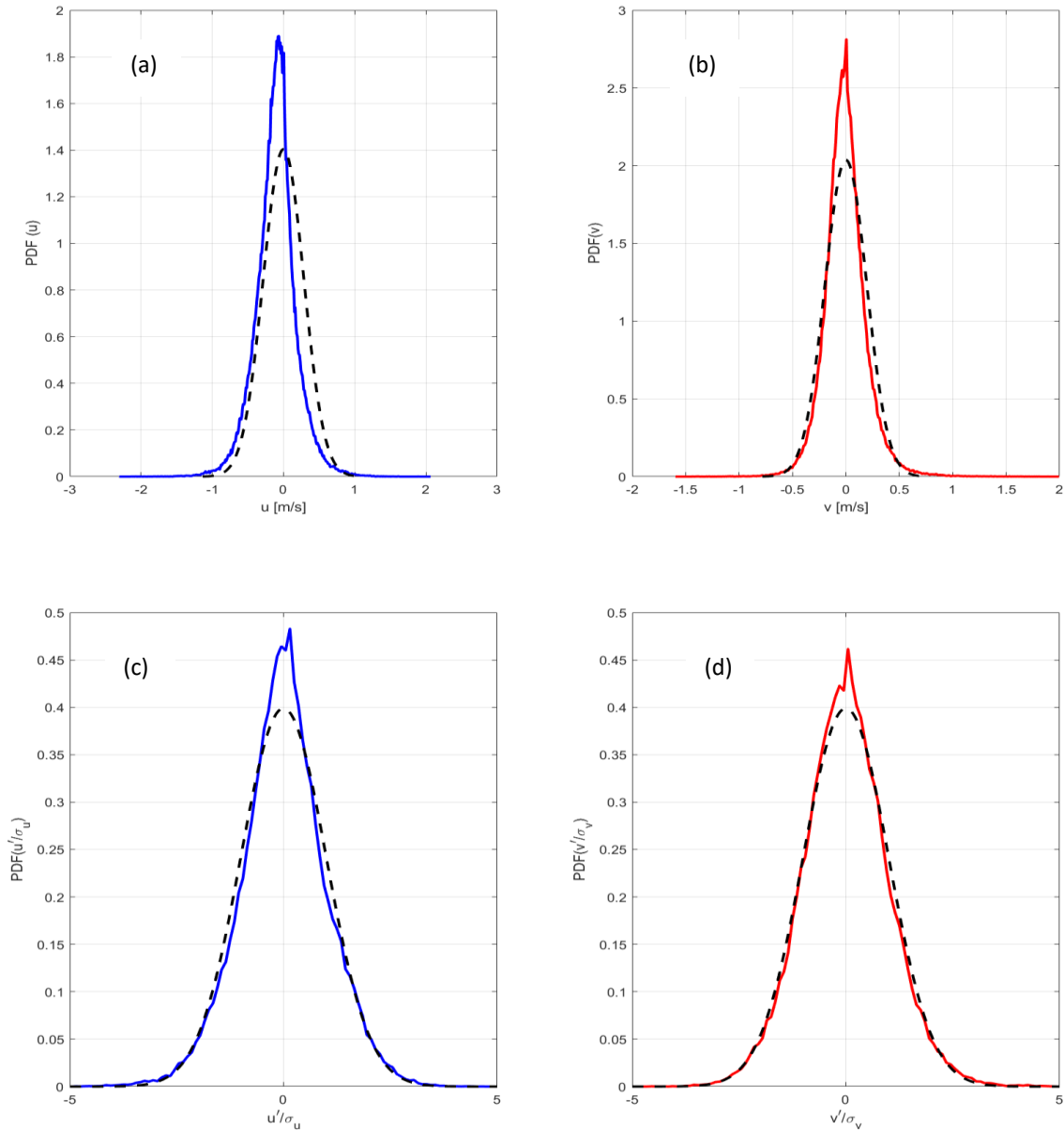


Fig. 6. Fonctions de densité de probabilité (PDFs) des vitesses zonales (a) brute et (c) corrigée ainsi que des vitesses méridiennes (b) brute et (d) corrigée. Ces vitesses ont été calculées à partir de segments de trajectoires de 10 jours. Les lignes pointillées représentent la distribution normale correspondante dans chaque cas

4 DISCUSSIONS

La distribution des positions initiales des drifters (Fig. 1) met en évidence une couverture spatiale inhomogène dans le Golfe de Guinée. Une concentration marquée des lâchers est observée dans la zone équatoriale centrale, en particulier entre 4°S et 0° , où se situe la majorité des déploiements. À l'inverse, les régions ouest et nord présentent un faible déploiement densité nettement plus faible, traduisant un sous-échantillonnage structurel de certaines zones. Cette inégale répartition est également amplifiée par une forte variabilité interannuelle du nombre de drifters actifs, ce qui engendre une couverture temporelle hétérogène. Ces biais spatiaux et temporels peuvent potentiellement affecter la représentativité régionale et saisonnière des statistiques lagrangiennes. Néanmoins, notre étude se concentre sur les caractéristiques de la dispersion à partir des données effectivement disponibles, en gardant à l'esprit que certaines régions sont mieux échantillonnées que d'autres. L'interprétation des résultats tient compte de ces limites.

La densité spatiale des drifters, calculée dans chaque cellule de $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ (Fig. 2a), confirme cette hétérogénéité, avec des zones de forte densité localisées principalement entre 1°N et 4°N . En revanche, les zones périphériques au nord et au sud-est du domaine montrent une très faible densité, parfois inférieure à un drifter par cellule. Cette distribution reflète à la fois les stratégies de déploiement et la dynamique des courants de surface qui conditionnent les trajectoires. Le champ de vitesse eulérien moyen calculé sur l'ensemble

de la période (Fig. 2b) révèle des structures cohérentes avec les circulations zonales typiques du Golfe de Guinée. On distingue clairement une circulation orientée d'ouest en est au nord du domaine, correspondant au courant de Guinée, tandis qu'une circulation vers l'ouest domine entre 4°S et 2°N, associé au courant équatorial sud (SEC). Ces régimes sont cohérents avec les observations rapportées par [12], [13], [14], confirmant la capacité des drifters à capturer les structures de courant de grande échelle.

L'énergie cinétique et la variance du champ de vitesses, présentées à la Fig 3 révèlent une dynamique de surface fortement hétérogène dans le Golfe de Guinée. L'énergie cinétique normalisée (Fig 3a) met en évidence des zones d'intensité dynamique marquée, notamment dans la région nord du bassin, entre 1°N et 4°N, ainsi que dans la partie sud-ouest. Ces concentrations d'énergie traduisent des régions d'activité dynamique accrue, possiblement liées à des jets côtiers, des courants de bord ou à la présence de structures mésoéchelles actives. La variance normalisée des vitesses (Fig. 3b) complète cette lecture en révélant une forte variabilité des vitesses autour de la moyenne, principalement dans la bande équatoriale comprise entre 0°N et 4°N. Ces niveaux élevés de variance sont typiques de zones d'instabilité dynamique, propices à l'émergence de tourbillons mésoéchelles intermittents ou d'autres phénomènes transitoires. En particulier, la région nord du Golfe de Guinée, à proximité de la zone d'upwelling ivoiro-ghanéen, présente simultanément des valeurs élevées d'énergie cinétique et de variance, suggérant un régime fortement perturbé. Cette signature est cohérente avec la présence de tourbillons cycloniques récurrents, déjà documentés dans cette zone [6], [10], et associés à une dynamique locale persistante. Ces diagnostics mettent en évidence la coexistence de régimes dynamiques contrastés, depuis des courants relativement cohérents à forte énergie moyenne, jusqu'à des zones plus désorganisées où domine la variabilité. Cette structuration hétérogène du champ de courant a des implications majeures sur la dispersion lagrangienne et la forme statistique des PDFs de vitesses.

Les fonctions de densité de probabilité (PDFs) des vitesses zonale (u) et méridienne (v), illustrées à la Fig. 4, révèlent des écarts significatifs par rapport à une distribution gaussienne, tant pour les vitesses brutes que pour les vitesses corrigées (u' , v'). Les tests de Kolmogorov–Smirnov confirment statistiquement ces écarts (valeurs de $p \ll 0.05$), et les moments d'ordre supérieur montrent des kurtosis nettement supérieures à 3 pour les composantes corrigées (3.63 pour u' , 3.79 pour v'), traduisant la présence de queues épaisses. Malgré la correction par retrait du champ de vitesse eulérien moyen, les distributions conservent une forme non gaussienne et légèrement asymétrique (skewness ≈ 0), suggérant que la non-gaussianité ne résulte pas uniquement de l'advection organisée par le courant moyen. Elle reflète plutôt une variabilité intrinsèque du champ turbulent, caractérisée par des événements intermittents à forte intensité. Ce comportement a déjà été mis en évidence dans d'autres bassins océaniques. En Méditerranée [4] et dans le Golfe du Mexique [23], des analyses similaires ont montré que les PDFs deviennent gaussiennes uniquement lorsqu'on filtre les vitesses extrêmes, souvent associées à des tourbillons ou à des circulations intenses localisées. Dans le cas du Golfe de Guinée, plusieurs études ont documenté la présence récurrente de tourbillons mésoéchelles, notamment en aval des caps ivoiriens [6], [7], [8], [9], [10], qui peuvent piéger les drifters et générer des vitesses anormalement fortes ou faibles, contribuant ainsi à l'extension des PDFs.

La fonction d'autocovariance lagrangienne des vitesses, illustrée à la Fig. 5, permet d'évaluer la persistance temporelle des mouvements des drifters. Les résultats ont montré une décroissance progressive de la corrélation des vitesses avec le temps de décalage (τ), signe caractéristique d'un processus stochastique et turbulent. Cette décroissance est plus lente pour la composante zonale, indiquant une plus grande cohérence temporelle des mouvements est-ouest, typiques des régimes équatoriaux dominés par des courants zonaux persistants. Les temps d'intégration lagrangiens, obtenus par intégration des fonctions d'autocovariance normalisées, sont de 6,64 jours pour la composante zonale et de 1,70 jours pour la composante méridienne. Ces valeurs confirment l'anisotropie marquée du champ de vitesse, avec un transport préférentiel dans la direction zonale, cohérent avec la présence du Courant de Guinée et du SEC ([12], [13], [14]). Ces résultats s'inscrivent dans les ordres de grandeur attendus pour des structures de mésoéchelle en région équatoriale, où les instabilités méridiennes sont souvent plus courtes et plus dispersives. Des études antérieures ont rapporté des valeurs similaires du temps Lagrangien T_L dans d'autres bassins tropicaux, notamment en Atlantique Nord et dans le Pacifique équatorial [1], bien que la géométrie et les caractéristiques de forçage diffèrent. Enfin, ces temps d'intégration ont guidé le choix de la durée des segments statistiques utilisés dans les analyses ultérieures (10 jours), correspondant à une échelle temporelle suffisamment longue pour capturer la dynamique mésoéchelle.

L'analyse des vitesses issues de segments de 10 jours, conforme aux échelles caractéristiques estimées précédemment, permet d'examiner la structure statistique du transport lagrangien à une échelle intermédiaire, représentative des processus de mésoéchelle. Les PDFs des vitesses zonale et méridienne (Fig. 6) révèlent que, même après correction par soustraction du champ de vitesse eulérien moyen, les distributions conservent une forme non gaussienne: les queues épaisses et le profil aplati persistent dans toutes les composantes.

Ce résultat suggère que la non-gaussianité du champ de vitesse est une propriété robuste, présente non seulement à l'échelle des trajectoires complètes (Fig. 4), mais également à l'échelle statistiquement pertinente de 10 jours. L'intermittence des événements dynamiques, telle que générée par des structures mésoéchelles cohérentes ou des fluctuations énergétiques transitoires, affecte la distribution des vitesses indépendamment de l'advection moyenne. Cette persistance est cohérente avec des études similaires menées dans d'autres régions océaniques, notamment dans le Golfe du Mexique [2], [23] et la Méditerranée [4], où les distributions de vitesses corrigées restent également non gaussienne. Cependant, plusieurs limites méthodologiques doivent être considérées. Le découpage des trajectoires en cellule implique un lissage spatial qui peut atténuer certaines signatures dynamiques locales. De plus, la résolution temporelle des données (6 heures) peut filtrer certaines fluctuations à haute fréquence, réduisant potentiellement la kurtosis apparente.

Enfin, les hypothèses d'indépendance et de stationnarité sous-jacentes aux tests statistiques doivent être nuancées, particulièrement dans un contexte où la variabilité saisonnière du système côtier influence fortement la dynamique observée.

5 CONCLUSION

Cette étude fournit une caractérisation lagrangienne détaillée de la dynamique de surface dans le Golfe de Guinée, à partir de trajectoires de drifters du programme GDP. L'analyse statistique des vitesses, de leur autocorrélation, et des PDFs met en évidence une circulation complexe marquée par une forte hétérogénéité spatiale et des signatures non gaussiennes robustes. Les vitesses mesurées montrent une circulation moyenne dominée par des courants zonaux vers, conforme à la dynamique régionale. Toutefois, les analyses des PDFs des vitesses, brutes comme corrigées, révèlent des distributions à queues épaisses et une déviation significative de la loi normale, comme le confirment les moments statistiques (kurtosis > 3) et les tests de Kolmogorov–Smirnov. Ce comportement suggère une forte influence de structures intermittentes et mésoéchelles, susceptibles d'introduire des événements énergétiques dans la dispersion lagrangienne. Les fonctions d'autocovariance ont permis d'estimer des temps d'intégration lagrangiens anisotropes ($T_{Lz}=6,65$ jours et $T_{Lv}=1,70$ jours), traduisant une dynamique plus cohérente dans la direction zonale. Sur cette base, un découpage des trajectoires en segments de 10 jours a été effectué, confirmant que la non-gaussianité persistait à cette échelle, même après correction eulérienne. Ces résultats indiquent que la dispersion des particules à la surface du Golfe de Guinée ne peut être décrite par des modèles de diffusion classiques fondés sur des hypothèses de turbulence homogène et gaussienne. La complexité des régimes observés souligne la nécessité d'approches lagrangiennes fines pour caractériser la variabilité dynamique de cette région, en particulier dans le contexte de la modélisation du transport de polluants ou de larves marines.

DÉCLARATION DE FINANCEMENT

Aucune source de financement n'a été sollicitée ni obtenue pour ce travail de recherche.

DÉCLARATION DE CONFLITS D'INTÉRÊTS

L'auteur correspondant déclare, au nom de tous les co-auteurs, qu'il n'existe aucun conflit d'intérêts pertinent au regard du contenu de cette publication.

REFERENCES

- [1] « Lagrangian Statistics from Oceanic and Atmospheric Observations », in *Lecture Notes in Physics*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, p. 165-218. doi: 10.1007/978-3-540-75215-8_8.
- [2] L. Zavala Sansón, J. Sheinbaum, et P. Pérez-Brunius, « Single-particle statistics in the southern Gulf of Mexico », *Geofísica Int.*, vol. 57, n° 2, p. 139-150, 2018.
- [3] A. Bracco, J. LaCasce, C. Pasquero, et A. Provenzale, « The velocity distribution of barotropic turbulence », *Phys. Fluids*, vol. 12, n° 10, p. 2478-2488, 2000.
- [4] A. Bracco, J. H. LaCasce, et A. Provenzale, « Velocity probability density functions for oceanic floats », *J. Phys. Oceanogr.*, vol. 30, n° 3, p. 461-474, 2000.
- [5] C. Pasquero, A. Provenzale, et A. Babiano, « Parameterization of dispersion in two-dimensional turbulence », *J. Fluid Mech.*, vol. 439, p. 279-303, 2001.
- [6] S. Djakouré, P. Penven, B. Boulès, J. Veitch, et V. Koné, « Coastally trapped eddies in the north of the Gulf of Guinea », *J. Geophys. Res. Oceans*, vol. 119, n° 10, p. 6805-6819, oct. 2014, doi: 10.1002/2014JC010243.
- [7] K. Nieto et F. Mélin, « Variability of chlorophyll-a concentration in the Gulf of Guinea and its relation to physical oceanographic variables », *Prog. Oceanogr.*, vol. 151, p. 97-115, 2017.
- [8] H. M. A. Aguedjou, I. Dadou, A. Chaigneau, Y. Morel, et G. Alory, « Eddies in the Tropical Atlantic Ocean and Their Seasonal Variability », *Geophys. Res. Lett.*, vol. 46, n° 21, p. 12156-12164, nov. 2019, doi: 10.1029/2019GL083925.
- [9] H. Amemou, V. Koné, A. Aman, et C. Lett, « Assessment of a Lagrangian model using trajectories of oceanographic drifters and fishing devices in the Tropical Atlantic Ocean », *Prog. Oceanogr.*, vol. 188, p. 102426, oct. 2020, doi: 10.1016/j.pocean.2020.102426.
- [10] A. K. Thiam *et al.*, « Mesoscale dynamics and its interaction with coastal upwelling in the northern Gulf of Guinea », *Front. Mar. Sci.*, vol. 11, p. 1500753, 2024.
- [11] M. S. Swenson et P. P. Niiler, « Statistical analysis of the surface circulation of the California Current », *J. Geophys. Res. Oceans*, vol. 101, n° C10, p. 22631-22645, oct. 1996, doi: 10.1029/96jc02008.
- [12] B. Bourles, R. L. Molinari, E. Johns, W. D. Wilson, et K. D. Leaman, « Upper layer currents in the western tropical North Atlantic (1989–1991) », *J. Geophys. Res. Oceans*, vol. 104, n° C1, p. 1361-1375, janv. 1999, doi: 10.1029/1998jc900025.
- [13] R. Lumpkin et S. L. Garzoli, « Near-surface circulation in the Tropical Atlantic Ocean », *Deep Sea Res. Part Oceanogr. Res. Pap.*, vol. 52, n° 3, p. 495-518, mars 2005, doi: 10.1016/j.dsr.2004.09.001.

- [14] K. Bosson, A. Aman, E. Toualy, et S. Arnault, « The surface Guinea Current variability from satellite data », *Reg. Stud. Mar. Sci.*, vol. 64, p. 103045, 2023.
- [15] G. Herbert, B. Bourlès, P. Penven, et J. Grelet, « New insights on the upper layer circulation north of the Gulf of Guinea », *J. Geophys. Res. Oceans*, vol. 121, n° 9, p. 6793-6815, sept. 2016, doi: 10.1002/2016jc011959.
- [16] V. Koné, C. Lett, P. Penven, B. Bourlès, et S. Djakouré, « A biophysical model of *Sardinella aurita* early life history in the northern Gulf of Guinea », *Prog Ocean.*, vol. 151, 2016, Consulté le: 11 juillet 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.researchgate.net/profile/Bernard-Bourles/publication/322951148_International_conference_ICAWA_2016_extended_book_of_abstract_the_AWA_project_ecosystem_approach_to_the_management_of_fisheries_and_the_marine_environment_in_West_African_waters/links/5c4580cba6fdccd6b5bcc067/International-conference-ICAWA-2016-extended-book-of-abstract-the-AWA-project-ecosystem-approach-to-the-management-of-fisheries-and-the-marine-environment-in-West-African-waters.pdf
- [17] Y. Y. H. Amemou, « Modélisation biophysique de la dispersion et de la croissance des larves de sardinelles dans le Golfe de Guinée », PhD Thesis, Sorbonne Université; Université Félix Houphouët-Boigny (Abidjan, Côte d'Ivoire), 2021. Consulté le: 11 juillet 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://theses.hal.science/tel-03681804/>.
- [18] H. Amemou, K. Bosson, et M. Koné, « Impact of Diel Vertical Migration (DVM) on *Sardinella aurita* retention in the northern Gulf of Guinea », *Res. Mar. Sci.*, vol. 10, p. 667-684, 2025.
- [19] L. C. Laurindo, A. J. Mariano, et R. Lumpkin, « An improved near-surface velocity climatology for the global ocean from drifter observations », *Deep Sea Res. Part Oceanogr. Res. Pap.*, vol. 124, p. 73-92, juin 2017, doi: 10.1016/j.dsr.2017.04.009.
- [20] R. Lumpkin et M. Pazos, « Measuring surface currents with Surface Velocity Program drifters: the instrument, its data, and some recent results », *Lagrangian Anal. Predict. Coast. Ocean Dyn.*, vol. 39, p. 67, 2007.
- [21] S. Elipot, R. Lumpkin, R. C. Perez, J. M. Lilly, J. J. Early, et A. M. Sykulski, « A global surface drifter data set at hourly resolution », *J. Geophys. Res. Oceans*, vol. 121, n° 5, p. 2937-2966, mai 2016, doi: 10.1002/2016jc011716.
- [22] D. V. Hansen et P.-M. Poulain, « Quality control and interpolations of WOCE-TOGA drifter data », *J. Atmospheric Ocean. Technol.*, vol. 13, n° 4, p. 900-909, 1996.
- [23] L. Z. Sansón, P. Pérez-Brunius, et J. Sheinbaum, « Surface relative dispersion in the southwestern Gulf of Mexico », *J. Phys. Oceanogr.*, vol. 47, n° 2, p. 387-403, 2017.

Caractérisation biochimique, microbiologique et sensorielle de trois sous-produits de fonio en Guinée

[Biochemical, Microbiological and Sensory Characterization of Three Fonio By-products in Guinea]

Lanciné Sangare¹, Agnès Sakama Mansare^{1,2}, Vamougnè Kourouma³, Oumou Barry³, and Ubad Polycarp Tougan⁴

¹Institut Supérieur Agronomique et Vétérinaire « Valéry Giscard d'Estaing » de Faranah, Département Agroforesterie, BP: 131, Faranah, Guinea

²Direction Préfectorale de l'Agriculture de Kissidougou, Ministère de l'Agriculture, Guinea

³Institut Supérieur Agronomique et Vétérinaire « Valéry Giscard d'Estaing » de Faranah, Département Vulgarisation Agricole, BP: 131, Faranah, Guinea

⁴Université de Parakou, Département de Nutrition et Sciences Agro-alimentaires Parakou, Benin

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Fonio is a traditional cereal that has long been marginalized in Guinean agriculture but is now attracting growing interest from various stakeholders. Therefore, the present study aims to evaluate the effect of fonio processing techniques on its biochemical, microbiological, and sensory qualities. The Association of Official Analytical Chemists (AOAC) method was used to determine the levels of the various parameters. A 44-person tasting panel was organized to assess taste, color, and odor. The results show that the applied processing methods (precooked, parboiled, and roasted) had a significant impact on the biochemical characteristics of fonio, including protein, ash, lipid, and carbohydrates contents. From a microbiological perspective, roasted fonio was the least contaminated by the analyzed microorganisms. However, it is important to note that all three processing techniques produced fonio with generally satisfactory hygienic quality. In terms of sensory attributes, parboiled fonio was the most appreciated for its taste, while precooked fonio received the highest scores for color and aroma. In conclusion, this study highlights the potential for fonio valorization through appropriate processing methods that could enhance its competitiveness and market appeal on local markets in Guinea.

KEYWORDS: Fonio, processing technique, biochemical quality, microbiological quality, sensory quality.

RESUME: Le fonio est une céréale traditionnelle et longtemps marginalisée au sein de l'agriculture Guinéenne et fait de nos jours la convoitise de nombreux acteurs. Cette étude avait pour objectif de connaître les effets des techniques de transformation sur la qualité biochimique, microbiologique et sensorielle du fonio. La méthode Association Officielle des Chimistes Analystes (Association of Official Analytical Chemists, AOAC) a été utilisée pour déterminer le taux des différents paramètres. Un panel de dégustation de 44 personnes a été organisé pour apprécier le goût, la couleur et l'odeur. Les résultats montrent que les techniques de transformation du fonio (précuit, étuvé et torréfié) appliquées ont eu un effet significatif ($P < 0,05$) sur les caractéristiques biochimiques (protéine, cendre, lipide, glucide, matière sèche et humidité). Sur le plan microbiologique, le fonio torréfié s'avère le moins contaminé par les microorganismes analysés. Toutefois, il est important de noter que les trois techniques de transformation produisent des fonios de qualité hygiénique globalement satisfaisante. Sur le plan sensoriel, le fonio étuvé est le plus apprécié pour son goût, tandis que le fonio précuit obtient les meilleures notes en matière de couleur et d'odeur. En conclusion, cette étude met en lumière le potentiel de valorisation du fonio à travers des procédés de transformation adaptés, susceptibles de renforcer sa compétitivité et son attractivité sur les marchés locaux en Guinée.

MOTS-CLEFS: Fonio, technique de transformation, qualité biochimique, qualité microbiologique, qualité sensorielle.

1 INTRODUCTION

Le fonio (*Digitaria exilis* et *Digitaria iburua*), une céréale ancestrale africaine, joue un rôle crucial dans l'alimentation traditionnelle de multiples communautés en Afrique de l'Ouest. Apprécié pour sa densité nutritionnelle, son caractère sans gluten et sa digestion aisée, il représente une option séduisante en comparaison aux céréales traditionnelles comme le riz, le blé ou le maïs (VODOUHE et al., 2003). En République de Guinée, le fonio est l'une des céréales de base la plus anciennement connue des populations guinéennes en général et celles de la moyenne et de la haute Guinée en particulier. Il est largement utilisé dans l'alimentation des populations aussi bien en zone rurale que dans les centres urbains. Il devient de nos jours un produit de luxe et de rente (filère fonio). Traditionnellement, le fonio est consommé sous forme de granules (à l'image du riz), de bouillie ou de pâte et possède des propriétés nutritionnelles hautement valorisés. Sa composition biochimique globalement avoisine celle des autres céréales (CRUZ, 2004; FLIEDEL et al., 2004; CRUZ et al., 2009). Il est particulièrement reconnu pour sa richesse en méthionine et en cystéine, deux acides aminés essentiels pour l'homme et déficients dans le blé, le riz, le maïs et le sorgho (FLIEDEL et al., 2004). Les protéines plus riches en méthionine présenteraient, une meilleure efficacité protéique, un rôle bénéfique sur le taux de lipides, de cholestérols et de triglycérides sanguins et participeraient à la détoxification métabolique des tannins contenus dans le bol alimentaire (FLIEDEL et al., 2004). Le fonio présente une forte concentration de minéraux tels que le fer, le zinc, le calcium et le magnésium, ainsi qu'une densité énergétique significative (DERIU, 2022). Pour le même auteur, il possède également des caractéristiques fonctionnelles notables: un grand pouvoir de gonflement, une forte capacité à retenir l'eau et une stabilité thermique, pour des utilisations dans les gels et les émulsions. Il est recommandé aux diabétiques, aux personnes souffrant de surpoids et aux femmes enceintes (SAGBADJA et al., 2006).

Les grains de fonio blanchi présentent toutes les propriétés nécessaires pour constituer un aliment attrayant dans la gestion diététique des individus souffrant de diabète sucré (BESANÇON, 2000). Cependant, la petite taille des grains de fonio rend le processus de transformation long et complexe. Pendant de très nombreuses années, la production de fonio était essentiellement destinée à l'autoconsommation pour satisfaire les besoins des producteurs durant la période de soudure (CRUZ et al., 2011). Une faible part était commercialisée en vrac sur les marchés locaux. Mais les difficultés de transformation conduisaient de nombreux producteurs à abandonner cette culture.

L'évaluation de la qualité des aliments implique plusieurs aspects notamment la qualité sensorielle, la valeur nutritionnelle, la qualité technologique et hygiénique (GEISSLER, 2003; MOLNAR, 2003; NOUT et al., 2003). La valeur nutritionnelle d'un aliment est un aspect de qualité important pour la sécurité alimentaire des consommateurs mais ne constitue pas le seul critère déterminant le choix d'un produit alimentaire (KAYODE et al., 2005). Cette transformation peut avoir des impacts sur la qualité biochimique, sensorielle et économique (CRUZ, 2004). Une étude menée à cet effet pourrait avoir une importance majeure pour les consommateurs d'une part et pour les transformateurs d'autres part.

De nos jours, très peu de documents scientifiques sur la qualité biochimique et sensorielle des produits dérivés du fonio existent dans la littérature. L'hypothèse de cette recherche est que les dérivés du fonio issues de la transformation possèdent des caractéristiques biochimiques uniques qui déterminent leur charge microbienne initiale et, suite à une stabilisation technologique adéquate, leur capacité sensorielle à être intégrés dans des produits alimentaires enrichis. C'est pourquoi la présente a pour l'objectif d'évaluer l'effet des techniques de transformation du fonio sur les qualités biochimiques, microbiologiques et sensorielle afin de répondre à un certain nombre de préoccupations sur la situation réelle des techniques utilisées pour l'obtention des dérivés du fonio transformé.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODE

2.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal utilisé a été le fonio paddy (variété fonibagbè) obtenu sur le marché local. Une quantité de 54 kg a été achetée pour effectuer l'ensemble des travaux.

2.2 MÉTHODES

2.2.1 TRANSFORMATION DU FONIO

Le fonio paddy a subi trois techniques de transformation en sous-produits qui sont: précuit, étuvé et torréfié.

FONIO PRÉCUIT

Les grains de fonio (18 kg) ont été préalablement séchés au soleil pendant 10 heures, débarrassés de leurs impuretés à l'aide des vans puis décortiqués et blanchis à l'aide de la décortiqueuse (GMFB). Après le blanchiment, les grains ont été lavés pour séparer des enveloppes et le sable avant d'être soumis à deux précuissons à la vapeur pendant 30 minutes à une température moyenne de 100 °C

sur un foyer traditionnel au bois. Les grains précuits ont été séchés au soleil à la température ambiante moyenne de 25 °C pendant 12 heures.

FONIO ÉTUVÉ

Les grains de fonio paddy (18 kg) nettoyés ont été trempés dans l'eau pendant 30 minutes à la température ambiante (25 °C) suivant la technique développée par CRUZ *et al.*, (2009). Après trempage, les grains ont été égouttés et cuits à la vapeur à 100 °C pendant 30 minutes sur un foyer traditionnel au bois. Les grains ont été séchés au soleil pendant 3 jours à la température ambiante (25 °C), puis décortiqués avec la décortiqueuse. L'opération de décortiquage a été suivie d'un lavage des grains et d'un séchage au soleil pendant 10 heures.

FONIO TORRÉFIÉ

Une quantité de 18 kg de fonio paddy a été préalablement séché au soleil avec une température moyenne de 25 °C pendant 8 heures, débarrassés de leurs impuretés à l'aide des vans puis décortiqués et blanchis à l'aide de la décortiqueuse. Ces grains ont été lavés et séchés au soleil pendant 5 h avec une température moyenne de 25 °C. Les grains séchés ont été torréfiés dans une marmite à 100 °C pendant 35 minutes sur un foyer traditionnel au bois, puis refroidis à la température ambiante de 25 °C (CRUZ *et al.*, 2009).

2.2.2 ANALYSE BIOCHIMIQUE

Les analyses biochimiques se sont déroulées à l'Office National de Contrôle de Qualité de Matoto à Conakry (Guinée) suivant la méthode internationale décrite par AOAC (2000) et ont porté sur les taux des paramètres suivants: Protéines, Lipides, Glucide, Centre, Matière sèche et Humidité. Les analyses ont été réalisées sur un échantillon de 1,5 kg soit 500g obtenue de chaque technique de transformation.

2.2.3 ANALYSE MICROBIENNE

L'analyse microbiologique a consisté à déterminer la présence des germes de flores mésophiles totales, des coliformes totaux, de la levure et des moisissures dans chaque variante de fonio. Pour la détermination de la flore mésophile totale, le milieu de culture gélose Plate Count Agar (PCA) a été utilisé. Les coliformes totaux ont été détectés avec le milieu gélose Violet Red Bile Lactose Agar (VRBL) avec un pH de 7,4. Le milieu de culture Potato dextrose agar (PDA) a permis de détecter la présence des levures et des moisissures dans les sous-produits. Les milieux de culture PCA et PDA ont été incubés à 30 °C pendant 72 heures et le milieu VRB à 37 °C pendant 24-48 heures.

2.2.4 ANALYSE SENSORIELLE

L'analyse sensorielle a été réalisée selon BOUTROLLE (2007). Un panel de dégustation de 44 personnes a été organisé pour apprécier les différents plats de chaque sous-produit. Cette appréciation a porté sur: le goût, la couleur et l'odeur.

2.2.5 TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNÉES

Les logiciels Excel et SPSS version 2023 ont été utilisés pour les analyses statistiques et la présentation des graphiques. La comparaison des moyennes a été effectuée avec le test de DUNCAN aux seuils de 5 et 1%.

3 RÉSULTATS

3.1 QUALITÉ BIOCHIMIQUE

Les teneurs des paramètres biochimiques (matière sèche, glucide, humidité, protéine, lipide et cendre) ont été influencés par les différents traitement du fonio en sous-produits. Dans la figure 1, se trouve les résultats du taux de matière sèche et de glucide contenu dans les différents traitements. Il ressort de ce graphique que le fonio torréfié contient la teneur en matière sèche (97,56%) la plus élevée contrairement aux fonios précuit (93,28%) et étuvé (93,11%) statistiquement identique. Les résultats de la teneur en glucide révèlent une différence significative ($P < 0,05$), le fonio torréfié contient plus glucides (87,77%), suivi respectivement par le fonio précuit (85,27%) et étuvé (82,83%).

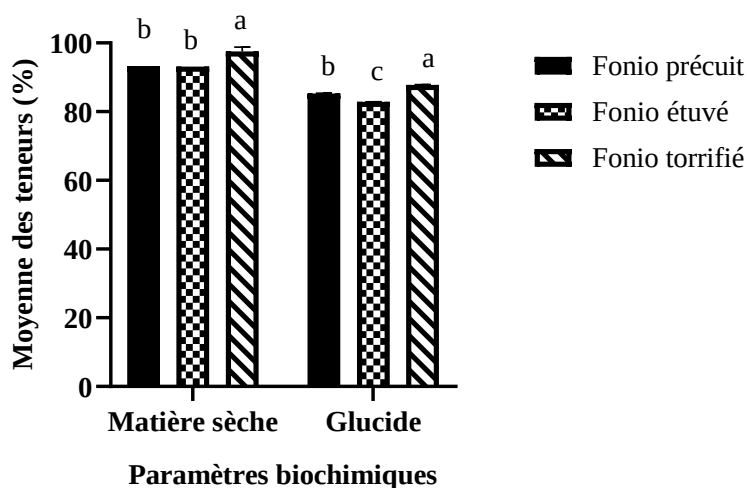


Fig. 1. Teneur en matière sèche et glucide contenu dans les sous-produits de fonio

Les résultats de la teneur en humidité et protéine dans la figure 2 montrent une différence significative ($P < 0,05$) entre les différents traitements du fonio. Le fonio torréfié (3,57%) a affiché une faible teneur d'humidité contre 6,87% pour le fonio étuvé et 6,72% pour le fonio précuit. Cette variation du taux d'humidité est due à une forte élévation de la température lors de la cuisson à sec et une absorption d'eau des grains de fonio lors du trempage. Les résultats de la teneur en protéine dans les différents traitements démontrent que la protéine contenue dans le fonio étuvé est plus élevée (8,75%), tandis que la teneur en protéine la plus faible a été enregistré dans le fonio précuit (6,40%). Ceci s'explique par le fait que l'étuvage accroît les qualités organoleptiques et nutritionnelles, en enrichissant l'amande en éléments hydrosolubles (minéraux, vitamines, protéines) initialement concentrés dans les couches périphériques du grain.

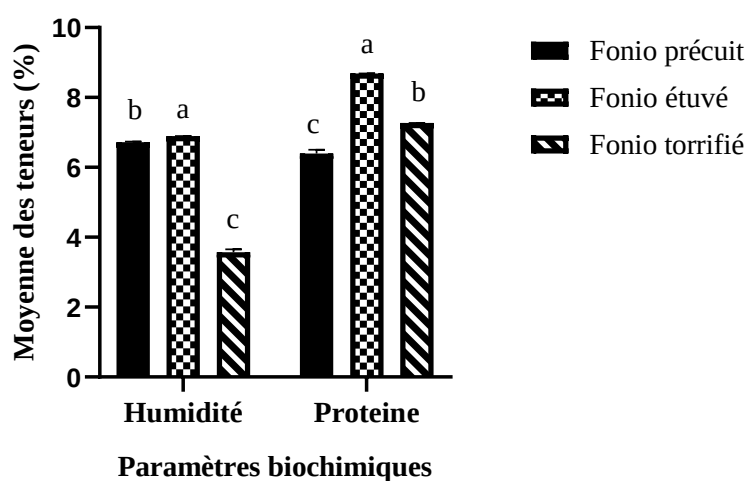


Fig. 2. Teneur en humidité et protéine contenu dans les sous-produits de fonio

Les résultats de la teneur en lipides et cendres sont consignés dans la figure 3. Les teneurs en lipides dans les sous-produits montrent la présence d'une teneur élevée dans le fonio précuit (0,96%), par contre fonio étuvé (0,89%) et torréfié (0,90%) ont donné des valeurs sans aucune différence significative entre eux ($P < 0,05$). La teneur en cendre a varié significativement en fonction des techniques de transformation ($P < 0,05$). La teneur en cendre la plus élevée a été obtenu au niveau du fonio étuvé (0,7%). Le fonio précuit et torréfié respectivement ont enregistré 0,65 % et 0,5%.

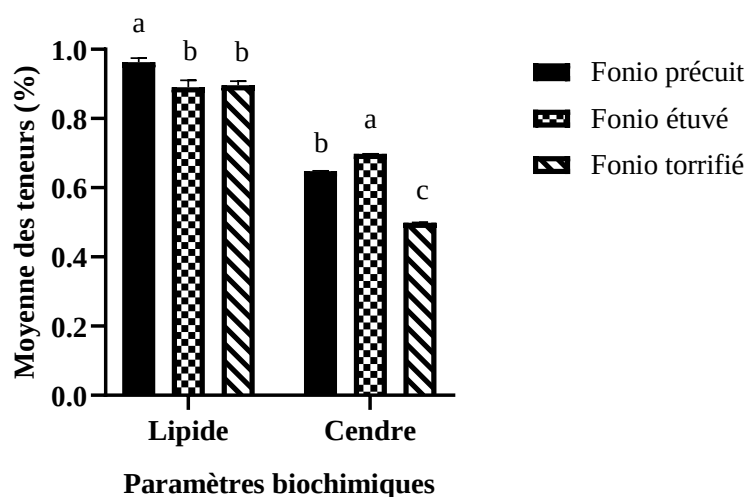


Fig. 3. Teneur en lipide et cendre contenue dans sous-produits de fonio

3.2 QUALITÉ MICROBIENNE

Les résultats de la qualité microbiologique des techniques de transformation du fonio sont consignés dans le tableau 1. De ces résultats, il a été observé que le fonio précuit contient la quantité plus élevée de flore mésophile ($4,33.10^3$ UFC/g) et de Coliformes totaux (52 UFC/g). Le plus faible taux de flore mésophile totale et de coliformes totaux a été retrouvé sans aucune différence significative entre eux respectivement dans le fonio étuvé et torréfié. Cependant, aucune présence de levure et de moisissure n'a été observée dans les différents techniques de transformations.

Tableau 1. Qualité microbienne des sous-produits de fonio

Microorganismes	Produits (UFC/g)			Critères
	Fonio précuit	Fonio étuvé	Fonio torréfié	
Flore mésophile totale	$4,33.10^{3a}$	$1,33.10^{3b}$	5.10^{2b}	50 000 000 (ISO : 4833)
Coliformes totaux	52 ^a	17 ^b	6,33 ^b	100 (ISO 4832 :2006)
Levure	0	0	0	< 2,69 (Critères microbiologiques AFNOR, 2000)
Moisissure	0	0	0	< 2,69 (Critères microbiologiques AFNOR, 2000)

3.3 QUALITÉ SENSORIELLE

L'évaluation sensorielle du fonio précuit, étuvé et torréfié se trouve consigné dans la figure 4. Il ressort en termes de goût que le fonio étuvé a été apprécié très bon des dégustateurs suivis du fonio précuit et torréfié. Cependant, la couleur du fonio précuit a été appréciée très bonne et le fonio torréfié appréciée bonne. Par contre le fonio étuvé a enregistré l'appréciation peu bonne en termes de couleur de meilleure. Les résultats sur l'odorat montrent que le fonio précuit a été apprécié très aromatisé suivi du fonio étuvé et le fonio torréfié.

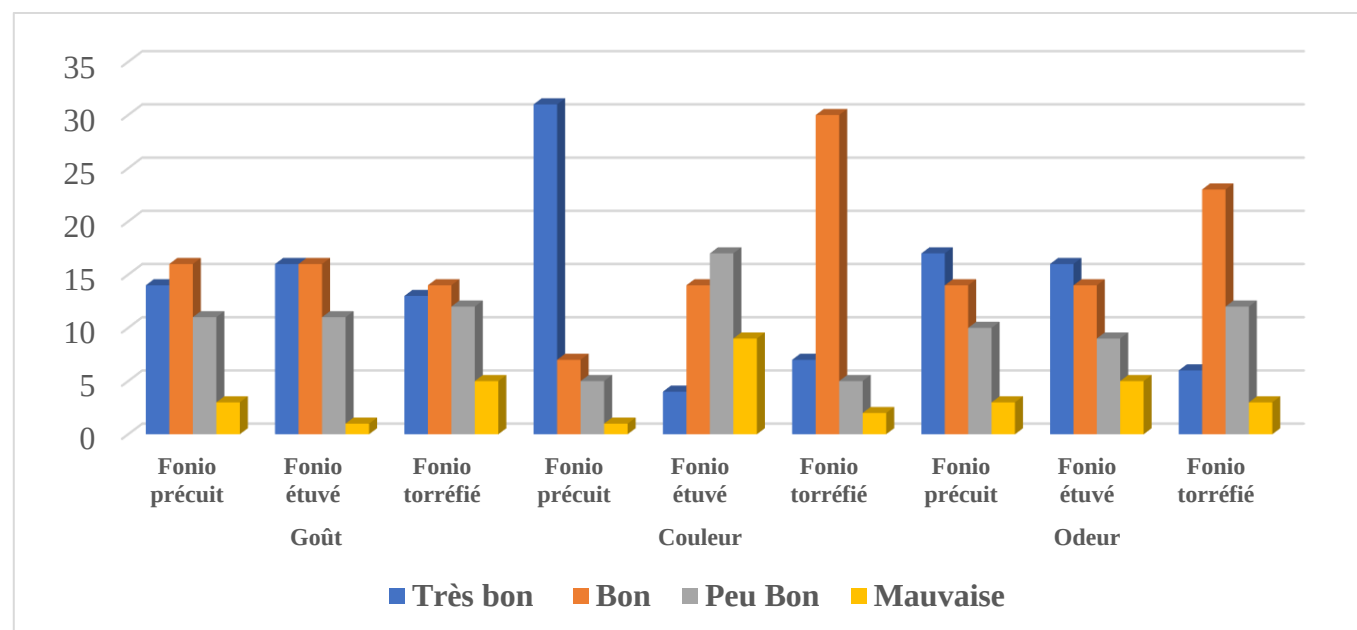


Fig. 4. *Appréciation sensorielle des sous-produits*

4 DISCUSSION

4.1 CARACTÉRISTIQUES BIOCHIMIQUES

La teneur en glucide a varié de 82,83% à 87,77%. Ces valeurs avoisinent à celle donnée par CRUZ (2001) selon qui la graine du fonio sèche renferme 86,60% de glucide. Le taux de lipide se trouve dans un intervalle de 0,89% à 0,96%. Ces différentes valeurs sur le pourcentage lipide du grain de fonio sont inférieures à celle obtenue par CRUZ (2001) qui atteste que la teneur en lipide du fonio est de 3,12%. Cette faiblesse du taux de lipide fait du fonio un aliment recommandé pour les personnes atteintes d'obésité ou de diabète. Les analyses sur la teneur en protéine ont montré la présence de 6,4% et 7,27% de protéines pour le fonio précuit et torréfié qui sont inférieures à 8,40% trouvée par CRUZ (2001); cependant, cette valeur est inférieure à la teneur trouvée dans le fonio étuvé (8,75%). Les teneurs en cendre obtenues sont supérieures (0,65% pour le fonio précuit et 0,7% pour le fonio étuvé) et égales (0,5% pour le fonio torréfié) aux résultats trouvés par KOUDOUGOU (2010) qui varient de 0,3 à 0,5%. L'humidité contenu dans les sous-produits se situe entre 3,57 à 6,87%. Cette fourchette est nettement inférieure par celle trouvée par KOUDOUGOU (2010) qui est incluse entre 9,9 à 10,5%. Le fonio torréfié contient une matière sèche de 97,56%. Cette valeur est supérieure à celle du fonio précuit qui est 93,28% et la plus petite valeur a été obtenu par le fonio étuvé (93,11%).

4.2 CARACTÉRISTIQUE MICROBIOLOGIQUE

Les résultats microbiologiques indiquent la présence de la flore mésophile totale et des coliformes totaux dans le fonio torréfié, le fonio étuvé et le fonio précuit. Ce résultat confirme en partie l'idée de BALLOGOU *et al.* (2012) qui soulignent avoir retrouvé de la flore totale, les coliformes totaux et fécaux dans la plupart des produits sauf dans le fonio torréfié qui était presque exempt de tous les microorganismes. Nos résultats montrent l'absence de la présence de levure et de moisissure dans tous les traitements du fonio. Cela corrobore également les résultats des travaux de BALLOGOU *et al.* (2012) qui stipulent que l'absence des microorganismes dans les produits pouvait être, d'une part due aux différentes opérations de nettoyage et de lavage aussi bien de la matière première (fonio paddy), aux traitements mécaniques (décorticage et blanchiment), aux traitements thermiques appliqués aux grains au cours du processus de production du fonio précuit, du fonio torréfié et du fonio étuvé et à la réduction de la teneur en eau des grains par séchage. La torréfaction étant une méthode de traitement à la chaleur sèche qui réduirait considérablement la teneur en eau des aliments, donc le risque de prolifération microbienne NOUT (1993). Ces valeurs sont inférieures aux normes définies par ISO 4832-2006.

4.3 CARACTÉRISTIQUE SENSORIELLE

Les caractéristiques sensorielles d'un aliment sont mesurées pour déterminer la préférence des consommateurs en vue d'orienter dans la fabrication d'un produit acceptable à économie de production maximale (GUPTA *et al.*, 2003). Les résultats ont révélé que le fonio étuvé était le plus préféré du point de vue goût et le fonio précuit a été plus apprécié par la plupart des dégustateurs du point de vue couleur. Ainsi, nos résultats sont similaires à ceux de (FLIEDEL *et al.*, 2004; DURY *et al.*, 2007; CRUZ *et al.*, 2011). L'étude des landraces de fonio met en évidence une variabilité sensorielle associée à la couleur, à la pureté visuelle et à la texture (SAGBADJA *et al.*, 2006).

5 CONCLUSION

Cette étude a mis en évidence l'effet des techniques de transformation sur les qualités biochimiques, microbiologiques et sensorielles du fonio. Les résultats obtenus montrent que le fonio étuvé présente une teneur élevée en protéines et en cendre, ainsi qu'une faible teneur en lipides. En revanche, le fonio précuit enregistre une teneur plus élevée en lipides. Quant au fonio torréfié, il a donné une teneur élevée en matière sèche et en glucides, comparativement aux autres techniques de transformation. L'analyse microbienne montre que le fonio torréfié contenait moins microorganismes analysés toutes fois il faut ajouter que toutes les trois techniques de traitements étudiés sont de qualité hygiénique satisfaisante. Du point de vue sensoriel, le fonio étuvé est le plus apprécié pour son goût, tandis que le fonio précuit est mieux noté pour sa couleur et son odeur. En somme, cette étude ouvre la voie à une meilleure valorisation en adoptant des techniques de transformation du fonio pouvant renforcer la compétitivité et l'attractivité de cette céréale sur les marchés locaux en Guinée.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements à USAID à travers son programme WINROCK INTERNATIONAL.

CONFLITS D'INTÉRÊTS

Les auteurs affirment qu'ils n'ont aucun conflit d'intérêts à déclarer.

REFERENCES

- [1] BALLOGOU, V. Y., SAGBO, F. S., SOUMANOU, M. M., TOUKOUROU, F., & HOUNHOUIGAN, J. D. (2012). Evaluation de la qualité de quelques produits dérivés de deux écotypes de fonio cultivés (*Digitaria exilis*) au Bénin. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)*, 72, 27-35.
- [2] BESANÇON S. (2000): Etude de l'influence de la consommation de fonio dans le traitement du diabète sucré au mali. Mémoire D.E.S.S. Université de Montpellier II (France). 95 p.
- [3] BOUTROLLE, I. (2007). Mesure de l'appréciation des aliments par les consommateurs: état des pratiques et propositions méthodologiques (Doctoral dissertation, AgroParisTech).
- [4] CRUZ, J.F. (2001). Le fonio. Département des Cultures Annuelles, Programme Cultures Alimentaires, CIRAD. 24 p.
- [5] CRUZ J. F. (2004). Fonio: à Small grain with potential. *Leisa* (magazine on low external input and sustainable agriculture. Valuing crop diversity).20 (1), 16-17.
- [6] CRUZ J. F., BEAVOGUI F., DRAME D. (2011) Le fonio, une céréale africaine. Collection: Agricultures tropicales en poche. Editions. Quæ / Cta / Presses agronomiques de Gembloux. Versailles, France. 175 p.
- [7] CRUZ J. F., RIVIER M. FRIEDEL G. (2009). Etude de l'étuvage du fonio et essais expérimentaux. In: Amélioration de la qualité et de la compétitivité de la filière fonio en Afrique de l'Ouest (J.-F. Cruz, ed.) [CD-Rom], Cirad, Montpellier. 32 p.
- [8] DURY S., MEURIOT V., FLIEDEL G., BLANCHER S., BORE GUINDO F., DRAMÉ D., BRICAS N., DIAKITE L., CRUZ J. F. (2007). The retail market prices of fonio reveal the demand for quality characteristics in Bamako, Mali. In: Pro-poor development in low income countries: food, agriculture, trade and environment, 106th Seminar of the European Association of Agricultural Economists (EAAE), octobre 2007, Montpellier, France, 15 p.
- [9] FLIEDEL G., OUATTARA M., GRABULOS J., DRAME D., CRUZ J. F. (2004). Effet du blanchiment mécanique sur la qualité technologique, culinaire et nutritionnelle du fonio, céréale d'Afrique de l'Ouest.
- [10] GEISSLER C. (2003). Politis and nutrition. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, eds.B.
- [11] DERIU A. G., VELA A. J. AND RONDA F. (2022). Techno-Functional and Gelling Properties of Acha (Fonio) (*Digitaria exilis* stapf) Flour: A Study of Its Potential as a New Gluten-Free Starch Source in Industrial Applications.
- [12] Flidel G., Koreissi Y., Guindo F. B., Dramé D., I. Brouwer and Ribeyre F. (2013). Sensory diversity of fonio landraces from West Africa. *African Journal of Biotechnology* Vol. 12 (15), pp. 1836-1844.
- [13] GUPTA K., JAIN V., JAIN S., DHAWAN K., TALWAR G. (2003). Analysis of Food. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, eds.B. Caballero, L. Trugo and P. Finglas.Academic Press, London, UK. pp. 213-222.
- [14] KOUDOUGOU K. (2010). Rapport d'activités, Analyses de la valeur nutritive des produits transformés par les unités de transformation soutenues par Afrique Vert.
- [15] KAYODÉ A.P.P., ADÉGBIDI A., LINNEMANN A. R., NOUT M. J. R., HOUNHOUIGAN J. D. (2005). Quality of farmers' varieties of sorghum and derived foods as perceived by consumers in Benin. *Ecology of Food and Nutrition*, 44, 271-294.
- [16] MOLNAR P.J., (2003). Qualité assurance and qualité control. In *Encyclopedia of Food Sciences: Quality assurance and quality control*. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, eds.B. Caballero, L. Trugo and P. Finglas.Academic Press, London, UK. pp. 4874-4879.

- [17] NOUT M. J. R., HOUNHOUIGAN J. D., VAN BOEKEL T. (2003). Les aliments, transformation conservation et qualité. Backhuys Publishers, Leiden, the Netherlands. pp. 279.
- [18] Nout, M.J.R., 1993: Processed weaning foods for tropical climates. International Journal of Food Sciences and Nutrition.
- [19] SAGBADJA A., H., DANSI A., VODOUHE R., AKPAGANA K. (2006). Indigenous knowledge and traditional conservation of Fonio millet (*Digitaria exilis* Stapf, *Digitaria iburua* Stapf) in Togo. Biodiversity and Conservation 15: 2379–2395.

Implication of low intensity rain spectra ($R \leq 1\text{mm/h}$) in the variability of Z-R relationship linked to the microphysical processes of precipitation: Size-controlled, number-controlled and mixed control of drops

Bakary Bamba, Augustin Kadjo Koffi, Brahim Kone, Modeste Kacou, Ibrahima Bamba, Eric-Pascal Zahiri, and Abé Delfin Ochou

Laboratoire des Sciences de la Matière, de l'Environnement et de l'Energie Solaire, Université Félix Houphouët-Boigny, UFR SSMT, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Understanding the necessary relationship between the radar reflectivity factor Z and the rain rate R is still important today and constitutes an interesting challenge for the scientific community. Despite this interest and the advances already obtained in this field, understanding the variability of this Z-R law is not yet trivial. This work therefore consists of studying the implication of rain spectra at low intensities $R \leq 1\text{mm/h}$ in this variability. Thus, from a large historical database of raindrop size distribution (DSD) acquired in tropical Africa, we have shown that rain spectra $R \leq 1\text{mm/h}$ lead to high values of the coefficients A and b of the Z-R power relationship. However, the variability of pre-factor A is pronounced in agreement with those of the N_T and D_0/N_T parameters of the DSD; while the exponent b remains quasi-constant in such rainy samples, independently of their percentage. Establishing the link between the observation parameters D_0 , N_T and D_0/N_T of the DSD and the pre-factor A of the Z-R relationship made it possible to arrive at close power relationships $D_0 - A$, $N_T - A$ and $D_0/N_T - A$ corresponding respectively to the microphysical modes « D_0 constant, N_T variable», « D_0 variable, N_T constant» and « D_0 variable, N_T variable». The last microphysical condition seems to be more suited to the power relationship $A - \alpha$ where α , is the pre-factor of the power relationship $D_0/N_T - R$ found in the literature.

KEYWORDS: Rain spectra, Low intensity $R \leq 1\text{mm/h}$, Raindrop Size Distribution (DSD), Tropical Africa, Z – R relationship Variability, observation parameters, microphysical modes.

1 INTRODUCTION

The objective of this work is to show the importance of raindrop size distributions (DSD) at low intensities ($R \leq 1\text{mm/h}$) in the variability of the relationship between the radar reflectivity factor Z and the rain rate R , frequently formulated by $Z = AR^b$ [1]; [2]. This Z-R relationship is essential for the scientific community because it makes it possible to convert measurements obtained by meteorological radar into rain rate, useful in many physical applications (hydrometeorology, telecommunications, etc...). But, it continues to be a preoccupation due to its great spatio-temporal variability. On this subject, the very recent work of [2] and [3] showed that this variability is not arbitrary but rather consistent. To demonstrate this, they used the median volume diameter D_0 and the total number of drops per unit volume of air N_T as the characteristic parameters of the observed DSD. These two parameters materializing the size of the drops and their number, constitute the result on the ground of the various microphysical processes (coalescence, fractionation, accretion, etc...) whose common seat is the atmosphere. Like [4], they showed the existence of three modes of variability of the DSD in precipitation and which seem to control the variability of the Z-R relationship. These are modes where the rain rate R depends solely on either the number of drops N_T , their diameter D_0 or their ratio D_0/N_T . Thus, on the basis of a large sample of entire rain events and/or subdivided into convective/stratiform part, the illustrative approach developed by [2] then [3] consisted of determining the functional relationship $D_0/N_T = \alpha R^\beta$ which, confronted with the relationship $Z = AR^b$ allowed them to develop the functional relationships $A - \alpha$ and $b - \beta$ to which they attributed a quasi-constant character and this, regardless of precipitating systems, climatic zones and the type of DSD measuring instrument.

Furthermore, observations always indicate the presence of high and low values of the coefficient A of the Z-R relationship in precipitation in relation to these microphysical modes [5]; [6]; [4]. To this end, it has been revealed in the literature that Z-R relationships are extremely sensitive to intensity classes [5]; [7]; [8]; [9]. For example, [9] showed that for a rainy sample, the high intensity values

($R > 10 \text{ mm/h}$), representative of convective situations, contribute to significantly reducing the pre-factor A of the Z-R relationship and raising the exponent b compared to the overall sample. On the other hand, low intensities ($R \leq 1 \text{ mm/h}$), representative of stratiform situations, contribute to significantly increasing the values of coefficients A and b. In order to explain the origin of the large values of pre-factor A obtained in the so-called stratiform and transition portions of their studied squall line, [9] showed that a rainy sample whose intensities hardly exceed 10 mm/h ($R \leq 10 \text{ mm/h}$) and having a percentage of spectra $R \leq 3 \text{ mm/h}$ greater than 80% generally leads to high values of the pre-factor A. Such behavior of the pre-factor A with respect to the rain intensity ranges R would find an explanation in the very nature of the relationship $Z = AR^b$ sought. Indeed, the linear relationship linking Z to R on a log-log scale is such that:

$$Z_{dB} = A_{dB} + bR_{dB} \quad (1)$$

where if X designates Z, R or A, we have: $X_{dB} = 10 \log X$. In this relationship, the values of $R \leq 1 \text{ mm/h}$ are such that $R_{dB} < 0$ and contribute to increasing A_{dB} , that is to say A, for a given value of b, when those of $R > 1 \text{ mm/h}$ such that $R_{dB} > 0$ produce the opposite effect. Such results suggest that there is a link between this increase or decrease in the value of pre-factor A and the percentage of these two intensity classes ($R \leq 1 \text{ mm/h}$ and $R > 1 \text{ mm/h}$) in the overall sample studied. The present study, devoted mainly to DSDs at low intensities ($R \leq 1 \text{ mm/h}$), contributes to providing a solid basis for their real impact in the microphysical interpretation of the variability of the Z-R power law coefficients, in particular that of the pre-factor A, given that the exponent b remains quasi-constant in a climatic zone. Indeed, it emerges from the work of [10] that $R \leq 1 \text{ mm/h}$ spectra have a no less important contribution in a global sample.

In this work, the description of the database as well as the brief presentation of the observation sites will be the subject of section 2. This section also presents the method used for sampling individual spectra from a rainfall event. Section 3 displays the main results of this paper, among other things, the sensitivity of the DSD parameters to rain spectra at low intensities $R \leq 1 \text{ mm/h}$ and, the microphysical interpretation of the variability of the coefficients of the Z-R relationship in relation to the percentage of such rain spectra. A discussion is also conducted in the said section. The conclusion of this study is summarized in section 4.

2 METHODOLOGY

2.1 DATABASE

The DSD data selected for our analysis were collected using the first modern instrument, the RD-69 disdrometer developed by [11]. It was installed during individual DSD measurement campaigns on four study sites; namely Abidjan (Guinean coastal site), Boyélé (equatorial continental site), Dakar (Sahelian coastal site) and Niamey (Sahelian continental site). Its operating principle is based on the conversion of the momentum of the drops into an electrical impulse. In fact, depending on the amplitude of their impacts on the horizontal surface (50 cm^2) of the sensor, the raindrops received each minute are distributed according to their size in 25 channels covering the diameter range between 0.3 and 5.1 mm, in constant steps of 0.2 mm. Under these conditions, this instrument integrates very poorly small drops, i.e. those with diameters less than 0.3 mm. Also, it has been recognized in the work of [12] that during intense precipitation, small drops with a diameter of less than 1.5 mm are underestimated, due to environmental noise. Fortunately, [13] and [7] were able to find arguments to correct this anomaly. They showed that under optimal conditions of use of the RD-69 disdrometer, the number of small drops always remains low in tropical precipitation. In other words, small drops have a negligible contribution compared to the total number of drops detected. In this respect, their inclusion or not in the processing of the acquired data has less impact on the quality of the results obtained. Details on the limitations of the RD-69 disdrometer are beyond the scope of this study. They have been well developed and discussed in many previous works [14]; [15]; [13]; [7]; [16]. A total of 412 rainfall events of distinct natures (Thunderstorms, Squall lines and Stratiform rains) were sampled using this instrument, corresponding to 50412 minute spectra (or DSDs) or 840h12min and a cumulative rainfall of 4505 mm.

The technique for identifying precipitating systems is based on the hyetogram of the rainfall event observed on the ground by the disdrometer as done by [9] and [2]. Their structures and morphologies have been well documented by many authors [9]; [16]; [17]; among many others.

Furthermore, disdrometers are very effective for measuring rainfall spectra at low intensities $R \leq 1 \text{ mmh}^{-1}$ [18]; [10]. As indicated in the introduction, such spectra, which are the subject of this work, are important for an accurate estimation of mean rainfall by radar remote sensing through the Z-R relationship.

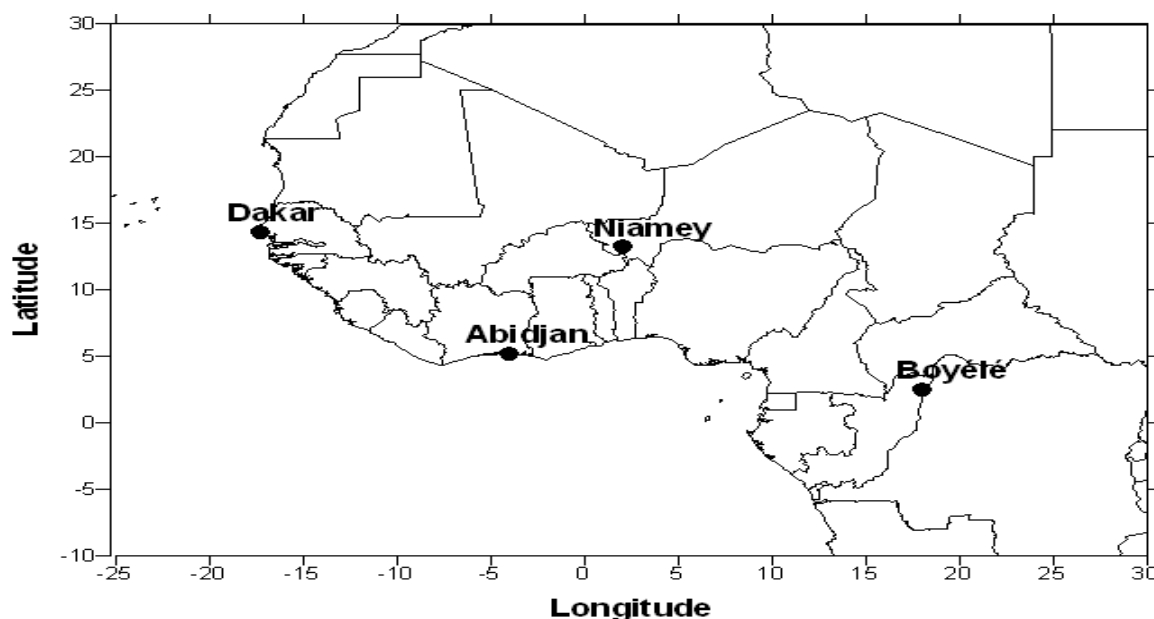


Fig. 1. Geographical location of the different cities (in black dots) where the measurement of the raindrop size distribution (DSD) was observed using a JW-RD 69 mechanical impact disdrometer

Figure 1 shows the locations of the instruments; and Table 1 presents the essential characteristics of this database. Such a database, although not acquired simultaneously at the different sites, constitutes the guarantee of a good statistical study on the implication of the spectra of low-intensity rains $R \leq 1 \text{ mmh}^{-1}$ in the variability of the Z-R relationship in relation to the modes of variability of the DSD.

Table 1. Description of the database. SL (Squall Lines), ALL (whole rainy events)

Location	coordinates	Observing period	Events number/1 min. Spectra number			
			SL	Thunderstorm	Stratiform	ALL
Abidjan (Côte d'Ivoire)	5°25N-4°W	1986 (Jun., Sept.-Dec.)	05/681	15/1098	02/179	22/1958
		1987 (Feb.-Dec.)	20/2633	82/5198	17/2006	119/9837
		1988 (Feb.-Jun.)	10/2000	26/1748	05/548	41/4296
		1986-1987-1988	35/5314	123/8044	24/2733	182/16091
Boyele (Congo)	2°50N-18°04E	1988 (May-Jul., Sept.-Dec)	25/5525	25/1434	11/1717	61/8676
		1989 (Mar.-Jun.)	10/2243	19/2530	6/644	35/5417
		1988-1989	35/7768	44/3964	17/2361	96/14093
Niamey (Niger)	13°30N-2°10E	1989 (Jul.-Sept.)	09/1379	13/1328	01/55	23/2762
		1991 (Aug.)	03/357	02/94	02/146	07/597
		1989-1991	12/1736	15/1422	03/201	30/3359
Dakar (Senegal)	14°34N-17°29W	1997 (Jul.-Oct.)	04/699	12/1795	03/466	19/2960
		1998 (Jul.-Sept.)	11/2581	16/1921	02/136	29/4638
		1999 (Jul.-Sept.)	08/1839	13/1972	03/591	24/4402
		2000 (Jul.-Oct.)	14/2247	11/1470	07/1152	32/4869
		1997-2000	37/7366	52/7158	15/2345	104/16869
					TOTAL	412/50412

2.2 METHOD OF SAMPLING EVENT SPECTRA

2.2.1 DEFINITION

Several methods have been proposed in the literature to sample event spectra. Some eloquent examples are the recent methods proposed by [19] and [20]. For the former, their method consisted in sorting the rain spectra according to whether they were convective or stratiform and for the latter, it is based on the stratification of storm spectra by increasing time steps with the minimum size of

granulometric spectra considered equal to 5 minutes. In this study, we also propose to introduce a new technique for sampling event spectra, independently of their nature (convective/stratiform) and their origin (continental/maritime) which is defined as follows:

If n ($n \geq 10$) denotes the total number of chronological minute spectra of a given rain event, and $k = 10$ minutes, the reason for the numerical series thus defined, the total number of terms in this series is therefore $n-k+1$. Under these conditions, if i is the first minute spectrum of a term then $i+k-1$ is the last.

Thus, for each term of the series, we calculate the main integrated precipitation parameters, including the radar reflectivity factor Z and the rain intensity R , then by power regression, we determine the values of the coefficients A and b . Also, for each term, we calculate the proportion (or percentage) of low intensity rain spectra ($R \leq 1 \text{ mm/h}$). This method is applied to all 412 events in our database. The details of the calculation of Z and R knowing the DSD, as well as the other integrated precipitation parameters such as the median volume diameter D_0 and the total number of drops per unit volume of air N_T used in this work are generally calculated from the following theoretical formulas:

$$Z = \int_0^{+\infty} D^6 N(D) dD \quad (2)$$

$$R = 6\pi 10^{-4} \int_0^{+\infty} D^3 N(D) v(D) dD \quad (3)$$

$$\int_0^{D_0} D^3 N(D) dD = \int_{D_0}^{+\infty} D^3 N(D) dD \quad (4)$$

$$N_T = \int_0^{+\infty} N(D) dD \quad (5)$$

where $v(D)$ is the limiting falling velocity of raindrops of diameter D and, $N(D)$ representing the DSD, denotes the number of drops per unit volume and per diameter interval.

Furthermore, this technique of sampling event spectra is called in this work, the “DSD sliding window” method. Figure 2 shows us an application of this method on a simulated rain event (represented here by a matrix with one row and n columns designating the chronological minute spectra of the event), with presentation of the first two terms of the series called “sliding series”. We note that one of the particularities of this method lies in the fact that at each sliding of the window, the i th spectrum is automatically substituted by the $(i+k)$ th spectrum; thus allowing to keep constant the width of the sliding window. This fact makes it possible to appreciate the importance of a minute spectrum in a given sample and consequently the impact that its substitution can generate on the state of the previous system assumed to be its initial state.

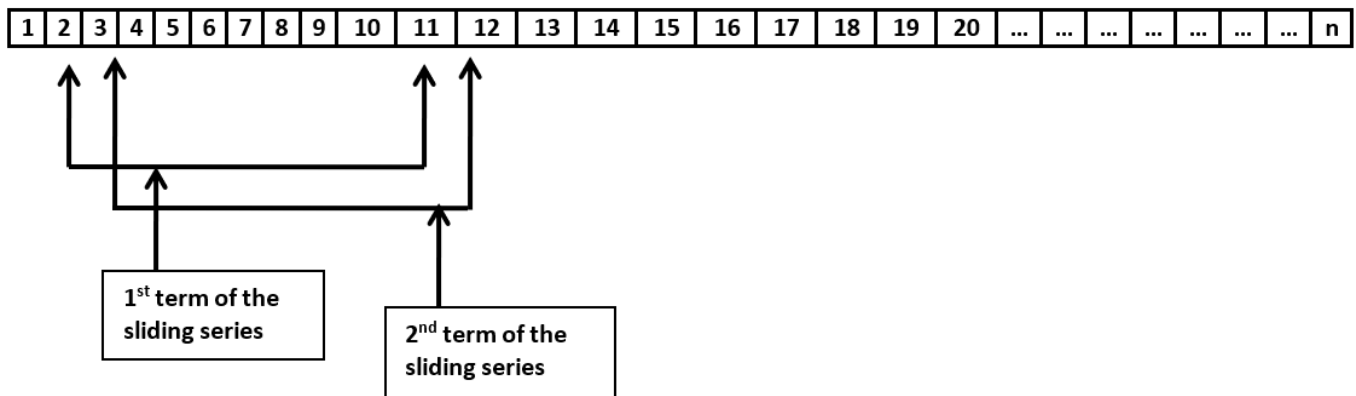


Fig. 2. Simplified diagram of the sliding window DSD method, with presentation of the first two terms of the series. The DSD window has a width of 10 minutes and slides in 1-minute increments until the last spectrum n of the rain event considered is recovered

It should also be remembered that this method makes it possible to increase the range of values of the integrated parameters of the DSD, as well as the coefficients A and b of the Z-R power law for a given rain event when the width of the sliding window is less than the size of said event as is the case in this paper.

2.2.2 APPLICATION

To assess the relevance of our method for sampling event spectra, we focused on analyzing the values of the coefficients A and b as a function of the sliding series number. For this, we used as an example a stratiform rain observed on May 29, 1987 in Abidjan on which we applied our method with a window width of 10 minutes. This width can vary from 10 minutes to the entire event. However, a smaller width would reduce the number of spectra in the window and therefore obscure some information. In this regard, [21] proved that the calculation of the DSD parameters is very sensitive to the sample size, especially when it is small. Indeed, for each window displacement, the coefficients A and b of the Z-R relationship are calculated by the least squares method as well as the correlation coefficients r . Figures 3a, b,c show respectively the hyetogram of the rain event considered, and the evolutions as a function of the series number, of the different parameters cited above (A , b and r). The analysis of figure 3c clearly justifies that the correlation coefficient r is not a function of the position of the sliding window considered for the determination of the Z-R relationship. Indeed, we observe acceptable correlation values at the beginning, middle and end of the sliding series of minute spectra of the event. Similarly, the analysis of Figure 3b shows remarkably that the values of coefficients A and b do not seem to be related to the considered position of this sliding window. However, strong and weak values of coefficients A and b are observed independently of the sliding window considered. Such results suggest that the current values of A (or b) depend on the percentage (or ratio) of rain spectra $R \leq 1\text{mm/h}$ contained in the window if we refer to equation (1). A similar study was done by [9] and [20]. It follows from their different works that the values of coefficients A and b are not an increasing function of the number of minute spectra considered in the rain samples. All these observations show that the obtained Z-R relationships depend more on the microphysical processes translated by the size, the number of drops and the combination of the two as proposed by [4]; [2] and [3] than on the sampling method of the spectra. Thus, this dependence of the Z-R power law with the DSD will be related to the weight of the spectra at low intensities ($R \leq 1\text{mm/h}$) in this paper. Then, the analysis of equation (1) reveals that the pre-factor A varies globally in an inverse direction with the rain intensity R , thus suggesting that a high proportion (or percentage) of low-intensity rain spectra in a global sample would contribute to increasing the value of A . This suggestion will be confirmed or refuted in the section dealing with the results and discussion. Furthermore, since this study is carried out independently of the intrinsic form of the DSD (exponential, gamma or lognormal), it can therefore be used to understand the variability of the Z-R relationship at other latitudes.

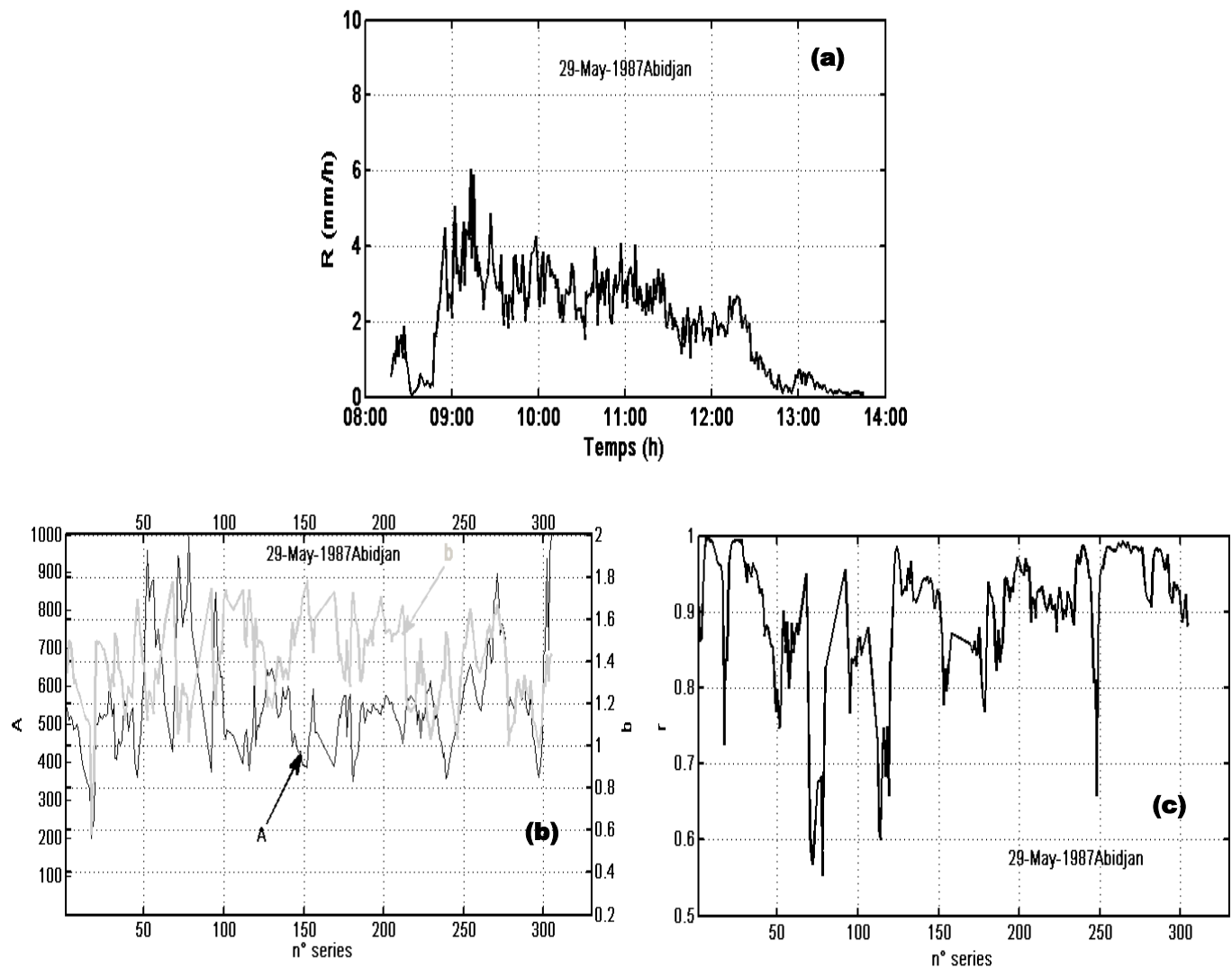


Fig. 3. Example of application of the DSD method with a sliding window of width 10 minutes on the stratiform rain event of May 29, 1987 observed in Abidjan. (a) hyetogram of the rain event, (b) variability of the coefficients A and b of the Z-R power relationship as a function of the position of the sliding window (or series) (the number of DSDs in a series is fixed at 10 minutes) and, (c) current values of the correlation coefficient r of the Z-R relationship

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 SENSITIVITY OF DSD PARAMETERS TO LOW INTENSITY RAIN SPECTRA $R \leq 1 \text{ mm/h}$: IMPACT ON THE Z-R RELATIONSHIP

To conduct this study on the sensitivity of DSDs to low intensity rain spectra ($R \leq 1 \text{ mm/h}$), two methods were adopted. The first is based on the stratification of spectra according to 10 classes of low intensity $R \leq 1 \text{ mm/h}$ and the second, on their percentage. For the latter, 10 classes of percentage are also proposed. Table 2 presents these different classes of low intensity $R \leq 1 \text{ mm/h}$ and percentage thus considered. The importance of these classes lies in the fact that they can represent different types of rain $R \leq 1 \text{ mm/h}$ ranked on the one hand, from very low to low intensity $R \leq 1 \text{ mm/h}$ and on the other hand, from low to high proportions of spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$. After that, we calculated for each type of process and for each of the defined classes, the characteristic parameters of the DSD (size, number of drops and combination of the two) as well as the coefficients A and b of the Z-R power law. Since the study is carried out independently of the analytical form of the DSD, the drop size and number parameters used are respectively the median volume diameter D_0 and the total number of drops per unit volume of air N_T . Given that it has been revealed in many works that the variability of the Z-R relationship is more linked to the simultaneous variations of the number and diameter of drops in precipitation than to their variations taken individually [4]; [2]; [3], we therefore considered the D_0/N_T parameter as a third parameter like [2] and [3]. The advantage of subdividing the rainfall rates $R \leq 1 \text{ mm/h}$ into different intensity classes and percentage is that it could help us capture with less uncertainty the potential information on the characteristics of DSDs, as well as their influences on the Z-R relationship.

Table 2. Different classes of rain rate R and percentage P of the $R \leq 1 \text{ mm/h}$ rain spectra

Class name	Low intensity classes of the $R \leq 1 \text{ mm/h}$ rain spectra	Class name	Percentage classes of the $R \leq 1 \text{ mm/h}$ rain spectra (%)
R_1	$R < 0.1$	P_1	$0 \leq P < 10$
R_2	$0.1 \leq R < 0.2$	P_2	$10 \leq P < 20$
R_3	$0.2 \leq R < 0.3$	P_3	$20 \leq P < 30$
R_4	$0.3 \leq R < 0.4$	P_4	$30 \leq P < 40$
R_5	$0.4 \leq R < 0.5$	P_5	$40 \leq P < 50$
R_6	$0.5 \leq R < 0.6$	P_6	$50 \leq P < 60$
R_7	$0.6 \leq R < 0.7$	P_7	$60 \leq P < 70$
R_8	$0.7 \leq R < 0.8$	P_8	$70 \leq P < 80$
R_9	$0.8 \leq R < 0.9$	P_9	$80 \leq P < 90$
R_{10}	$0.9 \leq R \leq 1$	P_{10}	$90 \leq P \leq 100$

Thus, to highlight the importance of low-intensity rain spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$ in the variability of the Z-R relationship, we were initially interested in their proportion in all the detected event spectra as we indicated above. Thus, if P denotes their percentage in the rain sample, the operation consists of establishing a functional relationship between the DSD observation parameters (D_0 , N_T and D_0/N_T) and this variable P . Under these conditions, the results obtained are presented in Figures 4a, b, c respectively for the $D_0 - P$, $N_T - P$ and $D_0/N_T - P$ relationships. The functional relationships and the corresponding correlation coefficients are indicated in the figures.

The analysis of the variation profiles of the three DSD parameters studied as a function of the percentage of rain spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$ shows diverse situations. It can be noted that the median volume diameter D_0 and the total number of drops per unit of air volume N_T evolve in accordance with a decreasing power law with the percentage P unlike the ratio D_0/N_T which varies in the opposite direction. The correlation coefficients greater than 0.70 show that the three DSD parameters are well correlated with the percentage P of rain spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$. In other words, by first looking at D_0 (see Figure 4a), we notice that it decreases very slowly when the percentage increases and this is justified by a very low slope. This state of affairs is materialized by the functional relationship $D_0 = 2.2P^{-0.11}$. It is also noted that the average drop diameter rarely exceeds 2.0 mm in low intensity rain spectra. This result therefore shows that the rain spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$ observed in tropical regions of Africa are rich in small drops and are, like the other spectra ($R > 1 \text{ mm/h}$), representative of the theoretical gamma or lognormal forms.

Concerning the N_T parameter (see Figure 4b), its decrease with the percentage P is notable and rapid compared to D_0 . The characteristic equation that justifies this relationship is given by $N_T = 634P^{-0.52}$. This result shows that the high values of the average number of drops N_T observed in tropical precipitation are linked to a low ratio of rain spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$ contained in the global sample.

As for the D_0/N_T parameter, its growth occurs rapidly with the percentage P like the number of drops N_T and this is justified by identical slopes (see Figure 4c). This variation profile is translated by the function $D_0/N_T = 0.004P^{0.52}$. This result clearly justifies that the low average values of the D_0/N_T parameter observed by [2] in the convective spectra of squall line type events are due to low values of percentage P of the spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$ contained in such rain samples. For example, to verify this, we were interested in the squall line of August 7, 1998 observed in Dakar where, for a low value of percentage of spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$ ($P = 6\%$) in the convective region, the average value of D_0/N_T obtained is also low ($D_0/N_T = 0.04 \text{ mm.m}^3$). On the other hand, that obtained for the stratiform spectra of the same event is strong ($D_0/N_T = 0.11 \text{ mm.m}^3$) corresponding to a higher percentage ($P = 50\%$).

To verify whether this variability of the DSD with the percentage P of the spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$ influences the Z-R power relationship, we have presented through figures 4d, 4e respectively, the evolution profile of the coefficients A and b of the Z-R law as a function of the percentage P of the spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$. The values of the said coefficients relative to the different classes of percentage P thus defined are listed in table 3. As we can see, the analysis of these values shows that they are strong (or high) in the domain of low intensities and this, independently of the defined percentage classes. We note from the analysis of figure 4e that the exponent b is quasi-constant and close to the value 1.39 because the slope of the line is almost zero. On the other hand, through Figure 4d, we notice that the multiplicative factor A increases very slowly with the percentage P of the spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$ following the power law $A = 261P^{0.11}$. However, this growth becomes notable when the sample contains more than 80% of spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$. Therefore, it results by comparison that the variations of the physical parameter D_0/N_T as a function of the percentage P of the spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$ contained in the samples of tropical rains are similar to those of the coefficient A . These observations are similar to those found in the recent works of [2] and [3].

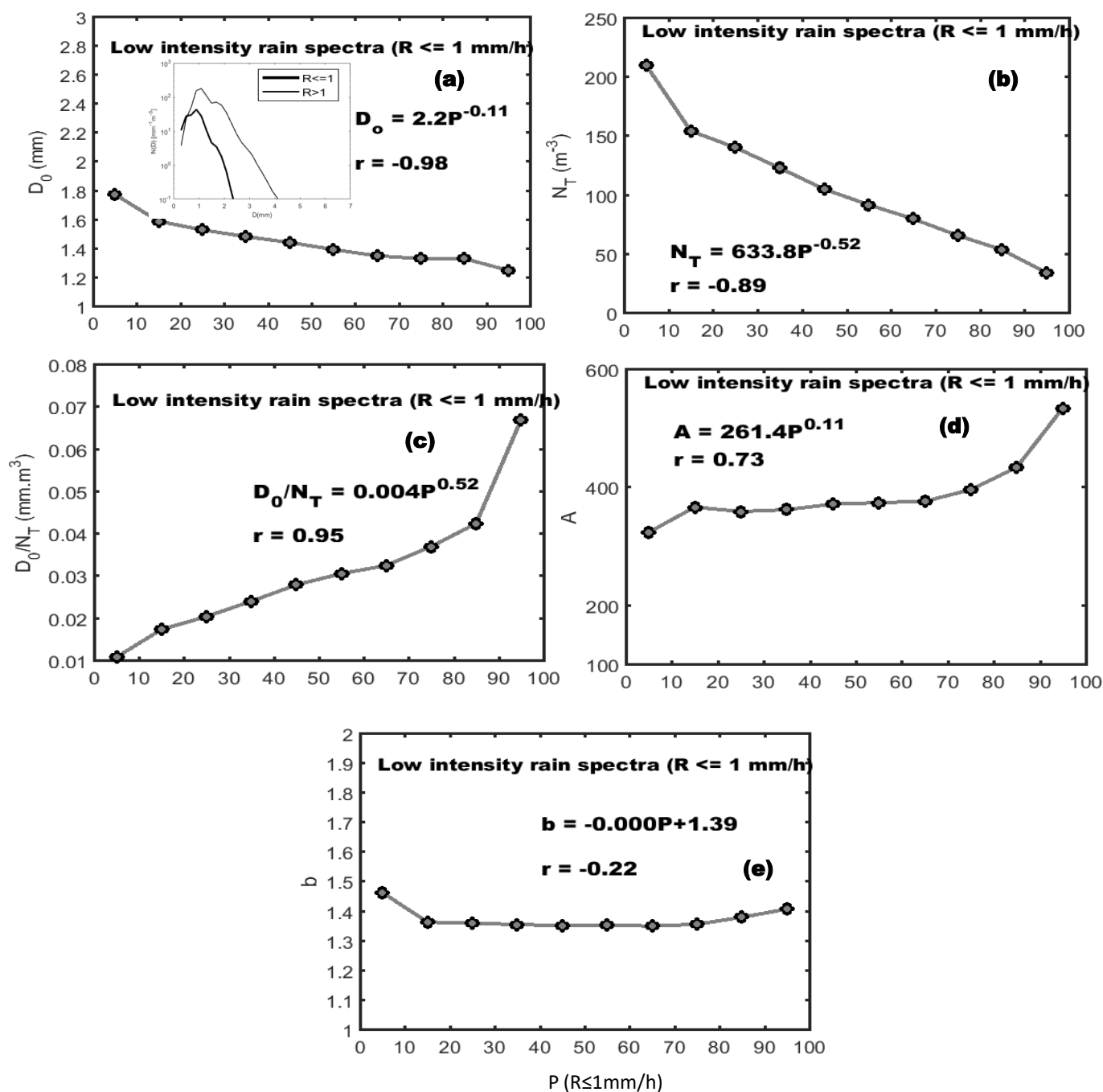


Fig. 4. Functional relationships between DSD parameters (D_0 , N_T and D_0/N_T) and the percentage P of low intensity rain spectra ($R \leq 1 \text{ mm/h}$): Impact on $Z=AR^b$ relationships

Table 3. Z-R relationships for different percentage classes of low intensity rain spectra ($R \leq 1 \text{ mm/h}$)

Z-R relationships		Percentage classes of low intensity rain spectra ($R \leq 1 \text{ mm/h}$)									
		P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
$Z=AR^b$	A	325	367	360	363	372	375	377	397	435	535
	b	1.46	1.36	1.36	1.35	1.35	1.35	1.35	1.36	1.38	1.41

To highlight in another way the importance of low-intensity DSDs in the variability of the Z-R relationship, we were interested in determining the relationships between the integrated parameters of the DSD (D_0 , N_T and D_0/N_T) and the rain intensity $R \leq 1 \text{ mm/h}$. Figures 5a, b, c present the variation profiles of the three observation parameters of the DSD (D_0 , N_T and D_0/N_T) as a function of the rain intensities

$R \leq 1 \text{ mm/h}$. The functional relationships and the corresponding correlation coefficients are marked on the same figures. Their analysis shows that the median volume diameter D_0 and the total number of drops per unit volume of air N_T are increasing power functions of the intensities $R \leq 1 \text{ mm/h}$ unlike the D_0/N_T ratio which evolves according to a decreasing power law with strong correlations for the three cases. In other words, by first looking at D_0 (see Figure 5a), we notice that it increases when the low intensities increase. However, this growth is slow and less accentuated with regard to a very low slope. This behavior is in good agreement with those found by other authors [19]; [22]; [10]. Also, it can be observed in this figure that D_0 tends towards an equilibrium distribution in the range of intensities close to $R = 1 \text{ mm/h}$; and this can be illustrated by the quasi-constant character of the $D_0 - R$ curve in the vicinity of these so-called low intensities. Such a shape of the curve is typical of what is called the equilibrium distribution where the collision-coalescence processes are exactly balanced with the fractionation of the drops [23]; [24]; [25]; [26]; [27]. In other words, this equilibrium distribution shows that the microphysical mode where the variability of the DSD is controlled only by the number of drops [4] exists in low intensity rain samples. The analysis of Figure 5a also shows that the average diameter of the drops hardly exceeds 2.0 mm in the spectra of rain at low intensities as we observed above in the calculation of the functional relationship $D_0 - P$. As already indicated above, this result also confirms that the rain spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$ are rich in small drops as has been found elsewhere by a number of researchers [7]; [9]; [28]; [29]. For example, [9] showed that in the transition region (with $R \leq 1 \text{ mm/h}$) of the continental squall line of February 22, 1998 observed in Darwin (Australia), the DSD was characterized by small drops ($D_0 \approx 1 \text{ mm}$). On the other hand, [10] managed to find in temperate precipitation, drops whose diameters can reach 3 mm for the same types of intensity regimes but, they specified that such situations are almost non-existent in tropical precipitation.

Concerning N_T (see Figure 5b), its increase with low intensities is accentuated and rapid compared to D_0 because its slope is higher. This result is in line with those obtained by [22]. Also, we note that N_T is almost constant in the range of low intensities close to $R = 1 \text{ mm/h}$. This fact clearly justifies that the microphysical mode where the rain rate depends only on the diameter of the drops (see [4]) can be observed in such rain samples. Furthermore, as observed in other latitudes by [9] and [10], the average number of drops is relatively high in our sample of rain spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$, with a large range of N_T values (20 – 70 m^{-3}) compared to D_0 .

For the D_0/N_T parameter, its decrease is moderate with low intensities $R \leq 1 \text{ mm/h}$ (see Figure 5c). Without classifying DSDs according to the rainfall intensity regimes R as we did here, [2] found the same result for different types of rain samples (global, convective and stratiform). For all classes $R \leq 1 \text{ mm/h}$, the D_0/N_T values are relatively strong or moderate. It can be observed in the same figure that in the vicinity of $R = 1 \text{ mm/h}$, the D_0/N_T ratio is almost constant, thus suggesting that the microphysical mode where the variability of the rain rate is linked to the simultaneous variations of the diameter and number of drops also exists in tropical rainfall at low intensities. To this end, [2] showed that the majority of precipitation observed in tropical Africa is the result of this process and that the first two modes mentioned above are very rare. [4] found similar results from a theoretical study. These different studies agreed that the high variability of the Z-R relationship from one precipitation to another or within the same precipitation is due to this process.

To verify this in the specific case of low intensity precipitation studied here, we present through Figures 5d, e respectively, the behavior of the coefficients A and b of the Z-R power law as a function of the intensities $R \leq 1 \text{ mm/h}$. This exercise will allow us to appreciate the real impact of the sensitivity of the DSD to low intensities on the variability of the Z-R relationships. The values of the said coefficients (A and b) corresponding to the different classes of low intensities thus defined are listed in Table 4. It follows from these results (Figures 5d, e and Table 4) that the values of the coefficients A and b are high in the domain of low intensities and this, independently of the defined classes. However, the highest values are observed in the classes with very low intensities, notably R1 and R2. Also, if the exponent b remains almost constant ($b \approx 1.39$), the multiplicative factor A decreases very slowly with intensities $R \leq 1 \text{ mm/h}$ following the power law $A = 422R^{-0.15}$. As can be seen, the changes in D_0/N_T and A with low intensities are in agreement. This fact shows that the variations in the multiplicative factor A of the Z-R law in low-intensity precipitation are more due to the D_0/N_T ratio than to the D_0 and N_T parameters taken individually. This is therefore reminiscent of the above-mentioned observations of [4] and [2].

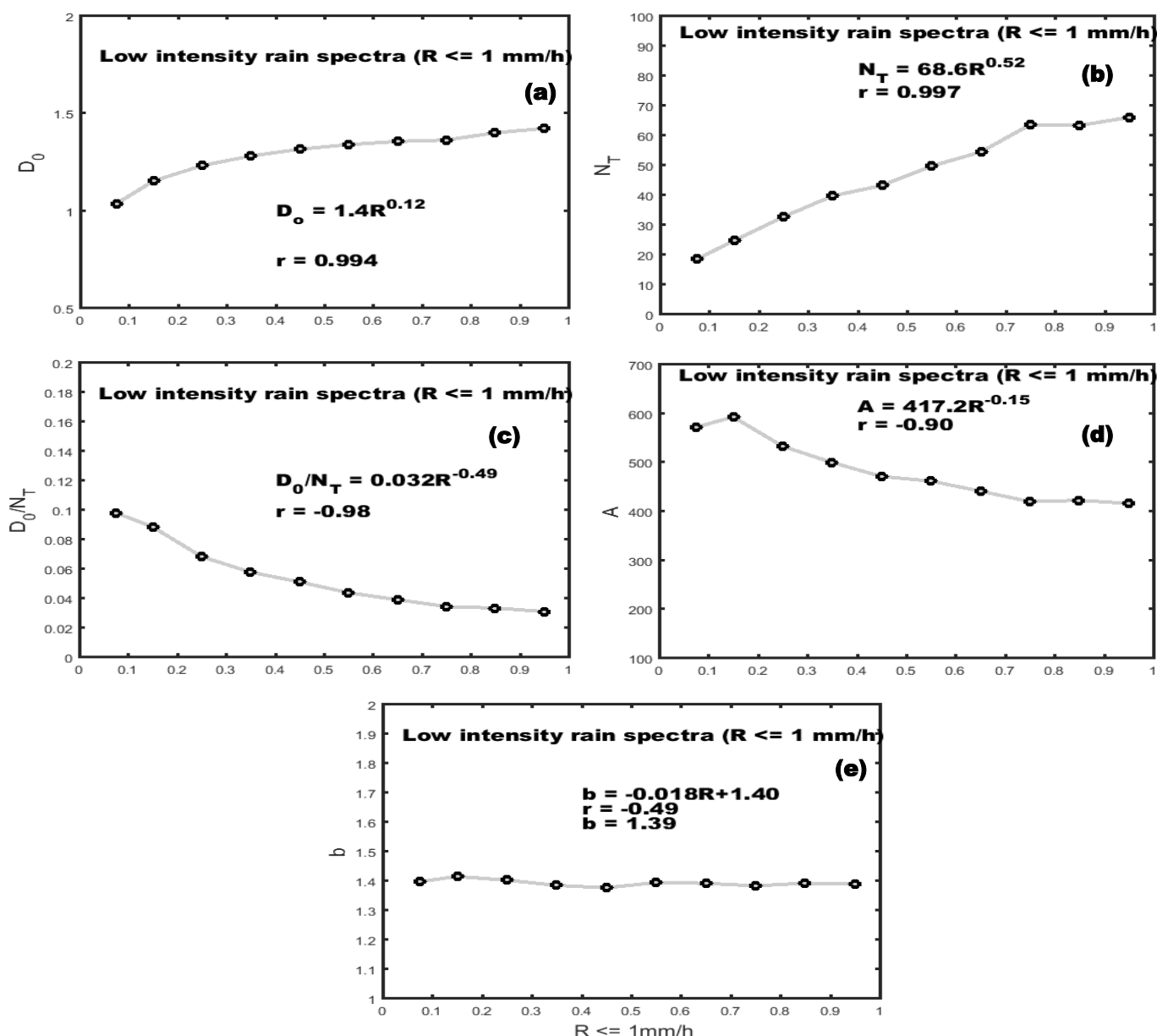


Fig. 5. Functional relationships between DSD parameters (D_0 , N_T and D_0/N_T) and intensity R of low-intensity rain spectra ($R \leq 1 \text{ mm/h}$): Impact on $Z=AR^b$ relationships

Table 4. Z-R relationships for different classes of low intensity rain spectra ($R \leq 1 \text{ mm/h}$)

Z-R relationships		Low intensity classes of the $R \leq 1 \text{ mm/h}$ rain spectra									
		R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}
$Z=AR^b$	A	585	591	539	501	469	461	442	429	433	425
	b	1.40	1.42	1.40	1.39	1.38	1.39	1.39	1.38	1.39	1.39

This study clearly shows that if the low intensity rain spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$ are predominant in the rain sample, this favors a rapid increase in the values of the coefficients of the Z-R relationship (with a high and quasi-constant exponent b). Otherwise, the pre-factor A will undergo a rapid decrease under the weight of the $R > 1 \text{ mm/h}$ spectra. This is why we note that certain stratiform parts of the squall lines, although characterized by a high proportion of $R > 1 \text{ mm/h}$ spectra, cannot favor an increase in A_s and cause it to be greater than A_c ($A_s < A_c$: [7]; [8]; [30]. On the other hand, other stratiform parts can be characterized by a significant proportion of $R \leq 1 \text{ mm/h}$ spectra contributing to considerably increase A_s such that it is greater than A_c ($A_s > A_c$: [31]; [9]; [10]. For the rest of this work, the link between the variability of the Z-R relationship and the percentage of $R \leq 1 \text{ mm/h}$ spectra in relation to the modes of variability of the DSD (or microphysical processes), will only concern the pre-factor A in view of the quasi-constant character of the exponent b in such samples.

3.2 MICROPHYSICAL INTERPRETATION OF THE VARIABILITY OF THE Z-R RELATIONSHIP IN RELATION TO THE PROPORTION OF SPECTRA $R \leq 1 \text{ mm/h}$

In the work of [32], it was highlighted that the very fine-scale variability of the DSD has a very significant impact on radar rain estimation algorithms through the Z-R relationship. Thus, in this section, we set ourselves the objective of establishing for each of the ten ratio samples defined previously, analytical relationships between the DSD observation parameters (size, number of drops and combination of the two) and the coefficient A of the Z-R law as done theoretically by [4]. This operation will make it possible to assess the impact of the ratio of the spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$ on the said empirical relationships, and will therefore constitute a means for a microphysical interpretation of the variability of the pre-factor A of this Z-R power law. The median volume diameter D_0 and the total number of drops per unit volume of air N_T , capable of capturing all the microphysical information of the rain, are the observation parameters of size and number of drops always retained to conduct this study.

3.2.1 1ST SPECIAL MICROPHYSICAL CONDITION: $D_0 - A$ RELATIONS

Some authors have succeeded in analytically establishing the relationship between the drop size and the coefficient A of the Z-R power law, based on numerous theoretical considerations [4]. For example, for a gamma distribution, these authors have shown that if the variations of the multiplicative factor A are solely due to the number of drops (N_T in the case of the work of [4]), then the functional relationship between the average mass diameter D_m and the pre-factor A is of increasing power form, with an exponent b equal to unity. From then on, the Z-R relationship becomes linear.

In this work, we repeat the same exercise. However, we do it independently of the analytical form of the DSD. This amounts to considering the median volume diameter D_0 as the observation parameter of the drop size instead of the theoretical gamma parameter D_m . Thus, the functional relationship $D_0 - A$ that we found for each of our ten samples of percentage of spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$, also obeys an increasing power law as follows:

$$D_0 = d_1 A^{d_2} \text{ with } d_2 > 0 \quad (6)$$

where d_1 and d_2 are the coefficients of the $D_0 - A$ law. They are determined for each sample by simple power regression of D_0 on A. Figure 6a shows the $D_0 - A$ regression curves of all the ratio samples considered. The different values of the coefficients d_1 and d_2 of equation 6, as well as the corresponding correlation coefficients r are listed in Table 5.

Table 5. Multiplicative factors and exponents of the functional relationships between the median volume diameter D_0 of the DSD and the pre-factor A of the Z-R power law as well as the associated correlation coefficients. The results are presented for different percentage classes of low intensity rain spectra ($R \leq 1 \text{ mm/h}$)

Samples types	$D_0 = d_1 A^{d_2}$		
	d_1	d_2	r
P(0 – 10)	1.063	0.089	0.31
P(10 – 20)	0.206	0.349	0.81
P(20 – 30)	0.166	0.381	0.85
P(30 – 40)	0.142	0.402	0.89
P(40 – 50)	0.133	0.406	0.92
P(50 – 60)	0.127	0.409	0.95
P(60 – 70)	0.124	0.407	0.95
P(70 – 80)	0.131	0.392	0.93
P(80 – 90)	0.150	0.364	0.90
P(90 – 100)	0.275	0.244	0.67

It should be noted from this table that the power relationships $D_0 - A$ relating to all the ratio classes considered are very well established with regard to the high correlation coefficients. On the other hand, as can be seen, the power relationship $D_0 - A$ relating to the low intensity rain spectra P (0 – 10) (i.e. those with a percentage lower than 10%) is poorly established. This could probably be justified by a sampling or measurement problem [6]. However, we can generally note that the classification of spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$ according to their percentage contributes enormously to making the power relationship $D_0 - A$ consistent. To this end, the analysis of Figure 6a shows remarkably well that the median volume diameter D_0 increases monotonically with the pre-factor A and this, for all the percentage samples considered. We also note that the slope of the fitting curve increases when the percentage decreases. In other words, D_0 increases rapidly as a function of A when the percentage of spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$ decreases sharply in the rainy sample. Under these conditions, a given value of the pre-factor A can be due either to large drops in spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$ at low percentage, or to small drops in spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$ at high percentage. Such a result suggests that low spectra percentage $R \leq 1 \text{ mm/h}$ are the catalysts for the large drops

we observe in tropical precipitation. In contrast, high spectra percentage $R \leq 1 \text{ mm/h}$ tend to generate small drops. This suggests that a good knowledge of the percentage of low-intensity rain spectra ($R \leq 1 \text{ mm/h}$) in any distribution allows us to predict the average size of the measured drops.

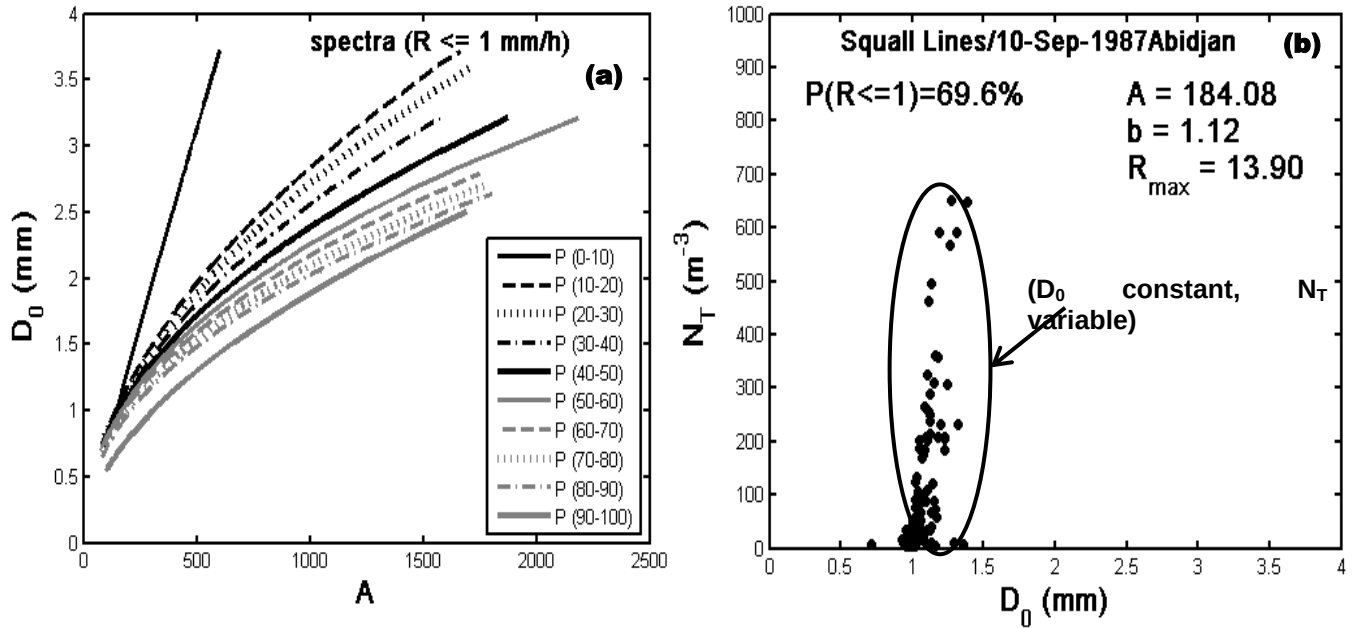


Fig. 6. (a) Functional relationships between the median volume diameter D_0 of the DSD and the multiplicative factor A of the Z-R power law for different percentage samples of low intensity rain spectra ($R \leq 1 \text{ mm/h}$). (b) Example of variability of raindrop size distribution (size and number) according to the D_0 - A microphysical mode which can exist in precipitation: case of the squall line of September 10, 1987 observed in Abidjan

For example, to demonstrate this in this work, we rely on the uncertainty values of the coefficient A reported in the works of [33]; [34]; [35] and [4]. It results from their different works that the multiplicative factor A of the Z-R relation can typically be estimated with an approximate uncertainty of 30% and the form factor μ of the DSD gamma with an uncertainty of ± 2 . The latter is related to an uncertainty of ± 0.1 for the exponent b of the Z-R law. Under these conditions, for a value of $A = 400$, the value of D_0 obtained for the percentage P (10 – 20) is $D_0 = 1.67 \text{ mm}$. Assuming an uncertainty of 30% for A (i.e., $280 < A < 520$), the estimated median volume diameter D_0 can be $1.47 < D_0 < 1.83 \text{ mm}$, corresponding to an approximate uncertainty of 18%. For the same value of $A = 400$, another percentage such as P (80 – 90), allows to arrive at $D_0 = 1.33 \text{ mm}$ with an approximate uncertainty of 14.5% (i.e., $1.17 < D_0 < 1.46 \text{ mm}$). This difference observed in the estimation of D_0 for the same value of the pre-factor A illustrates the importance of taking into account the percentage of spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$ in rainfall estimation algorithms.

This study is therefore of interest insofar as it allows us to show that equation 6 has a real physical meaning only in homogeneous precipitation in terms of drop size. In other words, the rain rate R seems to be controlled by the number of drops N_T [4]. Furthermore, the strong dependence of the power law $D_0 - A$ on the percentage of spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$ also contributes to the non-uniqueness of the linear relationship Z-R in precipitation.

CONSISTENCY OF THE STUDY

To demonstrate the consistency of this study, we present in Figure 6b the scatter plot of the (N_T, D_0) pair of an event from our JW RD-69 database apparently characterized by the microphysical process for which the rain rate R varies as a function of the number of drops (i.e., the size of the drops is constant). This is the rain event of September 10, 1987 observed in Abidjan. According to our classification method, this event is considered as convective rain. Its essential characteristics are listed in Table 6. It contains 115 spectra, its maximum intensity is $R_{\max} = 13.90 \text{ mm/h}$, its Z-R relationship (determined by linear regression) is $Z = 184R^{1.12}$ with an exponent b close to unity (quasi-balanced DSD), its percentage of spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$ is $P = 69.6\%$, its average diameter is $\langle D_0 \rangle = 1.07 \text{ mm}$ and its average number of drops is $\langle N_T \rangle = 113.56 \text{ m}^{-3}$. Knowing that the exponent b is independent of the percentage of spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$, by replacing D_0 by its average value of 1.07 mm in the relationship $D_0 = 0.124A^{0.407}$ (see Table 5) corresponding to the percentage class of the event, we obtain: $Z = 199R^{1.12}$. We note that this relation is in agreement with the Z-R relation of the event. However, pre-factor A ($A = 199$) is estimated with a low approximate uncertainty of 8% compared to pre-factor A ($A = 184$) of the studied event.

Table 6. Example of a rain event illustrated by the specific microphysical mode D_0 -A in accordance with the work of [4]. The statistical parameters of the DSD characteristics (size and number of drops), the Z-R relationship obtained by linear regression, the percentage of spectra $R \leq 1\text{mm/h}$, as well as the analytical coefficient A of the Z-R law of the event are also indicated

Evts/ (spectra number)	Z-R (observed event)		Drop diameter D_0 (mm)			Number of drops N_T (m^{-3})			Microphysical mode	P($R \leq 1$) (%)	Coefficient A of the Z-R law (estimated)
	A	b	mean < D_0 >	σ	cv	mean < N_T >	σ	cv			A
SL/ 10-Sep-1987 Abidjan (115 spectra)	184	1.12	1.07	0.09	0.09	113.56	148.90	1.31	(D_0 constant, N_T variable)	69.6	199

σ : Standard deviation; cv: coefficient of variation

3.2.2 2ND SPECIAL MICROPHYSICAL CONDITION: N_T – A RELATIONS

In the theoretical work of [4], it was also shown the existence of an analytical relationship between the number of drops in precipitation and the pre-factor A of the Z-R power law. Indeed, they showed, assuming that the distribution is of gamma form, that if the variations of the pre-factor A are due only to the diameter of the drops (D_m in the case of the work of [4]) then, the functional relationship between the number of drops per unit volume of air N_T and the pre-factor A is of a decreasing power form, with an exponent b equal to 1.63. Therefore, the Z-R relationship obeys a power law.

In the theoretical work of [4], it was also shown the existence of an analytical relationship between the number of drops in precipitation and the pre-factor A of the Z-R power law. Indeed, they showed, assuming that the distribution is of gamma form, that if the variations of the pre-factor A are due only to the diameter of the drops (D_m in the case of the work of [4]) then, the functional relationship between the number of drops per unit volume of air N_T and the pre-factor A is of a decreasing power form, with an exponent b equal to 1.63. Therefore, the Z-R relationship obeys a power law.

$$N_T = n_1 A^{n_2} \text{ with } n_2 < 0 \quad (7)$$

where n_1 and n_2 respectively denote the multiplicative factor and the exponent of the N_T – A law. They are determined by simple power regression between the parameters N_T and A. In Figure 7a, we present the fitting curves corresponding to the N_T – A relationship of the different percentage samples considered. All the values of the coefficients of this relationship relative to the different rain samples $R \leq 1\text{mm/h}$ are confined in Table 7, as well as the corresponding correlation coefficients r. All of these values show that the number of drops N_T is well linked with the pre-factor A in view of the acceptable correlation coefficients. To this end, the analysis of Figure 7a clearly shows that the total number of drops per unit volume of air N_T decreases monotonically with the multiplicative factor A and this, independently of the percentage. We also note that the slope of the fitting curve increases when the percentage increases. In other words, the N_T parameter decreases rapidly as a function of the coefficient A of the Z-R law when the percentage of the spectra $R \leq 1\text{mm/h}$ increases sharply in the rainy sample. Therefore, for a given value of the pre-factor A, a high number of drops in the low percentage $R \leq 1\text{mm/h}$ spectra is necessary, while a lower number in the high percentage $R \leq 1\text{mm/h}$ spectra would be sufficient. Such conditions suggest that low percentage are responsible for the high number of drops in precipitation, while high percentage are rather related to a lower number. This fact confirms that a good knowledge of the percentage of the rain spectra $R \leq 1\text{mm/h}$ in any distribution can help to predict the average number of drops in precipitation and therefore, the shape of the measured DSD as suggested in the previous section. Indeed, like the special microphysical mode D_0 – A discussed above, this last result also suggests that by not taking into account the percentage of spectra $R \leq 1\text{mm/h}$ in a rainy sample, additional errors would be generated in the estimation of the average number of drops, and therefore in the estimation of the coefficient A of the Z-R power relationship.

Table 7. Multiplicative factors and exponents of the functional relationships between the total number of drops per unit volume of air N_T of the DSD and the pre-factor A of the Z-R power law as well as the associated correlation coefficients r . The results are presented for different percentage classes of the low intensity rain spectra ($R \leq 1\text{mm/h}$)

Samples types	$N_T = n_1 A^{n_2}$		
	$\log(n_1)$	n_2	r
P(0 – 10)	8.9984	-0.7023	-0.63
P(10 – 20)	11.2209	-1.1146	-0.74
P(20 – 30)	11.6982	-1.2152	-0.80
P(30 – 40)	11.8789	-1.2654	-0.84
P(40 – 50)	11.7692	-1.2676	-0.86
P(50 – 60)	11.6619	-1.2711	-0.87
P(60 – 70)	11.0168	-1.1825	-0.86
P(70 – 80)	10.1593	-1.0577	-0.83
P(80 – 90)	9.2746	-0.9289	-0.76
P(90 – 100)	7.8243	-0.7527	-0.59

For example, to justify this, we use the same uncertainty value related to the estimation of the coefficient A , i.e. 30%, already indicated previously. Thus, for a value of $A = 400$, the value of N_T associated with the percentage $P(10 - 20)$ is $N_T = 94 \text{ m}^{-3}$. Assuming an uncertainty of 30% for the pre-factor A (i.e., $280 < A < 520$), the total number of drops per unit volume of air N_T estimated can be $70 \text{ m}^{-3} < N_T < 140 \text{ m}^{-3}$ corresponding to an approximate uncertainty of 37% or $\pm 35 \text{ m}^{-3}$. However, for the same value of $A = 400$, another percentage such as $P(80 - 90)$ gives $N_T = 41 \text{ m}^{-3}$ with an approximate uncertainty of $\pm 12.5 \text{ m}^{-3}$ (i.e., $32 \text{ m}^{-3} < N_T < 57 \text{ m}^{-3}$). This difference in the estimated values of the N_T parameter for the same value of the pre-factor A in precipitation further denotes the importance of taking into account the percentage of spectra $R \leq 1\text{mm/h}$ in radar or satellite rainfall estimation algorithms.

This study is therefore of interest insofar as it allowed us, on the one hand, to show that there is a link between the number of drops (high or low) and the percentage of spectra $R \leq 1\text{mm/h}$ in the rain sample (Low percentage: High number of drops; High percentage: Low number of drops) and on the other hand, to highlight the importance of this percentage in the relationship of dependence of the pre-factor A in N_T . To this end, it allows us to confirm the results of [4] and also to show that equation 7 has a real physical meaning only in homogeneous precipitation in terms of number of drops. In other words, the rain rate R seems this time to be controlled by the size of the drops. This result is in line with that found by [36], who showed that this special microphysical condition $N_T - A$ is only applicable to homogeneous stratiform precipitation of low intensities, notably drizzle ($R \leq 1\text{mm/h}$, $Z < 20\text{dbZ}$). They also revealed that it is not linked to the process of coalescence or to the process of fractionation of drops but rather to the process of accretion of cloud droplets; which process allows to keep constant the number of drops already existing (whether it is high or low). However, the drops that benefit from the accretion effect simply grow larger at the expense of the others; thus varying the diameter of the drops in the rain sample. In the early works of [37] and [38], it was revealed that this microphysical mode is due to wind shear or turbulence. Other authors have not sought to link this $N_T - A$ law to any process as the first authors cited did; nevertheless, they have devoted themselves to its consequences in precipitation. To this end, [39] suggested that such a microphysical mode can promote the disappearance of all convective cells. This supports the results of [36] and ours, insofar as the negative power $N_T - A$ law seems to be generally applicable to non-convective rain samples, especially at low intensities. Furthermore, the strong dependence of the $N_T - A$ power law on the percentage of spectra $R \leq 1\text{mm/h}$ also contributes to the non-uniqueness of the Z-R power relationship in precipitation.

CONSISTENCY OF THE STUDY

To demonstrate the consistency of this study, we present in Figure 7b the scatter plot of the (N_T, D_0) pair of an event from our JW RD-69 database apparently characterized by the microphysical process for which the rain rate R varies as a function of the drop diameter (i.e., the number of drops is constant). This is the rain event of July 4, 1988 observed in Boyélé. According to our classification method, this event is considered a stratiform rain. Its essential characteristics are listed in Table 8. It contains 299 spectra, its maximum intensity is $R_{\max} = 3.27 \text{ mm/h}$, its Z-R relationship (determined by linear regression) is $Z = 517R^{1.53}$; its percentage of spectra $R \leq 1\text{mm/h}$ is $P = 68.6\%$, its average diameter is $\langle D_0 \rangle = 1.44\text{mm}$ and its average number of drops is $\langle N_T \rangle = 35 \text{ m}^{-3}$. Knowing that the exponent b is independent of the percentage of spectra $R \leq 1\text{mm/h}$, replacing N_T by its average value of 35 m^{-3} in the relationship $N_T = e^{11.0168} A^{-1.1825}$ (Table 7) corresponding to the percentage class of the event, we obtain: $Z = 550R^{1.53}$. It is noted that this relationship is in agreement with the Z-R relationship of the event. However, the pre-factor A ($A = 550$) is estimated with a low approximate uncertainty of 6% compared to the pre-factor A ($A = 517$) of the event studied.

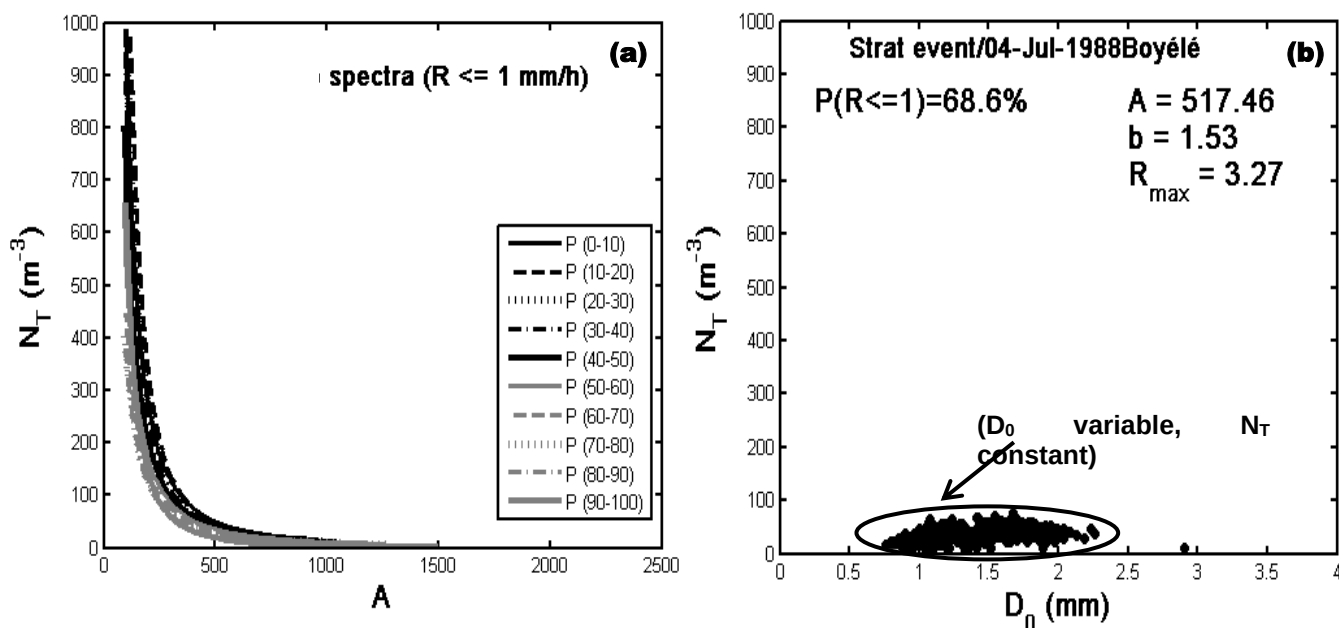


Fig. 7. (a) Functional relationships between the total number of drops per unit volume of air N_T of the DSD and the multiplicative factor A of the Z-R power law for different percentage samples of the low intensity rain spectra ($R \leq 1$ mm/h). (b) Example of variability of raindrop size distribution (size and number) according to the N_T - A microphysical mode which can exist in precipitation: case of the stratiform rain of July 4, 1988 observed in Boyélé

Table 8. Example of a rain event illustrated by the specific microphysical mode N_T - A in accordance with the work of [4]. The statistical parameters of the DSD characteristics (size and number of drops), the Z-R relationship obtained by linear regression, the percentage of spectra $R \leq 1$ mm/h, as well as the analytical coefficient A of the Z-R law of the event are also indicated

Evts/ (spectra number)	Z-R (observed event)		Drop diameter D_0 (mm)			Number of drops N_T (m^{-3})			Microphysical mode	P($R \leq 1$) (%)	Coefficient A of the Z-R law (estimated)
	A	b	mean < D_0 >	σ	cv	mean < N_T >	σ	cv			A
Strat event/ 04-Jul-1988 Boyele (299 spectra)	517	1.53	1.44	0.36	0.25	35.06	13.34	0.38	(D_0 variable, N_T constant)	68.6	550

3.2.3 3RD SPECIAL MICROPHYSICAL CONDITION: $D_0/N_T - A$ AND $A - A$ RELATIONS

It is very instructive to dwell on the theoretical work of [4] and to think that there really exists in precipitation a coherent relationship between the simultaneous involvement of the size and number of drops and the pre-factor A of the Z-R power law. Indeed, they showed for a modified gamma distribution, that if the mean mass diameter D_m and the total number of drops per unit volume of air N_T can vary together to influence the pre-factor A then, the functional relationship between the ratio $D_m^{(1+\mu)}/N_T$ and the pre-factor A is of an increasing power form, with an exponent b depending on the form factor μ of the modified gamma DSD [$b = (7 + \mu)/(4.67 + \mu)$]. Therefore, the Z-R relationship also obeys a power law.

In this study, the D_0/N_T ratio [2]; [3] obtained from observations is used instead of the theoretical ratio $D_m^{(1+\mu)}/N_T$. Thus, the functional relationship $D_0/N_T - A$ that we obtained for the same percentage samples of spectra $R \leq 1$ mm/h is indeed of the form increasing power:

$$D_0/N_T = r_1 A^{r_2} \text{ with } r_2 > 0 \quad (8)$$

where r_1 and r_2 represent the coefficients of the $D_0/N_T - A$ law. They are obtained by power regression between the D_0/N_T and A parameters. In Figure 8a, we show the fitting curves corresponding to the $D_0/N_T - A$ relationship of the different percentage samples considered. Table 9 shows all the values of the coefficients of this relationship, as well as the associated correlation coefficients r . As can

be seen, the D_0/N_T ratio is well linked with the pre-factor A. To this end, the analysis of Figure 8a clearly shows that the D_0/N_T ratio increases rapidly and monotonically with the multiplicative factor A and this, independently of the percentage. Like the number of drops N_T , we also note that the slope of the fitting curve increases when the percentage increases. In other words, the D_0/N_T ratio increases rapidly as a function of the coefficient A of the Z-R law when the percentage of the spectra $R \leq 1\text{mm/h}$ increases sharply in the rainy sample. Thus, for a given value of pre-factor A, a low D_0/N_T ratio in low percentage $R \leq 1\text{mm/h}$ spectra is necessary, while a higher D_0/N_T ratio in high percentage $R \leq 1\text{mm/h}$ spectra would be sufficient. This situation suggests that the low values of the D_0/N_T ratio observed in precipitation and more precisely in the work of [2] are due to the low percentage of spectra $R \leq 1\text{mm/h}$, while the high values are due to the high percentage. All this confirms the essential nature of the percentage of rain spectra $R \leq 1\text{mm/h}$ in any distribution and suggests (like the first two special microphysical modes treated) that by not taking into account the percentage of spectra $R \leq 1\text{mm/h}$ in a rain sample, we would undoubtedly generate additional errors in the estimation of the average D_0/N_T ratio, therefore in the estimation of the coefficient A of the Z-R power relationship.

Table 9. Multiplicative factors and exponents of the functional relationships between the D_0/N_T parameter of the DSD and the pre-factor A of the Z-R power law as well as the associated correlation coefficients. The results are presented for different percentage classes of low intensity rain spectra ($R \leq 1\text{mm/h}$)

Samples types	$D_0/N_T = r_1 A^{r_2}$		
	$\log(r_1)$	r_2	r
P(0 – 10)	-9.4115	0.8196	0.67
P(10 – 20)	-12.5142	1.4129	0.89
P(20 – 30)	-12.4512	1.4329	0.89
P(30 – 40)	-12.0852	1.3944	0.86
P(40 – 50)	-11.2141	1.2674	0.81
P(50 – 60)	-10.7063	1.1949	0.78
P(60 – 70)	-10.1587	1.1132	0.75
P(70 – 80)	-9.4666	1.0089	0.71
P(80 – 90)	-8.8506	0.9156	0.66
P(90 – 100)	-7.9261	0.8061	0.61

To illustrate this, we proceed as before, i.e. using the same uncertainty value related to the estimation of coefficient A. For example, for a value of $A = 400$, the value of D_0/N_T obtained for the percentage P (10 – 20) is $D_0/N_T = 0.0174\text{mm.m}^3$. Assuming an uncertainty of 30% for the pre-factor A (i.e., $280 < A < 520$), the estimated D_0/N_T ratio can be $0.0105\text{mm.m}^3 < D_0/N_T < 0.0252\text{mm.m}^3$ corresponding to an approximate uncertainty of 42% or $\pm 0.00735\text{mm.m}^3$. However, for the same value of $A = 400$, the percentage P (80 – 90) gives $D_0/N_T = 0.0345\text{mm.m}^3$ with an approximate uncertainty of $\pm 0.0095\text{mm.m}^3$ (i.e., $0.0249\text{mm.m}^3 < D_0/N_T < 0.0439\text{mm.m}^3$). This difference in the estimated values of the D_0/N_T ratio for the same value of the pre-factor A in precipitation further reveals the interest of taking into account the percentage of spectra $R \leq 1\text{mm/h}$ in radar or satellite rainfall estimation algorithms. Moreover, despite the fact that the microphysical interpretation of the coefficients A and b of the Z-R power law is a prolific subject for the scientific community, we could not find in the literature a microphysical process (coalescence, fractionation among many others) associated with this $D_0/N_T - A$ law (or with this mode of variability of the coefficient A). Indeed, this study, which requires radar observations of the vertical profile of the rain, simultaneous with disdrometer measurements, is not addressed in this work. However, the strong dependence of the $D_0/N_T - A$ law on the percentage of the spectra $R \leq 1\text{mm/h}$ also leads to the non-uniqueness of the Z-R relationship.

CONSISTENCY OF THE STUDY

To demonstrate the consistency of this study, we show in Figure 8b the scatter plot of the (N_T, D_0) pair of an event in our JW RD-69 database apparently characterized by the microphysical mode for which the rain rate R depends on the simultaneous variations of the diameter of the drops and their number. This is the rain event of August 7, 1998 observed in Dakar. According to our classification method, this event is considered as a convective rain. Its essential characteristics are listed in Table 10. It contains 234 spectra, its maximum intensity is $R_{\max} = 127\text{ mm/h}$, its Z-R relationship (determined by linear regression) is $Z = 410R^{1.26}$, its percentage of spectra $R \leq 1\text{mm/h}$ is $P = 41.9\%$, its average diameter is $\langle D_0 \rangle = 1.55\text{mm}$ and its average number of drops is $\langle N_T \rangle = 110\text{m}^{-3}$. Knowing that the exponent b is independent of the ratio of the spectra $R \leq 1\text{mm/h}$, by replacing D_0/N_T by its average value of 0.0948mm.m^3 in the relation $D_0/N_T = e^{-11.2141} A^{1.2674}$ (see Table 9) corresponding to the percentage class of the event, we obtain: $Z = 1084R^{1.26}$. It is noted that this relationship is in disagreement with the Z-R relationship of the event because the pre-factor A is overestimated by the $D_0/N_T - A$ law. This could be explained by the difference from a dimensional point of view between the theoretical ratio $D_m^{(1+\mu)}/N_T$ and the observation ratio D_0/N_T used to conduct this study. To this end, it is noted that the observation ratio D_0/N_T has the dimension $[L^4]$ while that of the theoretical ratio $D_m^{(1+\mu)}/N_T$ deduced from the work of [4] is $[L^{(4+\mu)}]$. All this shows that the observation ratio D_0/N_T taken individually is

not suitable for conducting this study since it has difficulties in integrating the form of the observed DSD (μ represents the form factor of the modified gamma theoretical DSD).

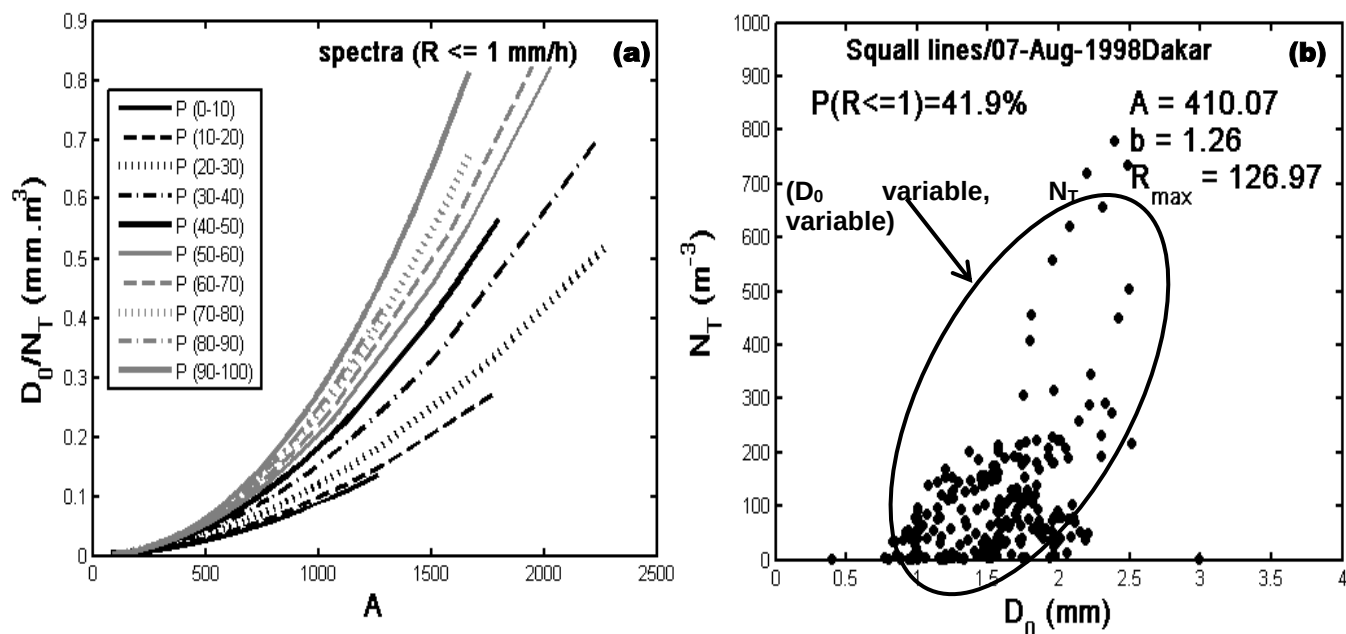


Fig. 8. (a) Functional relationships between the D_0/N_T parameter of the DSD and the multiplicative factor A of the Z-R power law for different percentage samples of low intensity rain spectra ($R \leq 1$ mm/h). (b) Example of variability of raindrop size distribution (size and number) according to the D_0/N_T - A microphysical mode which can exist in precipitation: case of the squall line of August 7, 1998 observed in Dakar

Table 10. Example of a rain event illustrated by the specific microphysical mode D_0/N_T - A in accordance with the work of [4]. The statistical parameters of the DSD characteristics (size and number of drops), the Z-R relationship obtained by linear regression, the percentage of spectra $R \leq 1$ mm/h, as well as the analytical coefficient A of the Z-R law of the event are also indicated

Evts/ (spectra number)	Z-R (observed event)		Drop diameter D_0 (mm)			Number of drops N_T (m ⁻³)			Microphysical mode	P($R \leq 1$) (%)	Coefficient A of the Z-R law (estimated)
	A	b	mean < D_0 >	σ	cv	mean < N_T >	σ	cv			A
SL/ 07-Aug-1998 Dakar (234 spectra)	410	1.26	1.55	0.42	0.27	109.83	127.61	1.16	(D_0 variable, N_T variable)	41.9	1084

Thus, our choice fell on the power law $A \propto \alpha$ [2]; [3] instead of the law $D_0/N_T \propto A$ to represent this microphysical mode where the rain rate R depends on the mixed variations of the size and number of drops. Indeed, the functional relationship $D_0/N_T = \alpha R^b$ [2]; [3] is such that the shape of the distribution seems to be integrated into the pre-factor α of said relationship because it has been shown in many previous works [7]; [9]; [40]; [18] that the shape of the DSD varies with the rain rate R . In Figure 9, we show the regression curves of the A - α relationship of the 10 samples of percentage of rain spectra $R \leq 1$ mm/h considered. As can be seen from the graph, the shape of the fitting curves corresponding to the A - α relationship is identical to that found by [2] and [3] and this, for all the samples studied. In other words, the multiplicative factor A of the Z-R relation is well linked with the pre-factor α of the $D_0/N_T - R$ relation. The high correlation coefficients, greater than 0.80, clearly indicate the good correlation between the parameters A and α . All the values of the coefficients of this relationship relative to the different samples of percentage of the rain spectra $R \leq 1$ mm/h are confined in Table 11. The analysis of the values (orders of magnitude) of the coefficients a_1 and a_2 shows that they are high compared to those obtained in the work of [2] where the calculations are made independently of the intensity classes. This recalls the results obtained above and confirms that the rain spectra $R \leq 1$ mm/h contribute to a rapid increase in the pre-factor A of the power law Z-R in precipitation. However, the values of the coefficients a_1 and a_2 corresponding to the rain sample P (90 – 100) deviate from those obtained for the other rain samples $R \leq 1$ mm/h. This could be due to a sampling problem [6].

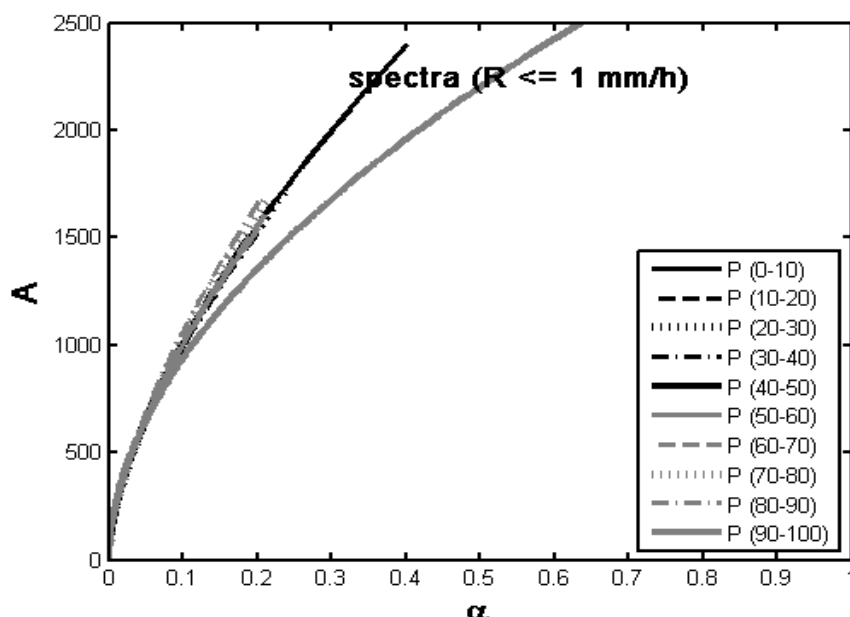


Fig. 9. Functional relationships between the multiplicative factors of the power laws Z-R ($Z=AR^b$) and D_0/N_T-R ($D_0/N_T = \alpha R^b$) for different percentage samples of the low intensity rain spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$ considered

Table 11. Coefficients of the relationship between the multiplicative factors of the power laws Z-R ($Z=AR^b$) and D_0/N_T-R ($D_0/N_T = \alpha R^b$) for the different samples of low intensity rainfall $R \leq 1 \text{ mm/h}$ considered

Sample types	$A=a_1\alpha^{a_2}$		
	a_1	a_2	r
P(0 – 10)	4219.0	0.6203	0.89
P(10 – 20)	4208.7	0.6197	0.94
P(20 – 30)	4174.6	0.6216	0.94
P(30 – 40)	4113.8	0.6183	0.94
P(40 – 50)	4248.2	0.6261	0.95
P(50 – 60)	4185.5	0.6227	0.95
P(60 – 70)	4263.8	0.6263	0.95
P(70 – 80)	4516.8	0.6397	0.95
P(80 – 90)	4656.5	0.6436	0.94
P(90 – 100)	3177.4	0.5303	0.85

To illustrate the effectiveness of this law in representing this mode of variability of the Z-R relationship, we use the same rain event of August 7, 1998 observed in Dakar. Its granulometric characteristics were given above. The coefficient α of the power law $D_0/N_T - R$ of the event is 0.0288. Knowing that the exponent b is independent of the percentage of the spectra $R \leq 1 \text{ mm/h}$, by replacing the coefficient α by its value in the relationship $A = 4248.2\alpha^{0.6261}$ (see Table 11) corresponding to the percentage class of the event, we obtain: $Z = 461R^{1.26}$. We note that this relationship is in line with the Z-R relationship of the event because the pre-factor A is estimated with a relatively small difference of 12%. This confirms the effectiveness of the $A - \alpha$ relationship [2]; [3] in formalizing the approach on the simultaneous involvement of the size and number of drops in the variability of the Z-R power relationship.

4 CONCLUSION

This paper investigated the role of the percentage of low intensity rain spectra ($R \leq 1 \text{ mm/h}$) in the variability of the Z-R relationship in relation to the microphysical processes responsible for droplet formation.

The analysis of the variability of the coefficients A and b of the Z-R relationship, in relation to the percentage of low intensity rain spectra ($R \leq 1 \text{ mm/h}$), showed that rain spectra ($R \leq 1 \text{ mm/h}$) lead to high values of the coefficients of the Z-R relationship. However, the variability of the multiplicative factor A is pronounced, in agreement with that of the N_T and D_0/N_T parameters of the DSD; while the exponent (b) remains almost constant in such rain samples, regardless of the percentage. Such a result suggests that the choice of the exponent (b) should be avoided in this study, and only the pre-factor (A) should be adapted according to the percentage considered.

Following a theoretical study, we formalized the link between the observation parameters D_0 , N_T and D_0/N_T of the DSD and the pre-factor A of the Z-R power law. We find exactly close power relationships $D_0 - A$, $N_T - A$ and $D_0/N_T - A$ (for all the rain samples $R \leq 1\text{mm/h}$ considered) corresponding respectively to the microphysical modes “constant D_0 , variable N_T ”, “variable D_0 , constant N_T ” and “variable D_0 , variable N_T ”. The analysis of these three special microphysical conditions showed that the low percentage ($P(R \leq 1\text{mm/h}) < 50\%$) of the $R \leq 1\text{mm/h}$ spectra are at the origin of a high number of large drops corresponding to a low D_0/N_T ratio in the precipitation. On the other hand, the few small drops observed in precipitation with a high D_0/N_T ratio are due to high percentage ($P(R \leq 1\text{mm/h}) \geq 50\%$).

We analyzed the consistency of this study by choosing three rain events from our database, namely the squall line of September 10, 1987 observed in Abidjan ($Z=184R^{1.12}$), the stratiform rain of July 4, 1988 observed in Boyélé ($Z=517R^{1.53}$) and the squall line of August 7, 1998 recorded in Dakar ($Z=410R^{1.26}$), corresponding respectively to the special microphysical modes $D_0 - A$, $N_T - A$ and $D_0/N_T - A$. The estimation of the pre-factor A of the Z-R relationship associated with each event from the aforementioned equations (in the same order) in relation to the percentage of the spectra $R \leq 1\text{mm/h}$, gives as results $A=199$, $A=550$ and $A=1084$. If the first two modes ($D_0 - A$ and $N_T - A$) give satisfactory results in the estimation of the pre-factor A with respectively low deviations of 8% and 6%, the $D_0/N_T - A$ mode, for its part, enormously overestimates the pre-factor A of the squall line of August 7, 1998 observed in Dakar.

It has been suggested that this disagreement between the observed ($A=410$) and estimated ($A=1084$) values of this rainfall event would be related to the difference from a dimensional point of view between the theoretical ratio $D_m^{(1+\mu)}/N_T [L^{(4+\mu)}]$ (μ is the shape factor of the gamma DSD) of Steiner et al. (2004) and the observed ratio $D_0/N_T [L^4]$ used in this study. To overcome this inability of the D_0/N_T ratio to integrate the shape of the observed DSD, we chose the $A - \alpha$ relationship to represent this mode of variability of the DSD. Thus, the pre-factor of the Z-R relationship estimated from this $A - \alpha$ law is $A=461$. This value is close to that of the rain event with a small difference of 12%.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful to all of those who contributed to the collecting of JWD data used in this study, under the lead of Prof. Henri Sauvageot from the Atmospheric Research Center (Toulouse, France).

CONFLICTS OF INTEREST

There are no conflicts of interest in this work, and the authors agree to the publication of this article in this journal.

REFERENCES

- [1] Marshall, J. S., and W. M. K. Palmer (1948). The distribution of raindrops with size. *J. Meteor.*, 5, 165-166.
- [2] Ochou A. D., Zahiri E.-P., Bamba B., Koffi M. (2011). Understanding the variability of Z-R relationships caused by natural variations in raindrop size distributions (DSD): Implication of drop size and number. *Atmospheric and Climate Sciences*, 1, 147-164.
- [3] Bamba, B., A.D. Ochou, E.-P. Zahiri, and M. Kacou (2014). Consistency in Z-R Relationship Variability Regardless Precipitating Systems, Climatic Zones Observed from Two Types of Disdrometer. *Atmospheric and Climate Sciences*, 4, 941-955.
- [4] Steiner, M., Smith, A. J., Uijlenhoet, R. (2004). A Microphysical Interpretation of Radar Reflectivity-Rain Rate Relationships. *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 61, No.10, pp. 1114-1131.
- [5] List, R. (1988). A linear radar reflectivity-rainrate relationship for steady tropical rain. *J. Atmos. Sci.*, 45, 3564-3572.
- [6] Uijlenhoet, R., M. Steiner, and J. A. Smith (2003b). Variability of raindrop size distributions in a squall line and implications for radar rainfall estimation. *J. Hydrometeor.*, 4, 43-61.
- [7] Sauvageot, H., and J.P. Lacaux (1995). The shape of averaged drop size distributions. *J. Atmos. Sci.*, 52, 1070-1083.
- [8] Yuter, S. E., and R.A. Houze (1997). Measurements of raindrop size distribution over the Pacific Warm Pool and implementations for Z-R relations. *J. Appl. Meteor.*, 36, 847-867.
- [9] Maki, M., Keenam, T. D., Sasaki, Y., and Nakamura, K. (2001). Characteristics of the raindrop size distribution in tropical continental squall lines observed in darwin, australia. *J. Appl. Meteor.* 40, 1393, 1412.
- [10] Islam, T., Rico-Ramirez, A., M., Thurai, M., Han, D. (2012). Characteristics of raindrop spectra as normalized gamma distribution from a Joss-Waldvogel disdrometer. *Atmospheric Research*, 108, 57-73.
- [11] Joss, J., and A. Waldvogel (1967). Ein Spektrograph für Niederschlagstropfen mit automatischer Auswertung. *Pure Appl. Geophys.*, 68, 240-246.
- [12] Williams, R.C., A. Kruger, K. S. Gage, A. Tokay, R. Cifelli, W. F. Krajewski and C. Kummero (2000). Comparison of Simultaneous Rain Drop Size Distributions Estimated from Two Surface Disdrometers and a UHF Profiler. *Geophysical Research Letters*, Vol. 27, N° 12, Pages 1763-1766.
- [13] Sheppard, B.E., and P.I. Joe (1994). Comparison of raindrop size distribution measurements by a Joss-Waldvogel Disdrometer, a PMS 2DG Spectrometer, and a POSS Doppler Radar. *J. Atmos. and Oceanic Technol.*, 10, 874-887.

- [14] Joss, J., and A. Waldvogel (1969). Raindrop size distribution and sampling size errors. *J. Atmos. Sci.*, 26, 566-569.
- [15] Sheppard, B. E. (1990). Effect of irregularities in the diameter classification of raindrops by the Joss-Waldvogel disdrometer. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 7, 180-183.
- [16] Lee, G.W., and I. Zawadzki (2005). Variability of drop size distributions: Time-scale dependence of the variability and its effects on rain estimation. *J. Appl. Meteor.*, 44, 241-255.
- [17] Moumouni, S., M. Gosset, E. Houngrinou (2008). Main features of rain drop size distributions observed in Benin, West Africa, with optical disdrometers. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L23807, DOI: 10.1029/2008GL035755.
- [18] Tenório, R.S., M.C.S. Moraes, and H. Sauvageot (2012). Raindrop Size Distribution and Radar Parameters in Coastal Tropical Rain Systems of Northeastern Brazil. *J. Appl. Meteor. Climat.*, 51, 1960-1969.
- [19] Testud, J., Oury, S., Black, R. A., Amayenc, P., and Dou, X. K. (2001). The concept of normalized distribution to describe raindrop spectra: A tool for cloud physics and cloud remote sensing. *J. Appl. Meteor.*, 40, 1118-1140.
- [20] Chapon, B., Delrieu, G., Gosset, M., Boudevillain, B. (2008). Variability of rain drop size distribution and its effect on the Z-R relationship: A case study for intense Mediterranean rainfall. *Atmospheric Research*, 87, 52-65.
- [21] Joss, J., and E.G. Gori (1978). Shapes of Raindrop Size Distributions. *J. Appl. Meteorol.*, 17, 1054-1061.
- [22] Ochou, A. D., Nzeukou, A., Sauvageot, H. (2007). Parametrization of drop size distribution with rain rate. *Atmospheric Research*, 84, 58-66.
- [23] Sekhon, R.S., and R.C. Srivastava (1971). Doppler radar observations of drop-size distributions in a thunderstorm. *J. Atmos. Sci.*, 28, 983-994.
- [24] Valdez, M.P., and K.C. Young (1985). Number fluxes in equilibrium raindrop populations. A Markov-chain analysis. *J. Atmos. Sci.*, 42, 1024-1036.
- [25] List, R., N.R. Donaldson, and R.E. Stewart (1987). Temporal evolution of drop spectra to collisional equilibrium in steady and pulsating rain. *J. Atmos. Sci.*, 44, 362-372.
- [26] Brown, P.S., and S.N. Whittlesey (1992). Multiple equilibrium solutions in Bleck-type models of drop coalescence and breakup. *J. Atmos. Sci.*, 49, 2319-2324.
- [27] Hu, Z., and R.C. Srivastava (1995). Evolution of raindrop size distribution by coalescence, breakup, and evaporation: Theory and observations. *J. Atmos. Sci.*, 52, 1761-1783.
- [28] Tenório, R.S., M. C. S. Moraes, D. A. Quintão, and B. H. Kwon (2003b). Estimation of the Z-R relation through the disdrometer for the coastal region in the northeast of Brazil. *J. Kor. Earth Sci. Soc.*, 24, 30-35.
- [29] Nzeukou, A., Sauvageot, H., Ochou, A. D., Kebe, C. M. F. (2004). Raindrop size distribution and radar parameters at Cape Verde. *J. Appl. Meteorol.*, 43, 90-105.
- [30] Sharma, S., M. Konwar, and D.K. Sarma (2009). Characteristics of Rain Integral Parameters during Tropical Convective, Transition, and Stratiform Rain at Gadanki and its Application in Rain Retrieval. *American Meteorological Society*, 48, 1245-1266.
- [31] Tokay, A., and Short, D. A. (1996). Convective vs stratiform rain in the West pacific during TOGA COARE: evidence from raindrop spectra. *J. Appl. Meteor.*, 35, 355-371.
- [32] Zahiri, E.-P., M. Gosset, J.-P. Lafore, and V. Gouget (2008). Use of a Radar Simulator on the Output Fields from a Numerical Mesoscale Model to Analyse X-Band Rain Estimators. *Journal Atmospheric And Oceanic Technology*, 25, 341-367.
- [33] Doelling, I. G., J. Joss, and J. Riedl (1998). Systematic variations of Z-R relationships from drop size distributions measured in northern Germany during seven years. *Atmos. Res.*, 47-48, 635-649.
- [34] Steiner, M., and J.A. Smith (2000). Reflectivity, rain rate, and kinetic energy flux relationships based on raindrop spectra. *J. Appl. Meteor.*, 39, 1923-1940.
- [35] Hagen, M., and S.E. Yuter (2003). Relations between radar reflectivity, liquid-water content, and rainfall rate during the MAP SOP. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 129, 477-493.
- [36] Rogers, R.R., I.I. Zawadzki, and E.E. Gossard (1991). Variation with altitude of the drop-size distribution in steady light rain. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 117, 1341-1369.
- [37] Gunn, K.L.S., and J.S. Marshall (1955). The effect of wind shear on falling precipitation. *J. Meteor.*, 12, 339-349.
- [38] Atlas, D., and A.C. Chmela (1957). Physical-synoptic variations of raindrop size parameters. *Proc. Sixth Weather Radar Conf.*, Cambridge, MA, *Amer. Meteor. Soc.*, 21-29.
- [39] Carbon, R.E., and L.D. Nelson (1978). The evolution of raindrop spectra in warm-based convective storms as observed and numerically modeled. *J. Atmos. Sci.*, 35, 2302-2314.
- [40] Koza T., K.K. Reddy, S. Mori, M. Thurai, J.T.Ong, D.N. Rao, and T. Shimomai (2006). Seasonal and diurnal variations of raindrop size distribution in Asian monsoon region. *Meteorological Society of Japan*, Vol. 84A, pp. 195-209.

Explainable Diabetes Risk Assessment Using Optimized Stacked Machine Learning: XGBoost-MLP-Random Forest Ensemble with Cross-Cohort Validation

Adlès Francis Kouassi¹, Tanon Lambert Kadjo², K. Yablé Didier¹, and Olivier Asseu^{1,2}

¹ESATIC, Côte d'Ivoire

²INPHB, Côte d'Ivoire

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Early detection of type 2 diabetes is a public health priority due to its high prevalence and the severe complications that may result. However, traditional machine learning approaches face several limitations, particularly in model optimization, handling class imbalance, and ensuring clinical interpretability.

In this context, we propose an optimized machine learning approach that combines advanced preprocessing, optimization, and modeling techniques. Our methodology is based on four key components: (i) feature engineering guided by medical knowledge (e.g., Glucose/BMI, Age×BMI), (ii) adaptive class rebalancing using SMOTEENN, (iii) Bayesian hyperparameter optimization with Optuna for XGBoost and MLP (Multilayer Perceptron) models, and (iv) an ensemble stacking strategy integrating Random Forest, XGBoost, and MLP, with logistic regression as the meta-learner.

The PIMA Indians and Frankfurt Hospital datasets were used to validate this approach. The results are remarkable: an accuracy of 94.05% on PIMA, 99.27% on Frankfurt, and 99.71% on the merged data, with an AUC reaching 99.99%.

SHAP analysis highlights the increased importance of insulin in PIMA and the Age×BMI interaction in Frankfurt, while confirming the stability of universal markers such as glucose and BMI.

This approach not only delivers outstanding predictive performance but also provides differentiated interpretability, paving the way for more personalized and equitable predictive medicine.

KEYWORDS: Machine Learning, Diabetes, Stacking Ensemble, Bayesian Optimization, Feature Engineering, SHAP, Medical Prediction.

1 INTRODUCTION

Type 2 diabetes has become a major global public health issue. In 2021, this disease affected 537 million people, a figure projected to rise to 783 million by 2045 [1]. It is responsible for 6.7 million annual deaths and generates healthcare costs exceeding USD 966 billion. Its insidious progression leads to delayed diagnosis in 44 % of cases, exposing patients to severe complications, including cardiovascular, renal, and ophthalmological disorders. In this context, early detection is a crucial priority to reduce morbidity and mortality and to effectively guide prevention policies.

Machine Learning methods are emerging as promising tools to predict diabetes risk from clinical data. However, their integration into clinical practice remains limited by several methodological barriers: class imbalance, low interpretability, algorithmic complexity, and lack of generalizability across populations. This study aims to propose an integrated, rigorous, and explainable approach to address these challenges.

The PIMA Indians dataset, although modest in size, is a benchmark reference for evaluating classification algorithms. Several approaches have been tested: Maniruzzaman et al. proposed a majority voting method achieving 84.2 % accuracy; Patil et al. experimented with a naïve stacking approach, reaching 76.3 % accuracy [2], [3]; Islam et al. demonstrated the benefit of feature engineering, achieving 88.7 % [4]. More recently, Oliullah et al. achieved 91.5 % accuracy and an AUC-ROC of 97 % using an advanced stacking architecture integrating seven classifiers and SHAP for interpretability [5].

Hybrid methods have also been proposed. Abdollahi et al. [6] integrated stacking and genetic algorithms within an IoT environment, achieving 99 % accuracy but without cross-validation. Reza et al. [7] emphasized the importance of adapting models to local contexts. Talari et al. [8] developed an ultra-fast bagging-based method, reaching 99.07 % accuracy in just 0.1 ms.

The Frankfurt Hospital dataset, which is richer, has enabled the exploration of more complex architectures. Ihnaini et al. [9] combined IoMT and electronic medical records, achieving 99.6 % accuracy. Hasan et al. [10] developed DNet, a hybrid model combining CNN, LSTM, AdaBoost, and XGBoost, obtaining 99.79 % accuracy and an AUC of 99.98 %. However, the computational complexity of these models hinders their clinical deployment.

Some teams have proposed lighter alternatives: Elhoseny et al. [11] used soft voting with SVM, RF, and KNN (AUC = 0.979). Aouamria et al. [12] fused LSTM, CNN, and DNN, reaching 99.81 %. Rashed et al. [13] tested a stacking approach with real hospital data. Han et al. [14] introduced Glu-Ensemble, integrating a temporal dimension into glucose prediction.

Despite these advances, methodological limitations remain: frequent lack of external validation, poor reproducibility, over-optimization on single datasets, and excessive complexity.

In response, our study proposes a four-pillar approach:

Clinical feature engineering – generating variables such as *Age × BMI* or *Glucose/BMI*;

Rebalancing with SMOTEENN, combining oversampling and removal of ambiguous cases;

Bayesian optimization with Optuna, reducing computational cost;

Explainable stacking architecture, combining Random Forest, XGBoost, and MLP, aggregated through logistic regression.

Interpretability is ensured through SHAP, and multi-cohort cross-validation is conducted on PIMA and Frankfurt datasets. The performances obtained (94.05 % on PIMA, 99.27 % on Frankfurt) surpass recent studies, establishing a robust, generalizable, and explainable architecture, suitable for clinical practice requirements.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 DATA AND VALIDATION STRATEGY

The study is based on three complementary clinical datasets:

PIMA Indians (n = 768), composed exclusively of Native American women with a strong genetic predisposition to diabetes and a prevalence of 34.9%.

Frankfurt Hospital (n = 2000), a European cohort from the Frankfurt University Hospital Diabetes Registry, with a prevalence of 41.2%.

PIMA + Frankfurt Fusion (n = 2768), enabling increased statistical power (prevalence: 39.5%) and promoting inter-population evaluation. Each dataset contains eight biomedical variables: number of pregnancies, plasma glucose concentration, blood pressure, skinfold thickness, insulin, body mass index (BMI), diabetes pedigree function, and age, along with a binary target variable indicating the presence or absence of diabetes.

2.2 QUALITY AUDIT AND MISSING VALUE MANAGEMENT

Exploratory analysis reveals similar missing value rates between PIMA and Frankfurt, particularly for:

Insulin: ~48% missing, reflecting clinical measurement constraints.

SkinThickness: ~29% missing, related to high inter-operator variability.

Table 1. Rate of Zero Values (values = 0) by Variable in the PIMA and Frankfurt Datasets

Variable	PIMA (% of zero)	Frankfurt (% of zero)
Glucose	0,65%	0,65%
BloodPressure	4,56%	4,50%
SkinThickness	29,56%	28,65%
Insulin	48,7%	47,8%
BMI	1,43%	1,4%

The homogeneity of missing value patterns allows for the application of a single imputation strategy: KNN ($k = 5$). The optimization of k through cross-validation minimized the bias-variance trade-off.

2.3 VALIDATION PROTOCOL AND DATA SPLITTING

Three complementary levels of validation were implemented to assess the robustness and generalizability of the proposed model:

Intra-dataset validation: performed separately on the PIMA and Frankfurt datasets to measure the model's performance within each population independently.

Inter-dataset validation: the model is trained on one dataset (e.g., PIMA) and tested on the other (e.g., Frankfurt) to evaluate its ability to generalize across genetically and clinically distinct populations.

Validation on merged data: the two datasets are combined into a single set ($n = 2768$), allowing evaluation on a larger and more heterogeneous cohort representative of a mixed population.

In each scenario, the data are split using a stratified 70/30 ratio, ensuring balanced class distribution. Then, a 5-fold cross-validation (5-fold CV) is applied to further strengthen result robustness.

2.4 PREPROCESSING AND FEATURE ENGINEERING

KNN Imputation ($k = 5$)

Missing values were imputed using KNN ($k = 5$), chosen for its ability to preserve inter-variable relationships while reducing bias. Cross-validation was used to optimize k , ensuring an optimal bias-variance trade-off.

Medically-Guided Feature Engineering

Composite variables were created to enhance the clinical relevance of the model: Age $\times$ BMI, Glucose / BMI, Glucose $\times$ DPF, Insulin / Glucose, and Pregnancies². These transformations reflect recognized pathophysiological interactions, such as the combined effect of aging and obesity or the impact of insulin resistance.

Class Rebalancing (SMOTEENN)

The class imbalance in the datasets (PIMA: 500/268; Frankfurt: 1177/823; Fusion: 1677/1091) was corrected using SMOTEENN, which combines:

SMOTE ($k = 5$): generation of synthetic samples

ENN ($k = 3$): removal of ambiguous points near class boundaries.

Normalization and Standardization

A MinMaxScaler was applied to scale variables into the [0,1] range, improving convergence for models sensitive to feature scaling, such as MLP.

2.5 MODELING

Models Used for Diabetes Prediction

In this study, three high-performing machine learning algorithms were selected for their methodological complementarity and proven effectiveness in the field of medical prediction.

The first, XGBoost (Extreme Gradient Boosting), is a gradient boosting method that successively improves the performance of weak learners by correcting their residual errors. It stands out for its high accuracy, robustness against noisy or imbalanced data, and its ability to avoid overfitting thanks to built-in regularization techniques [14].

The second algorithm is Random Forest (RF), an ensemble method based on the bagging principle. It trains numerous independent decision trees on bootstrap samples and then aggregates their predictions. Appreciated for its stability, ability to model non-linear relationships, and strong performance on medical data, it is a judicious choice in clinical contexts [13].

Finally, the third model is the Multilayer Perceptron (MLP), a multi-layer artificial neural network. Although more demanding in terms of parameter tuning and data volume, the MLP is particularly effective in learning complex representations and modeling non-linear relationships, making it relevant for detecting chronic diseases such as diabetes [12].

Optimized Tri-Ensemble Architecture via Stacking

To overcome the limitations of classical voting techniques (hard or soft voting), this study proposes an advanced ensemble architecture based on two-level hierarchical stacking. This approach aims to leverage the structural complementarity of heterogeneous models while maximizing robustness, accuracy, and the generalization capacity of the predictive system.

At level 1, three specialized classifiers are used as base models: Random Forest, XGBoost, and MLP. Each is trained independently using five-fold stratified cross-validation, ensuring no information leakage by employing out-of-fold predictions. Random Forest contributes robustness and noise tolerance, XGBoost improves performance through precise sequential learning of residual errors, and MLP captures complex non-linear interactions between clinical variables.

At level 2, the predictions from the three base models are used as inputs to a logistic regression meta-model, which learns to dynamically weight the outputs of the models according to patient characteristics. This meta-learner combines the individual strengths of each model while minimizing their specific errors, thus enabling a more refined and reliable final decision (see Figure 1), as demonstrated in the recent work of Rashed et al [13].

Algorithmic Methodology

The complete prediction pipeline developed in this study is structured into five main phases.

The **first phase** concerns data preprocessing. It includes cleaning clinical variables, particularly replacing outlier values in *Insulin* and *SkinThickness* with missing values. Biomedical feature engineering is then performed, generating six new clinically relevant synthetic variables, such as the Glucose/BMI ratio or the Age $\times$ BMI interaction. Missing values are imputed using the KNN Imputer algorithm ($k = 5$), which preserves multivariate

relationships between variables. To address class imbalance, resampling is performed using the SMOTEENN method. Finally, all variables are normalized using the MinMaxScaler method, ensuring a uniform scaling of features.

The **second phase** involves hyperparameter optimization. A Bayesian search is carried out using the Optuna tool, with 30 iterations for XGBoost and 20 for MLP, to identify the most effective parameter combinations.

The **third phase** corresponds to the construction of the ensemble architecture. The three base models (RF, XGB, MLP) are integrated into a stacking architecture with logistic regression as the meta-learner, forming a hierarchical tri-ensemble architecture.

The **fourth phase** concerns model training and validation. A stratified five-fold cross-validation is applied to the entire pipeline, ensuring both the reproducibility of results and the prevention of overfitting through the use of out-of-fold predictions.

Finally, the **fifth phase** focuses on model explainability and interpretability, which are crucial in a medical context. The SHAP (SHapley Additive exPlanations) algorithm is used to quantify and visualize the impact of each variable on the final prediction, enhancing the model's transparency and facilitating its acceptance by healthcare professionals. (See Algorithm 1).

Mathematical Formalism of Stacking [16]

Formally, let three base models be denoted as h_1 , h_2 , and h_3 , corresponding respectively to Random Forest, XGBoost, and MLP. Each model predicts a probability $\pi_i(x)$ that an individual x belongs to the diabetic class:

$$\pi_1(x) = P(y=1|x, \text{RF}),$$

$$\pi_2(x) = P(y=1|x, \text{XGB}),$$

$$p_3(x) = P(y=1|x, \text{MLP})$$

The meta-model $H(x)$, based on logistic regression, learns a weighted combination function of these probabilities:

$$H(x) = \sigma(w_1 \cdot p_1(x) + w_2 \cdot p_2(x) + w_3 \cdot p_3(x) + b)$$

where:

σ sigma denotes the sigmoid function,

w_i are the weights associated with each model,

b is a bias term,

and $H(x)$ represents the final estimated probability that x has diabetes.

This formulation enables a flexible and adaptive aggregation of predictions, optimizing the overall performance of the predictive system.

Algorithm of the Proposed Approach

The algorithm is based on a Bayesian-optimized stacking ensemble architecture, combining advanced preprocessing, SMOTE-ENN balancing, KNN imputation, and SHAP analysis for diabetes prediction that is both high-performing and interpretable.

ALGORITHM 1: DIABETES_PREDICTION_STACKINGENSEMBLE

INPUT: dataset

OUTPUT: optimized_stacking_model, performance_metrics, SHAP_explanations

BEGIN

PHASE 1: DATA PREPARATION

$df \leftarrow \text{LOAD_DATA}(\text{dataset_path})$

$df \leftarrow \text{HANDLE_MISSING_VALUES}(df)$

$df \leftarrow \text{FEATURE_ENGINEERING}(df)$

PHASE 2: PREPROCESSING

$X, y \leftarrow \text{SPLIT_FEATURES_TARGET}(df)$

$X \leftarrow \text{KNN_IMPUTATION}(X, k = 5)$

$X_{\text{balanced}}, y_{\text{balanced}} \leftarrow \text{SMOTEENN_BALANCING}(X, y)$

$X_{\text{train}}, X_{\text{test}}, y_{\text{train}}, y_{\text{test}} \leftarrow \text{TRAIN_TEST_SPLIT}(X_{\text{balanced}}, y_{\text{balanced}}, \text{ratio} = 0.7)$

$X_{\text{train}}, X_{\text{test}} \leftarrow \text{MINMAX_NORMALIZATION}(X_{\text{train}}, X_{\text{test}})$

PHASE 3: HYPERPARAMETER OPTIMIZATION

$\text{Params_xgb} \leftarrow \text{BAYESIAN_OPTIMIZATION_XGBOOST}(X_{\text{train}}, y_{\text{train}}, \text{trials} = 30)$

$\text{Params_mlp} \leftarrow \text{BAYESIAN_OPTIMIZATION_MLP}(X_{\text{train}}, y_{\text{train}}, \text{trials} = 20)$

PHASE 4: ENSEMBLE CONSTRUCTION

$\text{stacking_model} \leftarrow \text{TRAIN_STACKING}(X_{\text{train}}, y_{\text{train}}, \text{params_xgb}, \text{params_mlp})$

PHASE 5: EVALUATION

$\text{metrics} \leftarrow \text{FULL_EVALUATION}(\text{stacking_model}, X_{\text{test}}, y_{\text{test}})$

$\text{explanations} \leftarrow \text{SHAP_ANALYSIS}(\text{stacking_model}, X_{\text{train}})$

RETURN stacking_model, metrics, explanations

END

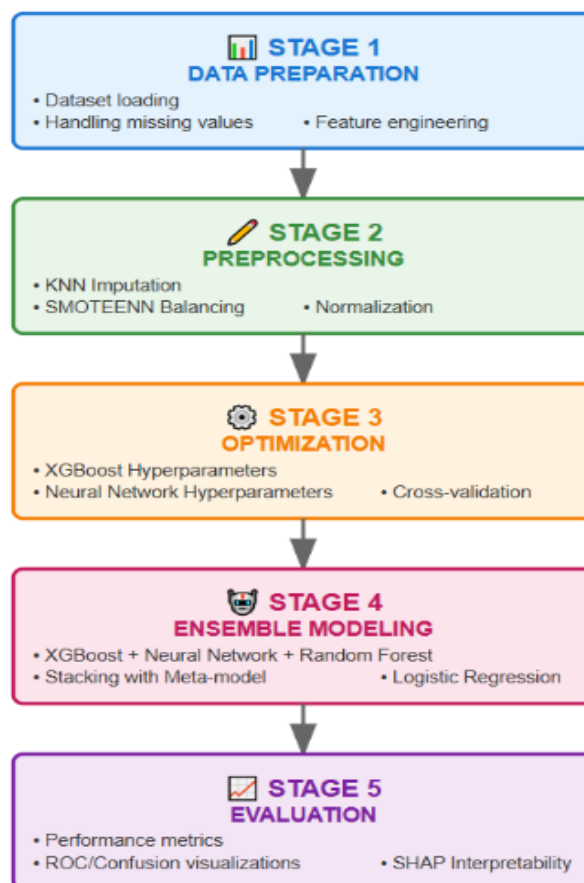


Fig. 1. Flowchart of the Proposed Method

2.6 OPTIMIZATION AND INTERPRETABILITY

Bayesian Hyperparameter Optimization

To improve model performance while reducing computational cost, Bayesian optimization was performed using the **Optuna** library, renowned for its efficiency in complex and multidimensional search spaces. The underlying algorithm relies on the **Tree-structured Parzen Estimator (TPE)** strategy, which enables intelligent exploration of the hyperparameter space.

The optimized parameters vary according to the models considered:

- **XGBoost:** n_estimators, max_depth, learning_rate, subsample, colsample_bytree
- **Random Forest:** n_estimators, max_depth, min_samples_split, max_features
- **MLP:** hidden_layer_sizes (number of neurons), activation, alpha, batch_size, learning_rate_init

Model Interpretability with SHAP [15]

Prediction interpretability was ensured using the **SHAP (SHapley Additive exPlanations)** method, which quantifies the individual contribution of each variable to the prediction.

Three levels of analysis were performed:

- **Global analysis:** calculation of the average feature importance across the entire dataset. The most influential variables were *glucose*, *BMI*, *age*, as well as the derived features *Age × BMI* and *Glucose/BMI*.
- **Local analysis:** individualized visualization of each variable's contribution to the prediction for a given patient. This approach allows for explaining each model decision in light of the patient's specific biometric profile.

- **Population-differentiated analysis:** comparison of SHAP values between the PIMA and Frankfurt datasets, revealing structural disparities. For example, the *Diabetes Pedigree Function (DPF)* was found to be more determinant among PIMA female patients, whereas *BMI* was more discriminative in the Frankfurt cohort. These findings highlight the necessity of adapting interpretation to the epidemiological specificities of each population.

The SHAP approach enhances the transparency and clinical acceptability of the prediction system by providing an understandable and traceable explanation for each algorithmic decision.

3 RESULTATS

3.1 BAYESIAN HYPERPARAMETER OPTIMIZATION

The optimal configurations identified varied according to the dataset:

- **PIMA Indians (n = 768):**
 - **XGBoost:** n_estimators = 251, max_depth = 5, learning_rate = 0.288, subsample = 0.658, colsample_bytree = 0.657
 - **MLP:** n_neurons = 119, learning_rate = 0.00120, batch_size = 16, epochs = 129
- **Frankfurt Hospital (n = 2000):**
 - **XGBoost:** n_estimators = 100, max_depth = 5, learning_rate = 0.193, subsample = 0.866, colsample_bytree = 0.606
 - **MLP:** n_neurons = 110, learning_rate = 0.00081, batch_size = 16, epochs = 102, dropout = 0.206
- **PIMA + Frankfurt Fusion (n = 2768):**
 - **XGBoost:** n_estimators = 105, max_depth = 8, learning_rate = 0.238, subsample = 0.604, colsample_bytree = 0.863
 - **MLP:** n_neurons = 42, learning_rate = 0.00083, batch_size = 16, epochs = 97, dropout = 0.361

These results reveal a notable variation in optimal architectures depending on the size and heterogeneity of the datasets, confirming the importance of dataset-specific optimization for each application context.

3.2 DETAILED PERFORMANCE BY DATASET

Table 2. Performance of the Stacking Model (RF + XGBoost + MLP) on the PIMA, Frankfurt, and Combined Datasets

Dataset	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score	AUC-ROC
PIMA	94.05%	93.21%	94.87%	94.03%	99.01
Frankfurt	99.27%	99.15%	99.38%	99.26%	99.92%
Frankfurt + PIMA	99.71%	99.63%	99.81%	99.72%	99.99%

Table 1 highlights the high performance of the stacking model, particularly on the Frankfurt dataset (accuracy: 99.27%, AUC: 99.92%), suggesting a favorable data structure and well-differentiated profiles. In comparison, the results on PIMA (accuracy: 94.05%) reveal greater complexity associated with borderline cases. The fusion of the two datasets achieves optimal performance (accuracy: 99.71%, AUC: 99.99%), demonstrating a synergistic complementarity that enhances the model's generalization capability.

3.3 ABLATION STUDY ON FRANKFURT

Table 3. Results of the Ablation Study on the Frankfurt Dataset – Impact of Removing Pipeline Components

Removed Component	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score	AUC	Impact
Baseline (complete)	98.68%	98.67%	98.94%	98.80%	99.89%	-
Class balancing	93.83%	92.00%	89.76%	90.86%	97.51%	-4.85%
Feature Engineering	97.76%	97.12%	98.93%	98.02%	99.18%	-0.92%
BMI × DPF	97.37%	97.35%	97.87%	97.61%	99.65%	-1.31%
Age × BMI	97.94%	97.89%	98.41%	98.15%	99.45%	-0.74%
Glucose/BMI	97.94%	97.88%	98.40%	98.14%	99.80%	-0.74%
Insulin/Glucose	98.53%	98.41%	98.94%	98.67%	99.89%	-0.15%
Glucose × DPF	98.52%	99.18%	98.10%	98.63%	99.95%	-0.16%
Pregnancies	98.66%	97.87%	99.73%	98.79%	99.88%	-0.02%
Imputation	98.14%	99.00%	97.55%	98.27%	99.94%	-0.54%
Normalization	98.68%	98.67%	98.94%	98.80%	99.89%	0.00%

Table 3 reveals that class balancing is the most critical component of the pipeline, with a 4.85% accuracy drop when removed. Derived variables such as *BMI × DPF* (−1.31%) and overall feature engineering (−0.92%) also play a key role. Other elements, such as *Age × BMI* or *Glucose/BMI* interactions, have a moderate impact (∼−0.74%). In contrast, certain variables such as *Pregnancies*² or normalization have no significant effect, highlighting the robustness of the model and helping identify priority components for optimization.

3.4 COMPARATIVE SHAP ANALYSIS (PIMA VS. FRANKFURT)

The SHAP analysis presented in Figures 2 (Frankfurt), 3 (PIMA), and 4 (Fusion) highlights marked differences in feature importance across datasets. In all cases, *Glucose* emerges as the most predictive variable, with a consistently high effect.

- **Figure 2 (Frankfurt):** *Glucose*, *BMI*, and the *Age × BMI* interaction dominate, reflecting a homogeneous cohort with well-separated metabolic profiles.
- **Figure 3 (PIMA):** In addition to *Glucose*, *Insulin*, *BMI*, and variables such as *SkinThickness* and *DPF* gain importance, reflecting the epidemiological complexity of this population. *DPF* (Diabetes Pedigree Function) quantifies genetic predisposition to diabetes but remains moderately contributive as it is less directly linked to clinical measurements.
- **Figure 4 (Fusion):** Combining the datasets allows the model to capture richer interactions, particularly *Glucose × DPF* and *Age × BMI*, while reducing the impact of unstable variables such as *DPF* or *Pregnancies*.

These results show that: Certain variables (e.g., *Glucose*) are robust across contexts; Others (*Insulin*, *BMI*) are sensitive to epidemiological differences; Dataset fusion improves the model's generalization and stability.

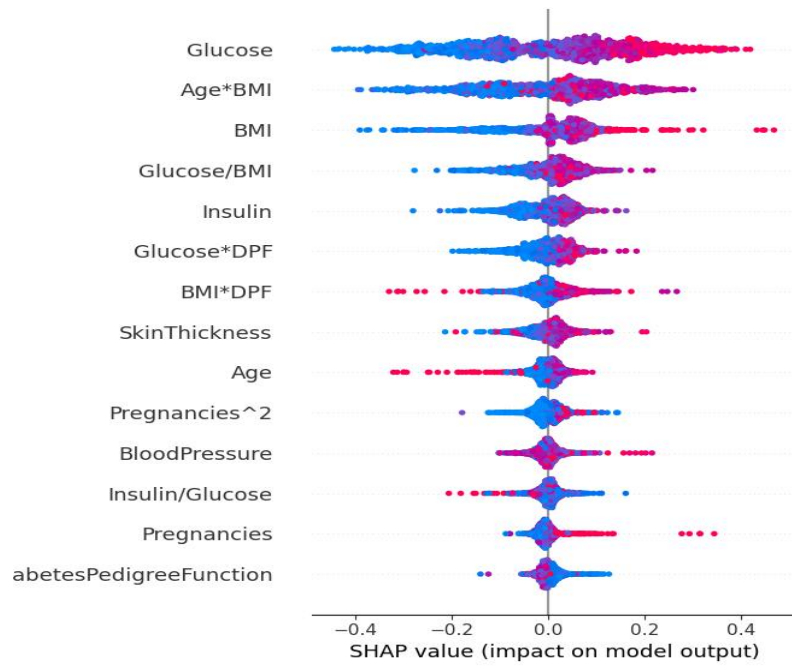


Fig. 2. SHAP Scatter Plot (Frankfurt Dataset) – Feature Importance in Diabetes Prediction

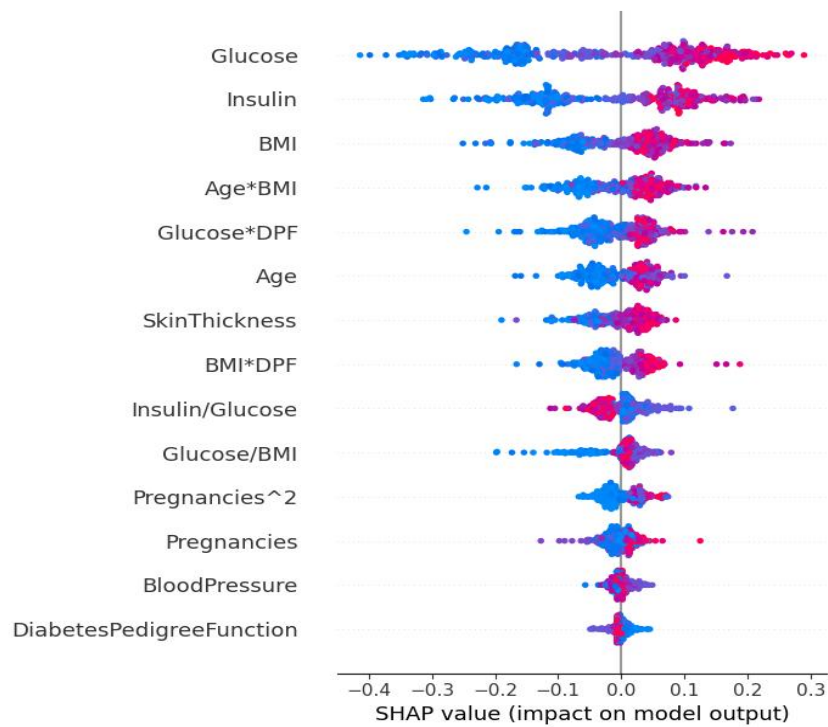


Fig. 3. SHAP Scatter Plot (PIMA Dataset) – Feature Importance in Diabetes Prediction

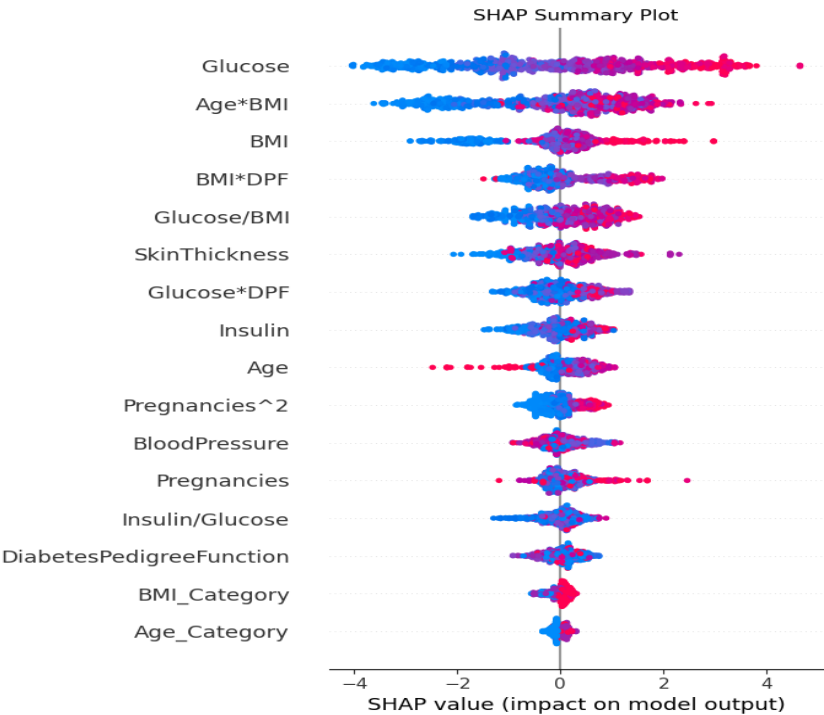


Fig. 4. SHAP Scatter Plot (PIMA + Frankfurt Dataset) – Feature Importance in Diabetes Prediction

4 DISCUSSION

A detailed analysis of the results highlights the methodological robustness of the proposed approach, structured around four key pillars: context-specific model optimization, cohort-specific performance differences, the superiority of stacking, and robustness demonstrated through an ablation study. Together, these dimensions converge toward a compelling demonstration of the scientific validity and clinical generalization potential of the developed pipeline.

4.1 CONTEXTUAL BAYESIAN OPTIMIZATION: FINE-TUNING TO DATASET CHARACTERISTICS

The integration of Bayesian optimization proved to be a strategic lever for precisely adjusting the hyperparameters of the XGBoost and MLP models, taking into account the epidemiological specificities of each dataset.

For the **PIMA Indians** dataset, characterized by high structural complexity (subtle non-linear relationships, a high proportion of borderline cases), optimal models were deeper and more sophisticated: XGBoost required 251 trees, and the MLP needed 129 epochs to converge effectively.

In contrast, for the **Frankfurt Hospital** dataset, the models converged with lighter architectures (XGBoost at 100 trees, MLP at 102 epochs), reflecting a more homogeneous distribution and better-defined clinical signals. For the **combined dataset**, the optimal architectures were intermediate but reinforced (e.g., max_depth = 8 for XGBoost), reflecting the increased richness of variable interactions arising from complementary cohorts.

This context-specific optimization leverages the inherent structure of the data, thereby maximizing each model’s performance while ensuring fine adaptation to underlying clinical realities.

4.2 CONTRASTED PERFORMANCE ACROSS COHORTS: EPIDEMIOLOGICAL DIVERSITY AND PREDICTIVE RICHNESS

The comparative evaluation of performance reveals marked variability across the studied cohorts. On the **Frankfurt dataset**, the model achieved an accuracy of 99.27% and an AUC-ROC of 99.92%, indicating excellent discriminative capacity, likely facilitated by case homogeneity and well-defined clinical profiles.

Conversely, performance on the **PIMA** dataset was slightly more modest (accuracy = 94.05%), consistent with the well-documented complexity of this dataset (fuzzy class distribution, ethnic diversity, socio-medical factors).

Merging the two cohorts proved particularly fruitful, yielding an accuracy of 99.71% and an AUC-ROC of 99.99%. This result demonstrates a **synergistic effect** stemming from enriched variable interactions and broader coverage of clinical cases.

The diversification of patient profiles thus enhances the robustness of the model, improving its generalizability to heterogeneous real-world contexts.

4.3 SUPERIORITY OF STACKING: INTELLIGENT INTEGRATION OF HETEROGENEOUS MODELS

The comparative analysis between individual models and the stacking approach clearly highlights the superiority of the ensemble method. For example, on the Frankfurt dataset, stacking achieved an accuracy of 99.27%, representing an absolute gain of +2.55% over the best individual model (XGBoost at 96.72%).

This substantial improvement is explained by the **algorithmic complementarity** of the classifiers used (Random Forest, XGBoost, MLP). Stacking leverages each model's strengths—tree-based robustness, sequential precision, and neural capacity to capture non-linearities—to produce a more reliable final decision, particularly in ambiguous or borderline cases.

In a sensitive domain such as healthcare, this adaptive integration strategy provides a decision-making framework that is **reliable, stable, and compliant with clinical requirements** for accuracy, interpretability, and safety.

4.4 COMPARATIVE SHAP ANALYSIS: INTER-COHORT VARIABILITY AND MODEL INTERPRETABILITY

The **PIMA dataset**, despite being enriched with relevant clinical variables, presents a complex structure marked by class imbalance, missing values, and a high proportion of borderline cases—necessitating advanced preprocessing, including SMOTEENN and robust feature engineering. The SHAP analysis reveals that predictions rely primarily on a narrow set of dominant variables such as *Glucose*, *Insulin*, and *BMI*, while other features contribute marginally.

In contrast, the **Frankfurt dataset** is distinguished by population homogeneity and clear clinical signals, enabling excellent discriminative ability (AUC = 99.92%) through efficient exploitation of biomedical interactions.

The **fusion** of the two datasets enhances clinical representativeness, yields a notable improvement in performance (accuracy = 99.71%, AUC = 99.99%), and strengthens inter-cohort generalization. This fused model retains **high interpretability**, with a SHAP hierarchy that is coherent and well-aligned with biomedical knowledge.

5 COMPARISON WITH THE STATE OF THE ART

To rigorously position our approach within the current scientific ecosystem, we conducted a two-stage comparative analysis focused on ensemble models applied to the **Frankfurt Hospital Germany Diabetes Dataset (FHGDD)**.

Our stacking architecture—combining Random Forest, XGBoost, and MLP, orchestrated by a logistic regression meta-learner—achieves an accuracy of **99.27%** and an AUC-ROC of **99.92%**, while standing out through high interpretability via SHAP and rigorous inter-dataset validation. This configuration positions our model at the intersection of **statistical robustness** and **clinical transparency**.

A first group of studies proposed relevant approaches but reported results inferior to those of our pipeline. Among them, **Rashed et al. [13]** developed a stacking model based on RF and SVM, with a Gradient Boosting Classifier (GBC) as the meta-model. While their system achieved an accuracy of **99.13%** and an F1-score of **99.25%**, it offered no formal explanation of its decisions (absence of SHAP or LIME), representing a major barrier to its application in personalized medicine. A variant of their model achieved **99.10%** accuracy but with interpretability rated as low to moderate.

Similarly, **Ihnaini et al. [17]** proposed a deep learning approach with IoMT data fusion, reaching an accuracy close to **99%**. However, the study reported no cross-validation, and the absence of model explainability limits its applicability in critical diagnostic contexts.

In a more traditional vein, **Boughareb et al. [18]** combined standard ensemble methods (Voting, Bagging, XGBoost), obtaining an accuracy of **92.7%** and an F1-score of **88.7%**. While technically sound, their approach suffered from limited discriminative capacity, weak validation protocols, and no integration of interpretability mechanisms, making it less competitive compared to our solution.

These approaches, despite methodological diversity, share a certain deficit in **experimental rigor or transparency**. By contrast, they underscore the relevance and superiority of our model in scenarios that demand both strong predictive performance and clinical accountability.

On the other hand, some recent studies have reported raw results slightly exceeding ours, but at the cost of **decision traceability**. For example, **Aouamria [12]** proposed a hybrid architecture integrating CNN, LSTM, AdaBoost, and XGBoost (DNet), achieving an impressive accuracy of **99.79%** and an AUC-ROC of **99.98%**. However, this performance comes with a complete lack of explanatory analysis, and the absence of validation on other cohorts raises doubts about the model's generalizability.

Similarly, **Kumar et al. [19]** implemented a CNN model optimized via the Cheetah Strategy COA algorithm, reaching **99.72%** accuracy. Nonetheless, their approach is entirely deep learning-based, without integration of interpretability tools, and without evidence of inter-cohort robustness, limiting its clinical transferability.

While these approaches achieve **extremely high numerical accuracy**, they raise the crucial question of balancing **raw performance and interpretability**—a central challenge for AI systems intended for precision medicine.

In light of this twofold comparison, our model emerges as a **balanced solution**, combining high-level predictive performance with rigorous, biomedically relevant explainability. The joint use of **SMOTEENN**, **Bayesian optimization**, **inter-cohort validation**, and **SHAP-based interpretation** endows our pipeline with the **operational robustness** and **scientific transparency** essential for safe clinical deployment. It thus stands as a **stable methodological benchmark**, capable of competing with the most advanced systems while meeting the requirements of traceability, reproducibility, and medical decision support.

Table 4. Performance Comparison of Ensemble Methods for Diabetes Prediction on the Frankfurt Dataset and Related Variants

Étude	Méthode	Dataset(s)	Accuracy
NOTRE METHODE	Stacking (RF+XGB+MLP)	Frankfurt	99.27
[12]	CNN+LSTM+AdaBoost+XGBoost	Frankfurt	99.79%
[19]	CNN + COA	Frankfurt	99.72%
[19]	CNN + COA	PIMA	99.90%
[13]	RF+SVM+GBC Stacking	Frankfurt	99.13%
[17]	Deep Ensemble	Frankfurt	99.00%
[17]	Fusion multisource	Frankfurt + Multi	99.60%
[18]	Ensemble voting/stitching	Frankfurt	92.70%

6 CONCLUSION

This study proposes a methodology for **type 2 diabetes prediction** based on an ensemble stacking architecture combining three complementary models: Random Forest, XGBoost, and Multi-Layer Perceptron. Optimized through **context-specific Bayesian search** via Optuna, the approach is strengthened by robust preprocessing (KNN imputation, MinMax normalization), adaptive class rebalancing with **SMOTEENN**, and clinically guided biomedical feature engineering (e.g., *Age × BMI*, *Glucose/BMI*). Model interpretability is ensured through an in-depth **SHAP-based analysis**, guaranteeing decision transparency in line with the requirements of the medical domain.

The achieved performances are: **94.05%** on the PIMA Indians dataset, **99.27%** on the Frankfurt Hospital dataset, and **99.71%** on the combined cohort. The corresponding AUC-ROC scores reach **99.01%**, **99.92%**, and **99.99%**, respectively, confirming the robustness of the model across diverse epidemiological contexts. Compared to competing approaches in the literature, the proposed architecture stands out not only for its high level of accuracy but also for its **inter-cohort generalizability** and its ability to **explain individual predictions**.

Despite these encouraging results, several limitations must be acknowledged. First, the model has not yet been prospectively validated in a real-world clinical environment, which remains a constraint. Integrating **longitudinal data** (e.g., time series of blood glucose or glycated hemoglobin) could broaden the scope toward dynamic risk prediction. Furthermore, enriching the model with **multimodal data** (genomic, behavioral, socio-economic) could enhance the clinical relevance of the system within the framework of **personalized medicine**.

REFERENCES

- [1] International Diabetes Federation. (2021). *IDF Diabetes Atlas* (10th ed.). <https://diabetesatlas.org>
- [2] Patil, Suraj, Varsha Nemade, and Piyush Kumar Soni. «Predictive modelling for credit card fraud detection using data analytics.» *Procedia computer science* 132 (2018): 385-395.
- [3] Maniruzzaman, M., Rahman, M. J., Ahammed, B., & Suri, H. S. (2018). Classification and prediction of diabetes disease using machine learning paradigm. *Health Information Science and Systems*, 6, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s13755-018-0043-1>.
- [4] Islam, S. M. S., Yang, H. C., Poly, T. N., & Li, Y. C. (2020). Exploiting data mining techniques for diabetes diagnosis and classification: A comparative performance analysis. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 194, 105–130. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2020.105024>.
- [5] Oliullah, M., Rahman, M. M., & Haque, M. N. (2024). A novel stacking-based ensemble learning framework for diabetes prediction with SHAP explainability. *Journal of Biomedical Informatics*, 145, 104368. <https://doi.org/10.1016/j.jbi.2024.104368>.
- [6] Abdollahi, M., & Nouri-Moghaddam, M. (2022). An IoT-enabled ensemble learning model for diabetes prediction using genetic algorithm-based stacking. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 13 (6), 2761–2772. <https://doi.org/10.1007/s12652-021-03316-4>.
- [7] Reza, M. H., Kabir, M. H., & Hossain, M. S. (2023). Adaptive stacking for diabetes prediction in local populations: A comparative study. *IEEE Access*, 11, 15274–15285. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3247603>.
- [8] Talari, S., Liu, J., & Xiang, Y. (2024). Ultra-fast bagging-based ensemble for clinical decision making: A case study on diabetes. *Expert Systems with Applications*, 215, 119183. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.119183>.
- [9] Ihnaini, B., Al-Amri, J. F., & Damiani, E. (2021). A hybrid IoMT–EHR framework for predictive diagnosis of diabetes mellitus. *Journal of Medical Systems*, 45 (10), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s10916-021-01786-1>.
- [10] Hasan, M., & Yasmin, N. (2024). Deep neural network ensemble for diabetes prediction using IoT medical devices. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 20 (2), 1134–1145. <https://doi.org/10.1109/TII.2024.3020191>.
- [11] Elhoseny, M., Shankar, K., & Lakshmanaprabu, S. K. (2020). Soft voting ensemble for diabetes classification using SVM, KNN, and random forest. *Health and Technology*, 10 (3), 889–897. <https://doi.org/10.1007/s12553-019-00376-6>.
- [12] Aouamria, S., & Boukhalfa, K. (2024). An ensemble deep learning model for diabetes disease prediction. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 12 (4), 2454–2462. <https://doi.org/10.18201/ijisae.2024.2454>.
- [13] Rashed, M. G., Rahman, M. M., & Hossain, M. S. (2025). StackDiab: Stacking-based prediction model using clinical and laboratory features for early diagnosis of diabetes. *Journal of Clinical and Translational Endocrinology*, 29, 100342. <https://doi.org/10.1016/j.jcte.2025.100342>.
- [14] Han, J., Guo, Y., & Wang, L. (2025). Glu-Ensemble: A temporal deep ensemble model for glucose level prediction in type 2 diabetes. *Artificial Intelligence in Medicine*, 143, 102601. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2025.102601>.
- [15] Akiba, T., Sano, S., Yanase, T., Ohta, T., & Koyama, M. (2019). Optuna: A next-generation hyperparameter optimization framework. In *Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining* (pp. 2623–2631). <https://doi.org/10.1145/3292500.3330701>.
- [16] Wolpert, D. H. (1992). Stacked generalization. *Neural networks*, 5 (2), 241-259.
- [17] Ihnaini, Baha, et al. «A smart healthcare recommendation system for multidisciplinary diabetes patients with data fusion based on deep ensemble learning.» *Computational Intelligence and Neuroscience* 2021.1 (2021): 4243700.
- [18] Boughareb, Djalila, Said Bouteldja, and Hamid Seridi. «A Novel Ensemble Learning Approach for Diabetes Prediction in Imbalanced Datasets.» (2024).
- [19] Kumar, P., Thomas, M., Manur, M., & Pani, A. K. (2025). Convolutional Neural Network based Di-Strategy Cheetah Optimization Algorithm for Automatic Diabetes Prediction. *International Journal of Computing*, 24 (2).

Effet de trois biofertilisants à base de *Azolla filiculoides*, *Tithonia diversifolia* et fiente de *Galus galus* sur la productivité de l'aubergine (*Solanum melongena*) à Daloa (Côte d'Ivoire)

[Effect of three biofertilizers based on *Azolla filiculoides*, *Tithonia diversifolia*, and *Galus galus* manure on the productivity of eggplant (*Solanum melongena*) in Daloa (Ivory Coast)]

Groga Noël, Kouakou Yao Bertin, Gore Bi Boh Nestor, and Soro Dogniméton

Université Jean Lorougnon Guédé¹. Laboratoire d'Amélioration de la Production Agricole, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study is part of the sustainable management of soil fertility. It aims to identify biofertilizers to boost eggplant production. For this purpose, a randomized block device with three repetitions was set up. Within this device, the treatment consisted of the application of two biofertilizers separately or in combination: T0 (control): plot without fertilizer, T1: Plot fertilized only with *Azolla filiculoides*, T2: Plot fertilized only with *Tithonia diversifolia* and T3: Plot fertilized only with chicken manure. From planting to harvest, growth parameters and yield (leaf length and width, height, diameter, wingspan, number of vegetables) of the Kalenda F1 eggplant variety were collected. The result of statistical analyses showed that the growth and production of plants was boosted by the biofertilizer *T. diversifolia*. However, *Azolla filiculoides* could be applied in the absence of *T. diversifolia*.

KEYWORDS: Eggplant (*Solanum melongena*), *Tithonia diversifolia*, *Azolla filiculoides*, chicken droppings, yield.

RESUME: La présente étude s'inscrit dans le cadre de la gestion durable de la fertilité des sols. Elle vise à l'identification des biofertilisants pour booster la production de l'aubergine. A cet effet, un dispositif en bloc randomisé avec trois répétitions a été mis en place. A l'intérieur de ce dispositif, le traitement a consisté en l'application de deux biofertilisants séparément ou en association: T0 (Témoin): parcelle sans fertilisant, T1: parcelle fertilisée uniquement avec *Azolla filiculoides*, T2: parcelle fertilisée uniquement avec *Tithonia diversifolia* et T3: parcelle fertilisée uniquement avec de la fiente de poulet. Du planting à la récolte les paramètres de croissance et le rendement (longueur et largeur des feuilles, hauteur, diamètre, envergure, nombre de légume) de la variété d'aubergine Kalenda F1 ont été collectés. Le résultat des analyses statistiques a montré que la croissance et la production des plantes de aubergines a été boosté par le biofertilisant *T. diversifolia*. Cependant, *A. filiculoides* pourrait être appliqué en absence de *T. diversifolia*.

MOTS-CLEFS: Aubergine (*Solanum melongena*), *Tithonia diversifolia*, *Azolla filiculoides*, fiente de poulet, rendement.

1 INTRODUCTION

La contribution de l'agriculture à la sécurité alimentaire des villes est d'une importance capitale dans les pays en voies de développement tels que la Côte d'Ivoire. Dans le cadre de l'utilisation des espaces urbains et péri-urbains, le maraîchage occupe une place stratégique pour un approvisionnement adéquat en légumes et légume-fruits [1]. L'amélioration du maraîchage fait appel aux intrants. Plusieurs espèces sont cultivées en Côte d'Ivoire, dont l'aubergine.

L'aubergine (*Solanum melongena*) appartient à la famille des Solanacées et au genre *Solanum*. C'est l'un des légume-fruits qui entre dans la composition de plusieurs mets [2]. Elle contient de nombreux métabolites secondaires dont les polyphénols et elle constitue une bonne source de vitamines et de minéraux dont le potassium [3]. Selon ces auteurs, elle apporte une bonne dose d'éléments nutritifs

(protides, lipides, glucides et fibres) et de minéraux. La production mondiale de l'aubergine était de 46 825 331 tonnes en 2011 et de 85 729 tonnes en Côte d'Ivoire [4].

La pérennisation de sa culture est liée au maintien de la fertilité du sol [5]. Or, la forte pression sur les terres agricoles réduit leur disponibilité et occasionne une baisse significative de la fertilité du sol ainsi que des rendements des cultures [6]. Toutefois, si l'usage des engrais de synthèse est une pratique déterminante pour l'augmentation des rendements des cultures, leur coût élevé et leur impact négatif sur l'environnement et la santé des populations limitent leur utilisation par les agriculteurs [7]. En outre, l'utilisation abusive de ces engrais minéraux est généralement source à la base d'un processus de salinisation du sol, conduisant ainsi à la dégradation de sa fertilité [8].

L'exigence simultanée d'une productivité élevée et la durabilité des systèmes d'exploitation des terres est un défi majeur pour les paysans. Il est alors impératif de rechercher d'autres sources de nutriment pouvant favoriser une agriculture durable. De nombreux travaux ont montré que les amendements biologiques jouent un rôle prépondérant sur diverses propriétés du sol, justifiant ainsi leur utilisation récurrente [9]; [10]. Les applications de la matière organique permettant la récupération des éléments nutritifs perdus tels que l'azote et le phosphore, améliorent les propriétés physico-chimiques et microbiologiques [11].

L'une des solutions les moins onéreuses pourrait être l'utilisation et la valorisation d'engrais biologique obtenus à partir des sous-produits végétaux et animaux pour la restauration de la fertilité du sol. En effet, l'application de la matière organique pourrait paraître comme une alternative durable à l'emploi des engrais pour un plus grand équilibre du sol tout en produisant en quantité [12]. Cette pratique agricole serait respectueuse de la santé humaine et de l'environnement d'où l'intérêt de cette étude. Ainsi, elle vise de façon générale à valoriser les engrais biologiques dans la production de l'aubergine.

Spécifiquement il s'agit de:

- Évaluer l'effet de *Azolla filiculoides*, de *Tithonia diversifolia* et de la fiente de poulet sur les paramètres de croissance;
- Déterminer l'effet de ses biofertilisants sur le rendement de l'aubergine.

1.1 ZONE D'ÉTUDE

1.1.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ÉTUDE

Notre étude s'est déroulée à Daloa. La ville de Daloa est située dans la région du Haut-Sassandra au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. Cette région est située entre le 6° et 7° de latitude Nord et le 7° et 8° de Longitude Ouest. Elle a une superficie de 15 200 Km² pour une population estimée 591 633 habitants [13]. Le récent recensement estimait cette population à environ 421.879 d'habitants ce qui en fait la 4ème ville la plus peuplée du pays [14]. Cette population est composée majoritairement d'autochtones (Bété, Niaboua et Gouro), d'allogènes (Baoulé, Sénoufo, Malinké) et des populations de la CEDEAO ainsi qu'une communauté Libanaise [15].

La parcelle expérimentale se trouve au sein de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa située entre 6°54'32" et 6°54'53" de latitude Nord et 6°26'17" et 6°26'24" de Longitude Ouest (Figure 1).

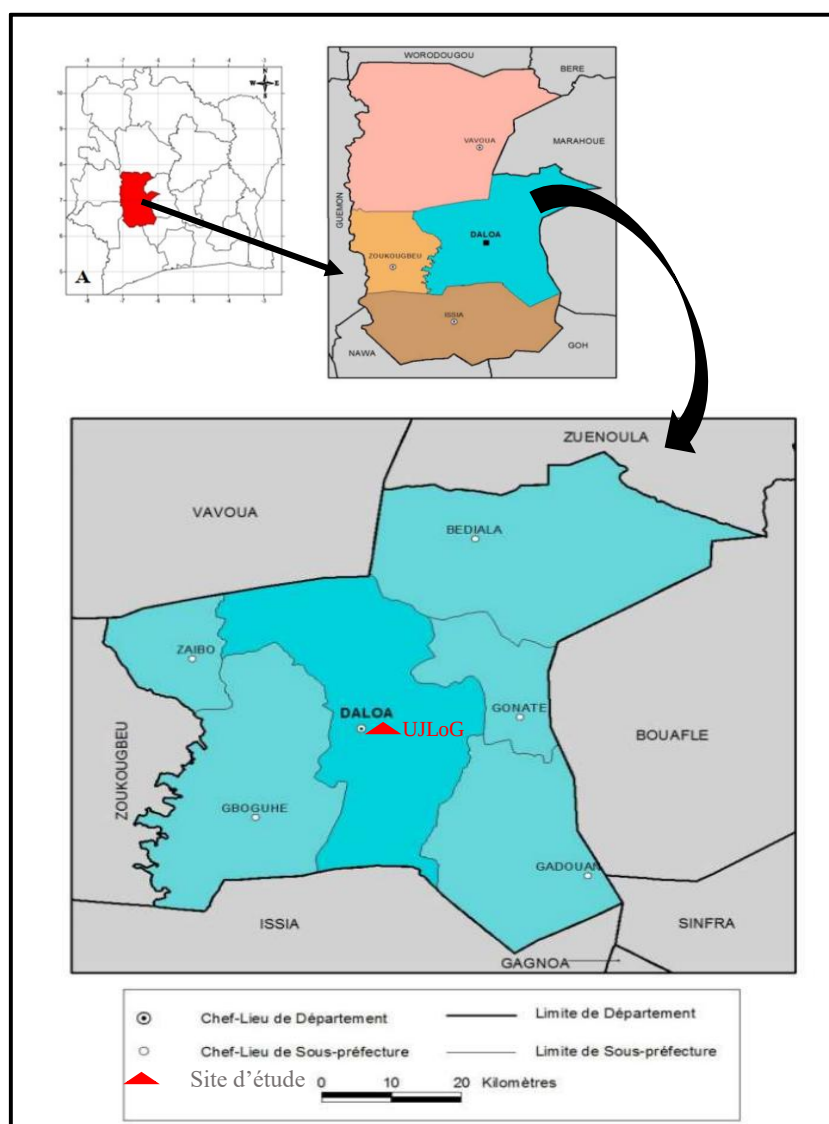


Fig. 1. Localisation du site d'étude (Source: INS 2014)

1.1.2 CLIMAT

Le climat de la région du Haut Sassandra est caractérisé par les températures variant de 24,65 °C à 27,75 °C en moyenne [16]. La pluviométrie annuelle est passée de 1868,5 mm en 1968 à 1200 mm en 2014, soit une baisse d'environ 40 % [17]. Cette baisse de la pluviométrie a été provoquée par la destruction d'une grande partie du couvert forestier. Il existe deux saisons sous cette pluviométrie dont une saison de pluies qui s'étend du mois de février au mois de novembre avec des pics aux mois de juin et septembre. La saison sèche quant à elle est comprise entre mi-novembre et fin janvier.

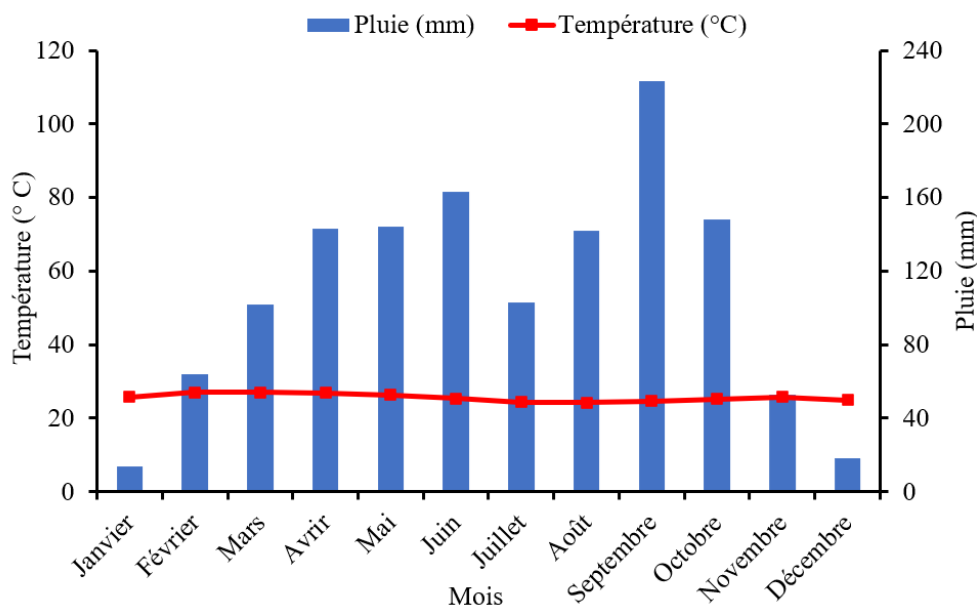


Fig. 2. Diagramme ombrothermique (source climat data.org, 2012)

1.1.3 SOL ET VÉGÉTATION

Les sols de la région de Daloa sont ferralitiques et présentent de bonnes aptitudes agricoles pour tous les types de cultures [18]. La quasi-totalité du bassin se trouve en zone tropicale humide avec une végétation de forêt dense à évolution régressive. La dégradation de cette forêt est accélérée par l'intensification des cultures de rente (cacao, café, palmier à huile et hévéa). Les pratiques culturales extensives et itinérantes, puis l'exploitation non contrôlée des essences forestières constituent également des facteurs de régression de cette forêt [19].

1.2 MATÉRIEL

1.2.1 MATÉRIEL BIOLOGIQUE

1.2.1.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

L'aubergine longue violette (*Solanum melongena*) de la variété F1 Kalinda a été utilisée comme matériel végétal. Elle a été choisie pour deux raisons majeures. D'abord, elle a été choisie pour sa résistance au flétrissement bactérien. Ensuite, notre choix s'est porté sur L'aubergine longue violette (*Solanum melongena*) de la variété F1 Kalinda pour le délai repiquage-fructification qui commence entre les 65 et 75 jours après le repiquage.

1.2.1.2 MATÉRIEL FERTILISANT

Le matériel ayant servi de fertilisant comprend trois types engrais biologiques. L'un fait à base de *Azolla filiculoides*, un autre fait à base de feuille de *Tithonia diversifolia* et le troisième est la fiente de *Galus galus* (figure 3).

1.2.2 MATÉRIEL TECHNIQUE

Plusieurs matériels techniques ont été utilisés. Ce sont:

- Des machettes qui ont servi à défricher la parcelle;
- Des dadas pour labourer et sarcler la parcelle;
- Des houes et un décimètre pour le désherbage et la confection des planches;
- Des piquets pour délimiter des planches; chaque planche est pourvue d'étiquette ce qui va permettre l'identification rapide des traitements;
- Le paillage et une moustiquaire pour protéger la pépinière contre les vents et les ravageurs;
- Des arrosoirs de 12 l pour l'arrosage des plants;
- Un pulvérisateur à main pour le traitement des plants;

- Des paires de ciseaux pour débarrasser des plantes des feuilles mortes;
- Un mètre ruban a été utilisée pour mesurer la longueur et la largeur des feuilles et aussi l'envergure de la plante;
- Des paniers de récolte pour la récolte;
- Une balance électronique pour peser les fruits;
- Un appareil pour les prises de vue;
- Des fiches pour collecter les données;
- Un ordinateur portable hp pour la rédaction du mémoire.

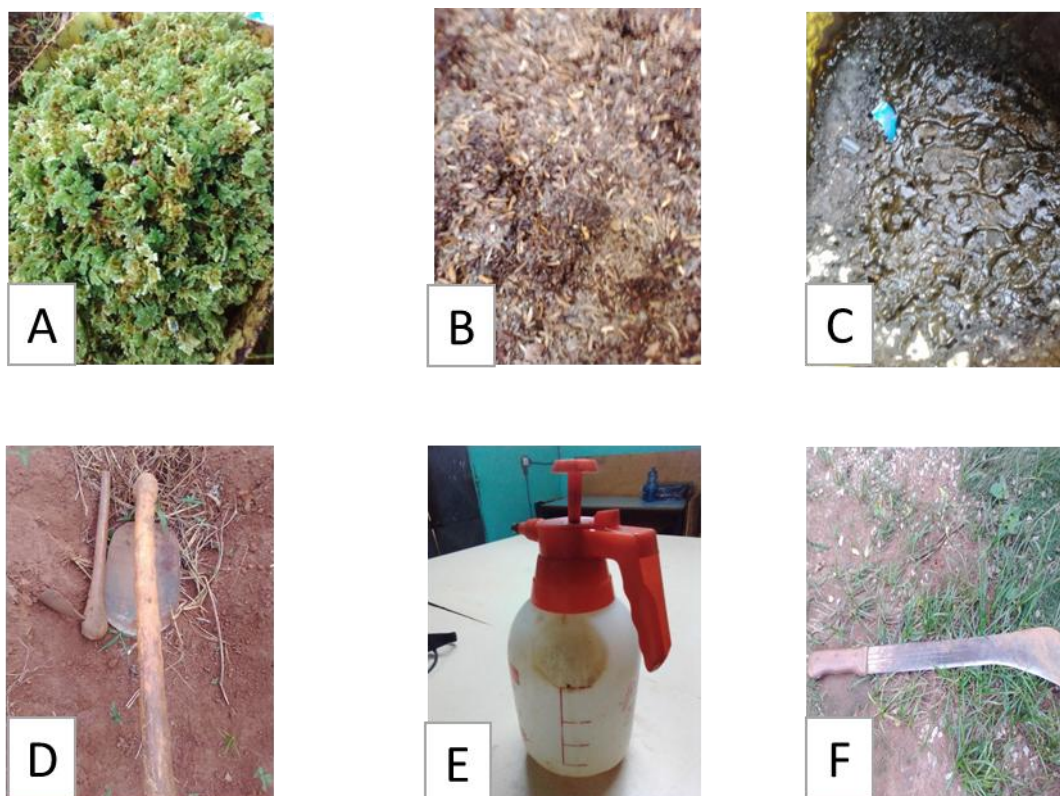


Fig. 3. Fertilisants à base de *Azolla filiculoides*; de Fiente de *Galus galus* et de *Tithonia diversifolia* et matériel technique

1.3 MÉTHODES

1.3.1 PRÉPARATION DES BIOFERTILISANTS

1.3.1.1 PREPARATION DU FERTILISANT À BASE DE TITHONIA DIVERSIFOLIA

Pour obtenir le fertilisant à base de *Tithonia diversifolia*, trois sacs de feuilles de ladite plante ont été récoltées et hachées par la suite. Ces feuilles decoupées (hachées) ont été conservées dans un sac pendant 24 heures en vue d'accélérer leur decomposition. Puis elles sont remises dans un bocal pendant deux à trois semaines avant de récupérer la matière organique décomposée (patte).

1.3.1.2 PREPARATION DE LA FIENTE DE GALUS GALUS

Afin d'obtenir de la fiente de *Galus galus*, la fiente de poulet est trappée dans un recipient à raison de 6 Kg dans 10 L d'eau. Une semaine plus tard, ce produit (fiente) est prêt à l'utilisation.

1.3.1.3 MISE EN CULTURE DE AZOLLA FILICULOÏDES

La mise en culture de *Azolla filiculoides* a été faite dans des bacs d'un volume de 200 L contenant 175 L d'eau de robinet en deux étapes. La première étape a consisté à trapper dans un bidon de 25 L coupé à mis hauteur, 3 Kg de fiente de *Galus galus* pendant trois jours dans 5 L d'eau. Ce mélange est filtré par décantation afin de recueillir le liquide.

La deuxième étape a consistée à faire le mélange du liquide de fiente de poulet avec l'eau du bac. Après, à ce mélange 5 g de *A. filiculaoides* ont été ajoutés. L'*Azolla* récolté a été utilisé sous forme solide.

1.3.1.4 MISE EN PLACE DE LA CULTURE

INSTALLATION DE LA PÉPINIÈRE

Trois sachets de semence d'aubergine ont été achetés à Semivoire pour la mise en place de la pépinière. La pépinière d'aubergine a été faite dans trois bidons de 25 L coupés en deux parties égales suivant la verticale. Ainsi, au total six pots ont été obtenus. Chaque pot est remplis de sable riche en matière organique et qui draine bien. Le semis s'est fait en ligne en raison de trois lignes par pot dont sept poquets par ligne. Ainsi, nous avons 21 poquets avec trois graines dans chacun. Tous ces pots ont été mis sous une ombrière couverte avec des moustiquaires pour une meilleur protection contre les ravageurs et le vent (figure 4).

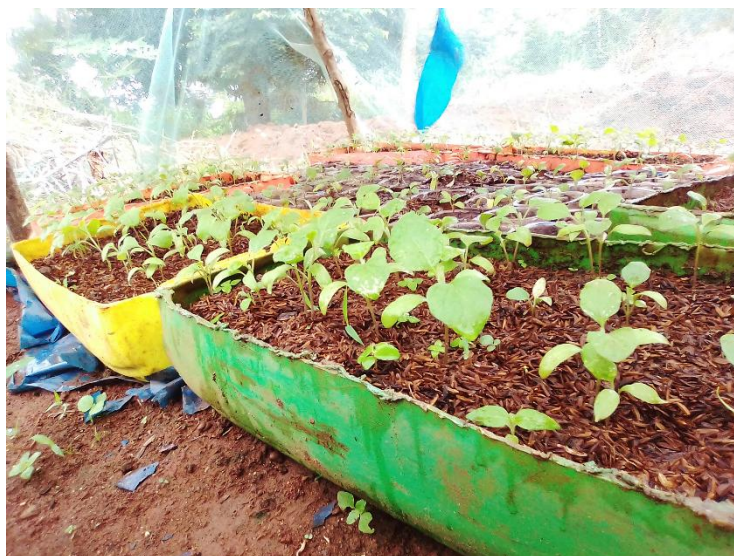


Fig. 4. Pépinière sous ombrière

PRÉPARATION DE LA PARCELLE

La parcelle a été nettoyée manuellement avec une machette avant de réaliser les planches deux semaines plus tard. Les planches ont été faites avec une daba. La parcelle a été divisée en trois blocs de quatre planches. Les planches ont longues de 5 m et une largeur de 2 m. Les distances entre les planches et entre les blocs sont respectivement 0,5 m et 2 m. La hauteur est d'environ 30 cm (Figure 5).



Fig. 5. Préparation de la parcelle (Confection des planches de culture (A= début; B= fin))

REPIQUAGE DES PLANTS D'AUBERGINE

Le repiquage a été réalisé 1 mois 2 jours après semis (JAS) à la date du 12 septembre 2019 entre 17h et 18h. Les plantules les plus vigoureuses ayant entre quatre (4) et cinq (5) feuilles ont été sélectionnées pour le repiquage. Nous avons repiqué un plant dans chaque poquet contenant de l'engrais.

1.3.1.5 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Un dispositif expérimental a été mis en place afin de déterminer l'effet de trois biofertilisants (*T. diversifolia*; *A. filiculoides* et fiente de *Galus galus*) sur la production de l'aubergine. L'expérience a été faite sur trois blocs complètement randomisés avec trois répétitions et quatre traitements. Les quatre traitements dans chaque répétition sont les trois biofertilisants (*T. diversifolia*; *A. filiculoides* et fiente de *Galus galus*) et le témoin (terre sans fertilisant). Entre chaque bloc, une allée de 2 m de large a été observée et les planches d'un même bloc sont distantes de 0,5 m. La parcelle élémentaire a une forme rectangulaire de 5 m de long et 1,5 m de large. La distance entre les lignes est de 1 m et celle entre les poquets est de 0,5 mètre (Figure 6).

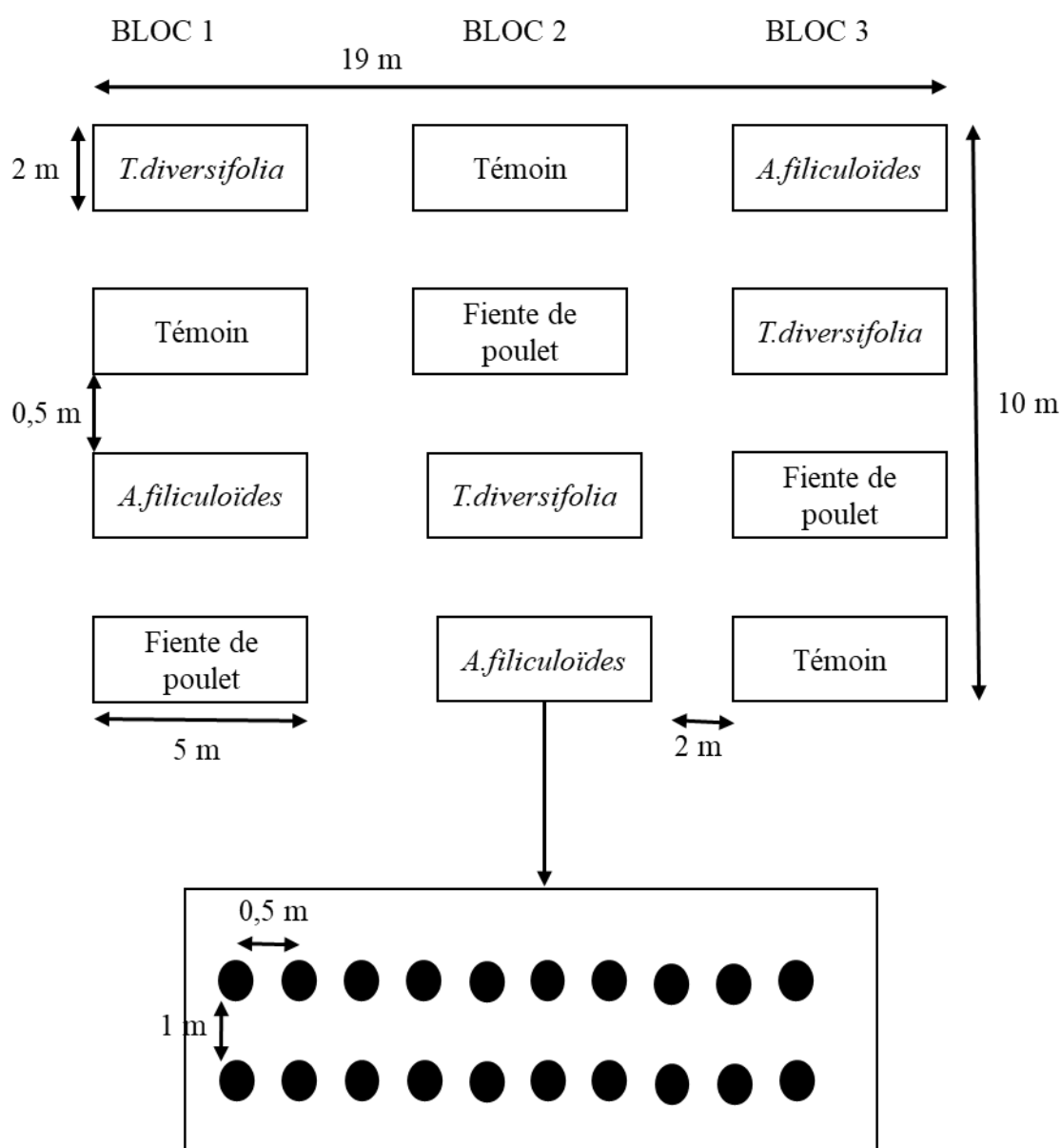


Fig. 6. Dispositif expérimental

1.3.1.6 FERTILISATION DES PLANCHES

Les différents fertilisants ont été apportés cinq fois durant le cycle de production. Les premiers apports ont été faits une semaine avant le repiquage de sorte que la plante trouve les éléments nécessaires pour une bonne reprise.

Nous avons mis 370 g de *Azolla* par plant, sous la forme solide à chaque fois qu'il y a eu apport. Ainsi, 10 Kg d'engrais ont été utilisés sur toute la période de production.

Quant à *Tithonia diversifolia*, le premier apport a consisté à mettre directement les-feuilles vertes sur le sol. La quantité de *T. diversifolia* pour les autres apports ont été faite sous forme solide avec 17,5 kg de feuilles décomposées, soit 500 g par plant. Concernant la fiente de *Galus galus*, 10 kg de fiente de poulet a été utilisé pour fertiliser les planches, soit 500 g de fiente trempé pour une plante

Tableau 1.

Tableau 1. Quantité de fertilisants apporté par plant en gramme

	Fertilisants		
	<i>A.filiculoides</i>	<i>T.diversifolia</i>	Fiente de <i>Galus galus</i>
1 ^{er} apport (g)	370	500	500
2 ^{ème} apport (g)	370	500	500
3 ^e apport (g)	370	500	500
4 ^e apport (g)	370	500	500
5 ^e apport (g)	370	500	500

ENTRETIEN DE LA CULTURE

Le repiquage a été fait dans une période marquée par un arrêt des pluies. L'arrosage des plants d'aubergine a été fait avec 24 litres d'eau de robinet. Les plants ont été arrosés le matin entre 7h et 8h30 et le soir entre 17h et 18h30. L'arrosage s'est fait tous les deux (2) jours lorsqu'il ne pleuvait pas abondamment. Pendant la période de fructification, l'arrosage des plants a été fait quotidiennement car il ne pleuvait pratiquement pas.

Le désherbage s'est fait toutes les semaines au cours des deux mois après repiquage à cause du développement des mauvaises herbes. A partir du troisième mois après repiquage, le désherbage s'est fait toutes les trois semaines en fonction du développement de la culture qui repoussait les herbes. Après chaque nettoyage, nous raclons les herbes avec un râteau afin d'aérer le mieux possible la parcelle.

La culture est sujette à de nombreuses attaques d'insectes aussi bien au niveau des feuilles que des fruits. Face à cette situation, un traitement biologique à base de feuilles de *Azadirachta indica* (nîmes) et de fougères a été fait au 57^{ème} et au 88^{ème} jour après repiquage (JAR). En plus de ce traitement, 95^{ème} JAR, un autre traitement avec un insecticide VIPER 46 EC-BD 200 ML dont la matière active est indoxacarbe + Acetamipride. L'application a été faite à la dose de 40 ml pour 15 L d'eau.

1.3.1.7 COLLECTE DES DONNÉES

PARAMÈTRES DE CROISSANCE DE L'AUBERGINE

Les paramètres de croissance mesurés ont concerné la longueur et la largeur des feuilles, la hauteur, le diamètre et l'envergure de la plante. La reprise ou taux de survie des plants a été observée sept (07) jours après le repiquage par comptage des plants vivants par substrat. En réalité, les mesures de la longueur et de la largeur des feuilles ont été prises sur une seule feuille. Les mesures ont été régulièrement effectuées à partir des 30 jours après repiquage soit 61 jours après semis (JAS) et tous les 14 jours à compter de cette date. La hauteur et l'envergure des plants ont été déterminées à l'aide d'un ruban mètre de 61 JAS à 118 JAS, à partir du collet jusqu'à la base du bouquet terminal, après la floraison. Le diamètre a été déterminé avec un pied à coulisse à la pleine au même moment que la prise des autres mesures de croissance.

Nous avons compté le nombre de légume-fruits pour avoir le rendement.

RENDEMENT DE L'AUBERGINE

Le rendement a été évalué en kilogramme à l'hectare (kg/ha) en fin de la récolte. Il a été calculé selon la formule suivante:

Avec,

$$R = \frac{M}{S} \times 1000 \text{ m}^2$$

R = rendement en kg/ha

S = surface en m²

M = masse total des fruits en kg

ANALYSE DES DONNÉES

Les données ont été encodées à l'aide du logiciel Excel 2013. Les différentes analyses ont été faites à l'aide des logiciels STATISTICA 7.1 et le traitement des données s'est basé sur le test d'analyse de variance et de comparaison multiple des moyennes. Des tests de normalité de Shapiro-Wilk ont été appliqués sur toutes les variables avant d'effectuer toutes les analyses. Ce test d'analyse de variance (ANOVA) a permis de voir la signification d'effet des traitements sur les paramètres de croissance et de rendement. Le test de LSD de Fisher a été utilisé pour la comparaison deux à deux lorsque les variables affichent une différence ($p < 5\%$) entre les traitements. Les différences sont significatives pour une valeur de la probabilité inférieure à 5 %.

1.4 RÉSULTATS

1.4.1 EVALUATION DE L'EFFET DES BIOFERTILISANTS SUR LES PARAMETRES DE CROISSANCES DE L'AUBERGINE ET DE SON RENDEMENT

1.4.1.1 EVOLUTION DE LA LONGUEUR ET LA LARGEUR DES FEUILLES

L'évolution de la longueur des feuilles est consignée dans le tableau II. Nous constatons quelques le type de traitement la longueur de la feuille augmente depuis le premier temps de mesure (T1), 30 jour après repiquage (JAR) 18,78 ± 3,77 cm (témoin), 20,48 ± 2,94 cm (fiente de poulet), 19,36 ± 5,65 cm (*Azolla. filiculoides*) et 27,78 ± 3,97 cm (*Tithonia. diversifolia*) jusqu'au quatrième temps de mesure (T4) 40,09 ± 6,90 cm Témoin, 51,77 ± 10,74 cm Fiente de poulet, 57,28 ± 6,44 cm *A. filiculoides* et 59,34 ± 3,31 cm *T. diversifolia*. A partir de T5, nous avons une diminution au niveau de la longueur des feuilles 28,19 ± 3,39 cm, 30,55 ± 6,24 cm, 45,29 ± 5,40 cm et 46,51 ± 7,67 cm à T5 respectivement témoin fiente de poulet, *A. filiculoides* et *T. diversifolia*. Dans l'ensemble, les plus longues feuilles d'aubergine ont été obtenues sur les plants ayant été traités avec *A. filiculoides* et *T. diversifolia*.

Tableau 2. Effet des fertilisants sur la longueur des feuilles

Temps de mesures	Fertilisants				P-value
	Témoin	Fiente de poulet	<i>A. filiculoides</i>	<i>T. diversifolia</i>	
T1	18,78 ± 3,77 ^a	20,48 ± 2,94 ^a	19,36 ± 5,65 ^a	27,78 ± 3,97 ^b	0,00
T2	28,60 ± 7,45 ^a	31,52 ± 5,44 ^a	37,39 ± 9,75 ^b	42,03 ± 5,02 ^b	0,00
T3	34,40 ± 5,75 ^a	39,53 ± 9,44 ^b	46,86 ± 6,04 ^c	49,86 ± 2,79 ^c	0,00
T4	40,09 ± 6,90 ^a	51,77 ± 10,74 ^b	57,28 ± 6,44 ^{bc}	59,34 ± 3,31 ^c	0,00
T5	28,19 ± 3,39 ^a	30,55 ± 6,24 ^a	45,29 ± 5,40 ^b	46,51 ± 7,67 ^b	0,00

Pour chaque moyenne, les valeurs portant les mêmes lettres (a, b, c) sur la même ligne sont statistiquement identiques au seuil de 5 %. (T1 = 30 JAR, T2 = 44 JAR, T3 = 58 JAR, T4 = 62 JAR, T5 = 76 JAR).

Au niveau de la largeur des feuilles, cette différence significative a également été observée (Tableau III). Cette différence a été constatée dès le 30^{ème} jour après repiquage (JAR) (T1) où les largeurs des feuilles ont été de 17,05 ± 3,28 cm avec *T. diversifolia*, 11,67 ± 3,22 cm avec *A. filiculoides*; 11,79 ± 1,74 cm avec la fiente de poulet et 11,38 ± 1,49 cm avec le témoin. A T4, on est à sa largeur maximale quelques soit le type de fertilisant et à 75 JAR (T5) la feuille ne s'élargie plus. Les plants ayant reçu *T. diversifolia* et *A. filiculoides* ont également des feuilles plus larges que ceux ayant reçu la fiente de poulet et le témoin moyen.

Tableau 3. Largeur moyenne des feuilles issues des différents fertilisants

Temps de mesures	Fertilisants				P-value
	Témoin	Fiente de poulet	A. filiculoïdes	T. diversifolia	
T1	11,38 ± 1,49 ^a	11,79 ± 1,74 ^a	11,67 ± 3,32 ^a	17,05 ± 3,28 ^b	0,00
T2	16,16 ± 3,40 ^a	17,75 ± 3,80 ^a	21,55 ± 4,12 ^b	24,86 ± 2,67 ^c	0,00
T3	19,93 ± 4,04 ^b	22,93 ± 4,97 ^b	27,00 ± 3,85 ^c	28,26 ± 2,96 ^c	0,00
T4	21,90 ± 4,19 ^b	26,10 ± 4,84 ^b	32,72 ± 3,81 ^{bc}	34,62 ± 3,42 ^c	0,00
T5	15,61 ± 2,13 ^a	16,74 ± 3,28 ^{ab}	26,77 ± 3,9 ^b	26,79 ± 4,52 ^b	0,00

Pour chaque moyenne, les valeurs portant les mêmes lettres (a, b, c) sur la même ligne sont statistiquement identiques au seuil de 5 %. (T1 = 30 JAR, T2 = 44 JAR, T3 = 58 JAR, T4 = 62 JAR, T5 = 76 JAR).

1.4.1.2 EVOLUTION DU DIAMETRE DU COLLET DES PLANTS D'AUBERGINE

Les données relatives au diamètre du collet ont été enregistrées dans le Tableau IV. Le diamètre du collet soumis au test ANOVA a révélé une différence significative au niveau des différents traitements. Cette différence a été observée de T1 ($p = 0,00$) jusqu'à T5 ($p = 0,00$). En effet, le diamètre au collet induit par les plants quelques soit le fertilisant augment avec le temps. Les plants ayant induit les plus grands diamètres sont ceux ayant reçu *T. diversifolia* qui était de 0,61 cm à T1 est passé à 1,63 cm à T5. Celui de *A. filiculoïdes*, la fiente de poulet et des témoins qui était respectivement de 0,28 cm, 0,40 cm et 0,38 cm à T1 est passé de façon respective à 1,26 cm; 1,38 cm et 1,08 cm à T5.

Tableau 4. Diamètre moyen des plants issus des différents fertilisants

Temps de mesures	Fertilisants				P-value
	Témoin	Fiente de poulet	A. filiculoïdes	T. diversifolia	
T1	0,38 ± 0,08 ^a	0,40 ± 0,07 ^a	0,28 ± 0,11 ^b	0,61 ± 0,15 ^c	0,00
T2	0,51 ± 0,11 ^a	0,59 ± 0,10 ^{ab}	0,57 ± 0,17 ^b	0,92 ± 0,14 ^{bc}	0,00
T3	0,69 ± 0,11 ^b	0,88 ± 0,17 ^b	0,88 ± 0,19 ^{bc}	1,12 ± 0,13 ^c	0,00
T4	0,88 ± 0,16 ^{ab}	1,13 ± 0,27 ^b	1,18 ± 0,28 ^{bc}	1,41 ± 0,18 ^c	0,00
T5	1,08 ± 0,16 ^a	1,38 ± 0,36 ^{ab}	1,26 ± 0,25 ^b	1,63 ± 0,20 ^c	0,00

Pour chaque moyenne, les valeurs portant les mêmes lettres (a, b, c) sur la même ligne sont statistiquement identiques au seuil de 5 %. (T1 = 30 JAR, T2 = 44 JAR, T3 = 58 JAR, T4 = 62 JAR, T5 = 76 JAR).

1.4.1.3 EVOLUTION DE LA HAUTEUR DES PLANTS D'AUBERGINE

L'évolution de la hauteur des plants aubergine est consignée dans le tableau V. Ce tableau montre que la hauteur des plants d'aubergine n'a pas cessé de croître depuis le 30^{ème} JAR (T1) où nous avons mesuré 11,14 ± 1,45 cm, 12,79 ± 1,87 cm, 10,81 ± 2,44 cm et 14,09 ± 3,49 cm respectivement pour le témoin, la fiente de poulet, *A. filiculoïdes* et *T. diversifolia*. Au 76 JAR (T5) ces valeurs sont toujours croissante quelques soit le type de fertilisant. Nous observons que la taille des plants ayant reçus *T. diversifolia* ont été plus grande que ceux fertilisé par *A. filiculoïdes* et la fiente de poulet ainsi que les plants témoins. Statistiquement, il y a une différence significative entre la hauteur des plants d'aubergine issus des différentes fertilisations ($p = 0,00$) à tous les temps de mesure.

Tableau 5. Hauteur des plants en fonction du fertilisant

Temps de mesures	Fertilisants				P-value
	Témoin	Fiente de poulet	A. filiculoïdes	T. diversifolia	
T1	11,14 ± 1,45 ^{ab}	12,79 ± 1,87 ^{bc}	10,81 ± 2,44 ^a	14,09 ± 3,49 ^c	0,00
T2	17,72 ± 5,43 ^a	25,94 ± 5,37 ^b	23,17 ± 9,68 ^{ab}	37,81 ± 9,97 ^c	0,00
T3	36,13 ± 10,83 ^{ab}	48,80 ± 16,23 ^b	57,73 ± 16,67 ^{bc}	71,13 ± 9,47 ^c	0,00
T4	49,11 ± 10,70 ^a	65,21 ± 22,38 ^c	66,52 ± 16,49 ^c	86,35 ± 17,01 ^c	0,00
T5	66,77 ± 13,38 ^b	83,89 ± 31,40 ^{bc}	82,73 ± 16,45 ^b	98,34 ± 23,27 ^c	0,00

Pour chaque moyenne, les valeurs portant les mêmes lettres (a, b, c) sur la même ligne sont statistiquement identiques au seuil de 5 %. (T1 = 30 JAR, T2 = 44 JAR, T3 = 58 JAR, T4 = 62 JAR, T5 = 76 JAR).

1.4.1.4 EVOLUTION DE L'ENVERGURE DES PLANTES

L'analyse de variance de la couverture du sol par les plants d'aubergine a révélé un effet significatif au stade T1 (30 JAR). En effet, nous avons constaté que les plants se sont bien étalés au niveau de tous les fertilisants de sorte qu'au 62 JAR, ils ont atteint $86,42 \pm 12,36$ cm, $80,27 \pm 11,79$ cm, $75,72 \pm 21,02$ cm et $66,25 \pm 13,22$ cm respectivement pour *T. diversifolia*, *A. filiculoides*, la fiente de poulet et témoin. Les plants fertilisés avec *T. diversifolia* ont présenté une envergure statistiquement plus grande de T1 à T4 que celle des autres plants ($p = 0,00$). Les plants traités avec *T. diversifolia* ne diffèrent pas significativement de ceux traités avec *A. filiculoides* à T3 et à T4. Au 76 JAR (T5), l'analyse de variance de la couverture du sol par les plants d'aubergine n'a révélé aucun effet significatif ($p = 0,06$) entre les différents traitements.

Tableau 6. Effet des fertilisants sur l'envergure des plants

Temps de mesures	Fertilisants				P-value
	Témoin	Fiente de poulet	<i>A. filiculoides</i>	<i>T. diversifolia</i>	
T1	$33,06 \pm 5,68^a$	$33,46 \pm 5,89^a$	$33,52 \pm 9,18^a$	$45,66 \pm 7,53^b$	0,00
T2	$46,86 \pm 9,72^a$	$52,96 \pm 11,67^{ab}$	$61,06 \pm 12,31^b$	$78,11 \pm 12,40^c$	0,00
T3	$53,60 \pm 12,12^b$	$72,46 \pm 15,44^b$	$83,86 \pm 22,54^c$	$88,66 \pm 6,81^c$	0,00
T4	$66,25 \pm 13,22^b$	$75,72 \pm 21,02^b$	$80,27 \pm 11,79^b$	$86,42 \pm 12,36^{bc}$	0,00
T5	$67,29 \pm 11,22^{ab}$	$81,42 \pm 29,58^{bc}$	$82,84 \pm 17,68^{bc}$	$86,48 \pm 19,44^b$	0,00

Pour chaque moyenne, les valeurs portant les mêmes lettres (a, b, c) sur la même ligne sont statistiquement identiques au seuil de 5 %. (T1 = 30 JAR, T2 = 44 JAR, T3 = 58 JAR, T4 = 62 JAR, T5 = 76 JAR).

1.4.2 EVOLUTION DE L'EFFET DES BIOFERTILISANTS SUR LE RENDEMENT AGRICOLE DE L'AUBERGINE

1.4.2.1 NOMBRE DE FRUITS À LA RECOLTE

Le nombre de fruits obtenus par traitements est consigné dans le tableau VII. Les traitements avec *T. diversifolia* et *A. filiculoides*, ont permis d'obtenir un plus grand nombre de légumes avec respectivement en moyenne 39,5 et 29,33 par rapport aux plants traités avec la fiente poulet 22,5 et 15,17 la moyenne en légume pour le témoin. Ces résultats sont illustrés par le Tableau VII et la figure 7.

Tableau 7. Effet des fertilisants sur le nombre fruits

Fertilisants	Témoin	Fiente de poulet	<i>A. filiculoides</i>	<i>T. diversifolia</i>	P-value
Moyenne	$15,17 \pm 7,5^a$	$22,5 \pm 10,7^b$	$29,33 \pm 10,67^c$	$39,5 \pm 14,33^d$	0,00

Pour chaque moyenne, les valeurs portant les mêmes lettres (a, b, c) sur la même ligne sont statistiquement identiques au seuil de 5 %. (T1 = 52 JAR, T2 = 59 JAR, T3 = 65 JAR, T4 = 71 JAR, T5 = 78 JAR, T6 = 85 JAR).

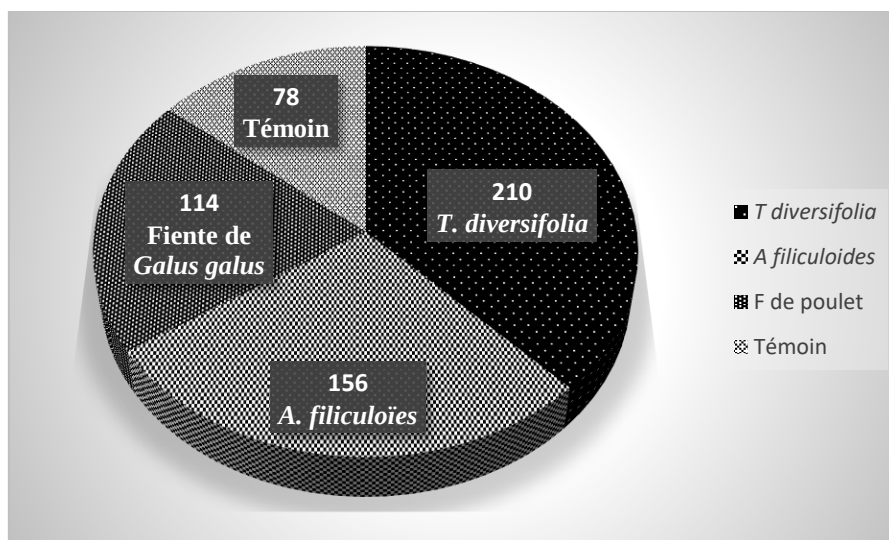


Fig. 7. Nombre de légumes récoltés par zone traitée avec chaque fertilisant

1.4.2.2 RENDEMENT À LA RÉCOLTE

Les parcelles amendées avec *T. diversifolia* et *A. filiculoides* ont permis d'avoir un meilleur rendement de l'aubergine contrairement à la parcelle fertilisée avec la fiente de poulet et le témoin sans fertilisant dont les données sont présentées dans le tableau VIII. Le meilleur rendement de l'aubergine a été obtenu au niveau des plants traités avec *T. diversifolia* ($18,86 \pm 6,94$) tandis que le plus faible a été enregistré au niveau des plants témoins ($6,84 \pm 2,52$).

Tableau 8. Effet des fertilisants sur le rendement

Rendements (kg/)	Fertilisants				P-value
	Témoin	Fiente de <i>Galus galus</i>	<i>A.filiculoides</i>	<i>T.diversifolia</i>	
Moyenne	$6,84 \pm 2,52^a$	$08,83 \pm 3,12^b$	$13,68 \pm 4,88^c$	$18,86 \pm 6,94^d$	0,00

Pour chaque moyenne, les valeurs portant les mêmes lettres (a, b, c) sur la même ligne sont statistiquement identiques au seuil de 5 %. (T1 = 52 JAR, T2 = 59 JAR, T3 = 65 JAR, T4 = 71 JAR, T5 = 78 JAR, T6 = 85 JAR).

1.5 DISCUSSION

1.5.1 PARAMÈTRES DE CROISSANCES DE L'AUBERGINE

L'analyse de la longueur et la largeur des feuilles et l'envergure des plants qui ont reçu *Tithonia diversifolia* est plus élevé suivi de *Azolla filiculoides*, de la fiente de poulet et du témoin sans fertilisant. Cependant, il n'y a aucune grande différence significative entre les plants ayant reçu *T. diversifolia* et *A. filiculoides*. Cela pourrait s'expliquer par le fait que ces deux substrats qui sont d'origine végétale contiennent des éléments minéraux essentiels pour la croissance de la plante. Cette observation est similaire à celle d'autres auteurs qui ont montré que les feuilles de *T. diversifolia* renferment des teneurs en azote comparable à la plupart des espèces utilisées en agroforesterie pour améliorer le sol [20]. L'aptitude d'une espèce agroforestière à améliorer la productivité d'un sol dépend, en effet, de son rendement en biomasse, de la qualité de cette biomasse et de sa vitesse de décomposition.

Au niveau de *Azolla*, des résultats significatifs sur le nombre de feuilles de plants de riz ont été obtenus ailleurs [21]; [22]. En effet, de par son caractère diazotrophe, *A. filiculoides* enrichi en azote le milieu où elle se développe [23]. Cet azote sera libéré et mis à la disposition des plantes de cultures lors de la mort et de la décomposition de la fougère.

La hauteur moyenne des plants d'aubergine et le diamètre au collet ayant reçu *T. diversifolia* est plus élevé que ceux qui ont été traités avec *A. filiculoides*, la fiente de poulet et le témoin. Ces résultats ne se concordent pas avec ceux obtenus sur le manioc par [24]. Ces auteurs ont montré que *T. diversifolia* n'a pas un effet significatif sur la croissance des tiges. Par contre, le diamètre des tiges est resté élevé. Ceci serait dû à la grande disponibilité d'éléments minéraux et à l'amélioration des propriétés physicochimiques du sol du fait de la combinaison de la fumure organique et de la fumure minérale. La combinaison ou non des biomasses de *Tithonia diversifolia* aux engrais inorganiques en vue d'améliorer la fertilité du sol et la production du maïs et la tomate ont été déjà démontré [20]; [25]. En réalité, les éléments minéraux libérés dans le sol par *T. diversifolia* sont assimilés et redistribués dans les parties aériennes de la plante. Or, au niveau du manioc, les racines sont des tubercules qui ont besoin d'éléments minéraux pour leur propre développement. Ce qui pourrait expliquer cette baisse en hauteur de la tige du manioc. Les plants traités avec *A. filiculoides* et la fiente de poulet ne montrent aucune différence significative. En effet, à partir du 45 JAR, les plants ont subi une attaque d'une maladie de flétrissement. Les plants traités avec *A. filiculoides* ont été très sensibles face à cette maladie. Cela pourrait s'expliquer par une répétition de la culture de tomate qui a été faite sur la parcelle avec *A. filiculoides*. Ces résultats ne correspondent pas à ceux qui ont été montrés sur les plants traités avec *A. filiculoides* permettant d'avoir des paramètres végétatifs élevés [10]. En réalité, *A. filiculoides* abrite une cyanobactérie du genre *Anabaena* qui a la propriété de fixer l'azote, c'est-à-dire de transformer l'azote moléculaire de l'atmosphère en azote assimilable par la plante. L'azote est un des principaux facteurs de la croissance des plantes [26]. Il est absorbé sous forme de nitrate NO_3^- et d'ammonium NH_4^+ par la plante [27]. En plus, *A. filiculoides* libère des minéraux progressivement, ce qui peut assurer leur disponibilité au moment du besoin effectif par la plante. Les éléments nutritifs rendus suffisamment disponibles au fil du temps dans le sol sont efficacement utilisés par les plantes cultivées [28]. Cette croissance se justifie par le fait que *A. filiculoides* a une quantité importante d'éléments d'azote et de phosphore, ces éléments sont indispensables à la croissance et au développement des plantes et agissent immédiatement sur le développement du feuillage et sur la production des plantes en culture [29]. Par ailleurs, les parcelles ayant reçu les fertilisants organiques ont présenté une forte vigueur de croissance à 75 JAR, comparativement à la moyenne des plants témoins n'ayant pas subi un traitement du sol. Ceci confirme la disponibilité des éléments minéraux essentiels dans les engrais organiques pour la croissance et le développement des cultures en plein champ. Cette observation est en accord avec [30]. Les sols des parcelles témoins semblent traduire le niveau bas de réserves nutritives dans la solution du sol. Ceci pourrait être la cause majeure de la mauvaise performance de la croissance en hauteur du maïs observée, de sorte qu'on ne soit pas arrivé à atteindre les performances 180 à 190 cm décrites [31].

1.5.2 PARAMÈTRES DE RENDEMENT

L'analyse des paramètres de production (nombre de fruits et le rendement) a révélé une différence significative ($p=0.00$) entre les différents fertilisants appliqués. Les plants qui ont reçu les engrais ont produit un grand nombre de légumes contrairement au témoin sans fertilisant. Le plus grand nombre a été enregistré avec *Tithonia diversifolia*, avec une moyenne de $39,5 \pm 14,33$ devant *Azolla filiculoides* ou nous avons enregistré en moyenne 29,33 légumes. Ces résultats sont conformes à ceux enregistrés sur la culture du maïs [32]. Ils ont montré que les feuilles de *T. diversifolia* incorporé au sol ont un taux de décomposition convenable qui permet à la plante d'assimiler une grande proportion des nutriments libéré lors de la décomposition de la matière organique. Des résultats similaires ont montré que les parcelles ayant reçu la biomasse de *T. diversifolia* ont donné des rendements de maïs les plus élevés [29]. Au niveau des plants traités avec *A. filiculoides*, le rendement est supérieur à ceux des plants ayant reçu la fiente de poulet et le témoin. Ces résultats corroborent ceux de certains auteurs qui ont montré que sous la fertilisation organique de *A. filiculoides*, le rendement de grains, celui de paille et de la matière sèche de riz augmentent [21]. De même, une étude comparative entre les fertilisations de *A. filiculoides*, de bouse de vache et des engrais chimiques a conclu que *A. filiculoides* appliqué à 30 Kg par hectare en azote permet des niveaux de rendement supérieurs comparé aux traitements en fertilisation chimique [33]. En réalité l'augmentation du rendement à lieu à cause de la mise à disposition de façon permanente de l'azote assimilable de la plante comme l'a montré les travaux de [34]. Le rendement des plants ayant reçu la fiente de poulet est inférieur à celui des biofertilisants végétal et supérieur au témoin. Ce résultat pourrait s'expliquer par le fait que les engrais à base d'animaux non composté se décomposent lentement quand on fait un amendement. Ainsi, la libération des éléments minéraux pour la plante sera aussi faible. Nos résultats sont semblables à ceux de certains auteurs qui ont montré que l'utilisation combiné de la fiente de volailles et de la fumure minérale augmenteraient le rendement de la plante de maïs par rapport à l'application seule de fumure organique [35]; [36]. Le faible rendement enregistré chez les plants témoin serait dû à une carence en éléments minéraux nécessaire pour la croissance et le développement de la plante. Cette remarque est faite par des auteurs qui justifient la faible croissance des plantes peut être attribuée aux facteurs caractéristiques du sol, notamment le pH, la toxicité et les déficiences en nutriments [37].

2 CONCLUSION

Cette étude a été initiée en vue d'évaluer les effets de *Azolla*, *Tithonia* et fiente de *Gallus gallus* sur les paramètres de productivité de l'aubergine *Solanum melongena*. Les paramètres de croissances tels que la longueur, la largeur, le taux de reprise la hauteur, la surface du plant et les paramètres de rendement ont été mesurés. Les résultats ont mis en évidence l'effet de ces biofertilisants sur les paramètres agronomiques de l'aubergine. L'analyse des différents traitements apportés ont entraîné une augmentation significative de la croissance et le rendement de la variété d'aubergine F1 Kalenda. Toutefois, de tous ces biofertilisants, *Tithonia diversifolia* s'est révélé plus efficace aussi bien pour la croissance végétative que pour la production avec notamment le rendement qui est $18,35 \text{ Kg/m}^2$. Ensuite, vient *A. filiculoides* avec un rendement $13,68 \text{ Kg/m}^2$. Le rendement enregistré avec de la fiente de poulet est de $8,83 \text{ Kg/m}^2$ et enfin $6,84 \text{ Kg/m}^2$ pour le témoin.

REFERENCES

- [1] J. Mugwe, M. Mucheru-Muna, D. Mugendi, Kung'u J., A. Bationo and F. Mairura, «Adoption potential of selected organic resources for improving soil fertility in the central highlands of Kenya». *Agroforest Syst*; vol 76, pp. 467– 485, 2009.
- [2] S. Doganlar, A. Frary, M. C. Daunay, R. N. Lester and S. D. Tanksley, «A comparative genetic linkage map of eggplant (*Solanum melongena*) and its implications for genome evolution in the Solanaceae». *Genetics Society of America*, Vol 161, no 4, pp. 1697– 1711, 2002.
- [3] S. Mandal, «Induction of phenolics, lignin and key defense enzymes in eggplant (*Solanum melongena* L.) roots in response to elicitors». *African Journal of Biotechnology*, vol. 9, no. 47, pp. 8038 - 8047, 2010.
- [4] FAO (2014). «Programme mixte FAO/OMS sur les normes alimentaires comité du CODEX sur les fruits et légumes frais», p 8.
- [5] G. Rouanet, «Le maïs. Les techniques d'agriculture tropicale. Ed. Maisonneuve et Larose», Paris, pp. 1-142, 1984.
- [6] J. P. Boga, «Étude expérimentale de l'impact de matériaux de termitières sur la croissance, le rendement du maïs et du riz et la fertilité des sols cultivés en savanes sub-soudaniennes, Booro-Borotou (Côte d'Ivoire) ». Thèse de doctorat de l'Université de Cocody, Abidjan, pp 1-231, 2007.
- [7] B. V. Bado, «Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso». Thèse de philosophie Doctor, Université de Laval. Canada, pp. &- 184, 2002.
- [8] R. Zougmore, K. Ouattara, A. Mando and B. Ouattara, «Rôle des nutriments dans le succès des techniques de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux, bandes enherbées, zaï et demi-lunes) au Burkina Faso». *Science et changements planétaires / Sécheresse*, vol. 15, no. 1, pp. 41- 48, 2004.
- [9] S. Y. Useni, K. M. Chukiyabo, K. J. Tshomba, M. E. Muyambo, K. P. Kapalanga, N. F. Ntumba, A-K. P. Kasangij, K. A. Kyungu, L. L. Baboy, K. L. Nyembo and M. M. Mpundu, «Utilisation des déchets humains recyclés pour l'augmentation de la production du maïs (*Zea mays* L.) sur un ferrasol du sud-est de la RD Congo». *Journal of Applied Biosciences*, vol. 66, pp. 5070-5081, 2013.

- [10] N. Groga, M. Diomande, G.A.M. Beugré, Y. Ouattara and D. S. Akaffou, «Étude comparative de la qualité de la symbiose (*Anabaena azollae*, *Azolla caroliniana*), du compost et du NPK sur la croissance végétative et le rendement de la tomate (*Lycopersicon esculentum* mill. Solanacée) à Daloa (Côte d'Ivoire) ». *Journal of Applied Biosciences*, vol. 129, pp. 13004 - 13014, 2018.
- [11] J. E. Gilley and B. Eghball. Residual effects of compost and fertilizer applications on nutrients in runoff. *Transactions of the ASAE*, vol. 45, no. 6, pp. 1905-1910, 2002.
- [12] FAO «Les engrais et leurs applications. Précis à l'usage des agents de vulgarisation agricole Quatrième édition». Rabbat, pp 1-84, 2003.
- [13] INS. Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH) www.ins.ci/n/documents/expo dg.pdf, 2014.
- [14] INS. Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH) www.ins.ci/n/documents/expo dg.pdf, 2021.
- [15] K. A. Kouakou, «Disponibilité et vulnérabilité des espèces sources de produits forestiers non ligneux d'origine végétale de la forêt classée du Haut-Sassandra et sa périphérie après la décennie de crise au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire». Thèse de Doctorat Unique, Université Jean Lorougnon Guédé, pp. 1 - 188, 2019.
- [16] A. H. N'guessan, K. F. N'guessan, K. P. Kouassi, N. N. Kouamé and P. W. N'guessan, «Dynamique des populations du foreur des tiges du cacaoyer, *Eulophomotus myrmeleon*. Felder (Lépidoptère: Cossidae) dans la region du Haut-Sassandra en Côte d'Ivoire», pp. 1-9, 2014.
- [17] K. H. Yéboué, K. E. Amoikon, K. G. Kouamé and S. Kati-Coulibaly, «Valeur nutritive et propriétés organoleptiques de l'attiéke, de l'attoukpou et du placali, trois mets à base de manioc, couramment consommés en Côte d'Ivoire». *Journal of Applied Biosciences*, pp. 113: 11184 – 11191, 2017.
- [18] F. G. B. Zro, A. M. Guéi, Y. K. Nangha, D. Soro and S. Bakayoko, «Statistical approach to the analysis of the variability and fertility of vegetable soils of Daloa (Cote d'Ivoire) ». *African journal of soil science*, vol. 4, no. 4, pp. 328 - 338, 2016.
- [19] A. Sangaré, E. Koffi, F. Akamou and C. A. Fall, «État des ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. Ministère de l'agriculture, Abidjan, République de Côte d'Ivoire», Second rapport. Pp 1-65, 2009.
- [20] F. Kaho, M. Yemefack, P. Feujio-Teguefouet and J. C. Tchantchouang «Effet combiné des feuilles de *Tithonia diversifolia* et des engrais inorganiques sur les rendements du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitique au Centre Cameroun». *Tropicultura*, vol. 29, no. 1, pp. 39 -45, 2011.
- [21] A. Z. K. Djogbede, C. L. Hinvi and E. D. Fiogbe, «Effets de substitution des engrais chimiques par *Azolla pinnata* en riziculture au Nord Bénin». *Int. J. Biol. Chem. Sci.* Vol. 6, no. 6, pp. 3027-3044, 2012.
- [22] K. F. Kouadio, «Contribution des biotechnologies à la sécurité alimentaire: cas du biofertilisant organique (symbiose *Anabaena-Azollae*, *Azolla filiculoides*) sur *Oryza sativa* (riz CB-one) en côte d'Ivoire». Master en science, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, 50 p. 2015.
- [23] K. T. Kouamé, N. Groga, T. N. Akedrin, S. D. Akaffou et Y. Kouadio, «Évaluation de la croissance végétative de *Azolla caroliniana* et *Azolla filiculoides* à l'aide du filtrat de la bouse de vache; Haut Sassandra, Daloa, Côte d'Ivoire». *Afrique SCIENCE*, vol. 14, no. 5, 1 – 9, 2018.
- [24] G. B. Eloi, N. A. Francis, A. A. Monique, M. Birang, M. N. B Samuel and B. Paul, «Effets des biomasses vertes de *Tithonia diversifolia* et des engrais minéraux sur la croissance, le développement et le rendement du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) en zone forestière du Cameroun», p 12, 2017.
- [25] C. Ngosong, P. M. Mfombep, C. A. Njume and Tening A.S. (2016). Comparative advantage of *Mucuna* and *Tithonia* residue mulches for improving tropical soil fertility and tomato productivity. *Int. J. Plant Soil Sci.*, 12 (3): 1-13.
- [26] FAO. «Les engrais et leur application». *FAO, Rome, Italie*, 51 p, 1980.
- [27] A. Krapp and L. Castaings, «Réponses des plantes à la disponibilité en azote. *Biologie Aujourd'hui*», vol. 206, no. 4, 323–335, (2012).
- [28] A. E. Ojetayo, J. O. Olaniyi, W. B. Akanbi and T. I. Olabiya, «Effect of fertilizer types on nutritional quality of two cabbage varieties before and after storage». *Journal of Applied Biosciences*, vol. 48, pp. 3322 – 3330, 2011.
- [29] W. A. Kéré, «Etude de l'entomofaune de trois variétés de tomates (*Lycopersicon esculentum*) à l'Ouest de Burkina Faso. Mémoire de fin de cycle d'Ingénieur en développement rural, pp. 1 – 80, 2016.
- [30] G. M. Muyayabantu, B. D. Kadiata and K. K. Nkongolo, «Response of maize to different organic and inorganic fertilization regimes in monocrop and intercrop systems in a sub-Saharan Africa region». *Journal of Soil Science and Environmental Management*, vol. 3, no 2, pp. 42-4, 2012.
- [31] L. Senasem, «Catalogue variétale des cultures vivrières, maïs, riz, haricot, arachide, soja, niébé, manioc, patate douce, pomme de terre, banane. Ed. CTB-M, Kinshasa», pp 1-148, 2008.
- [32] M. Muna-Mucheru, D. Mugendi, J. Kung'u, J. Mugwe and A. Bationo, «Effects of organic manure and mineral fertilizer inputs on maize yield and soil chemical properties in a maize cropping system in Meru South District, Kenya», *Agroforestry Systems*, vol. 69, pp 189-197, 2007.
- [33] Abdoulaye Ndiaye DIEYE, «Asset Return Determinants: Risk Factors, Asymmetry and Horizon consideration». Thèse de Doctorat de l'Université de Lyon, pp 1 – 29.
- [34] N. Groga, D. N. Akedrin, K. Komoé, K. Thiegbia, D. S. Akaffou and A. Ouattara «Distribution spatio-saisonnière des cyanobactéries le long du cours d'eau, la Lobo Haut Sassandra (Daloa, Côte d'Ivoire) ». *Tropicultura*, vol. 35, no. 4, pp. 288-299, 2017.
- [35] M. F. Jan, «Impact of Integrated Potassium Management on Plant Growth, Dry Matte Partitioning and Yield of Different Maize (*Zea Mays* L.) Hybrids». *Pure Appl. Bio.*, Vol. 7 no. 4. DOI: <https://doi.org/10.19045/bspab.2018.700148>, 2018.

- [36] R. Žydelis, L. Sigita, V. Jonas, P. Virmantas, «Effect of Organic and Mineral Fertilisers on Maize Nitrogen Nutrition Indicators and Grain Yield». *Zemdirbyste Agriculture*, vol. 106 1, no. 15-20, 2019.
- [37] M. J. Mukalay, M. N. Shutcha, K. J. Tshomba, K. Mulowayi, C. F. Kamb, L. M. Ngongo, «Causes d'une forte hétérogénéité des plants dans un champ de maïs dans les conditions pédoclimatiques de Lubumbashi. Presses universitaires de Lubumbashi», *Annales Faculté des Sciences Agronomiques*, vol. 1, no. 2, pp. 4 – 11, 2008.

Étude de l'incidence du conflit Teke-Yaka sur le vécu des familles d'accueil de la ville de Kenge dans la province de Kwango en République Démocratique du Congo

[Study of the impact of the Teke-Yaka conflict on the experiences of host families in the town of Kenge in the Kwango province of the Democratic Republic of Congo]

Jules Kapay Mangumbu, Crispin Mubelo Mayoyo, Mado Mayamba Mungwelo, Gisèle Zunzu Makiese, Esperance Mitondo Mayimona, Bernadette Kukuluka Bisaka, and Jean Baptiste Mvunzi Nzundu

ISP Masi Manimba, RD Congo

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Etymologically, conflict refers to opposition between two or more individuals whose ideas, interests, or expectations diverge. Four main types are generally recognized: conflicts of interests, ideas, individuals, and positions. Our study examines the impact of the Teke-Yaka conflict on host families in the city of Kenge, Kwango province.

The objective was to assess how this conflict has affected the daily lives of households hosting displaced persons. This was a cross-sectional, descriptive study conducted on a sample of sixty (60) displaced persons who fled the Batéké plateau and sought refuge with families in Kenge, Kwilu province.

Among respondents, 60% were men and 40% women. The predominant age group was 26–35 years (53.3%). Most were married (73.3%). Educational levels were mainly secondary (58.3%) and primary (21.6%). Civil servants represented 46.6% of the sample. Importantly, all respondents (100%) reported having hosted displaced persons in their households.

Before the conflict, 53.3% of households comprised 4–6 members. Following the influx, most host families (60%) received between 6 and 10 displaced persons.

The study highlighted several difficulties faced by host families: child malnutrition, prostitution among young girls for survival, increased illnesses, begging and degrading small jobs among boys, as well as overcrowded housing. These findings align with prior research, confirming that such crises exacerbate social and economic vulnerabilities in host communities.

In conclusion, the Teke-Yaka conflict has profoundly disrupted family life in Kenge, creating humanitarian, social, and health challenges. Conflict remains a global issue and continues to be a pressing concern in the studied region.

KEYWORDS: Study, Incidence, Conflict, Teke-Yaka, Experience, Families, Reception, City of Kenge, Province, Kwango, Democratic Republic of Congo.

RÉSUMÉ: Étymologiquement, le conflit désigne une opposition entre deux ou plusieurs personnes dont les idées, intérêts ou attentes divergent. On distingue généralement quatre types : conflits d'intérêts, d'idées, de personnes et de positions. Notre étude porte sur l'incidence du conflit Teke-Yaka sur les familles d'accueil de la ville de Kenge, dans la province du Kwango.

L'objectif était d'évaluer les effets de ce conflit sur la vie quotidienne des ménages accueillant des déplacés. Il s'agit d'une étude transversale et descriptive, menée sur un échantillon de soixante (60) déplacés ayant fui le plateau de Batéké pour trouver refuge auprès de familles de Kenge, dans la province du Kwilu.

Parmi les enquêtés, 60 % étaient des hommes et 40 % des femmes. La tranche d'âge 26–35 ans dominait (53,3 %). La majorité était mariée (73,3 %). Les niveaux d'instruction les plus représentés étaient le secondaire (58,3 %) et le primaire (21,6 %). Les fonctionnaires constituaient 46,6 % de l'échantillon. Tous les enquêtés (100 %) ont déclaré avoir accueilli des déplacés dans leurs foyers.

Avant le conflit, 53,3 % des ménages comptaient 4 à 6 membres. Après l'afflux, la majorité des familles d'accueil (60 %) hébergeaient entre 6 et 10 personnes déplacées.

Les difficultés relevées sont nombreuses : malnutrition infantile, prostitution de jeunes filles pour survivre, maladies diverses, mendicité et petits travaux avilissants pour les garçons, promiscuité dans les maisons surpeuplées.

En conclusion, le conflit Teke-Yaka a profondément bouleversé la vie des familles d'accueil de Kenge, en aggravant les vulnérabilités sociales, sanitaires et économiques. Ces résultats confirment les constats d'autres chercheurs et rappellent que le conflit reste un problème universel et une préoccupation majeure dans la région étudiée.

MOTS-CLEFS: Etude, Incidence, Conflit, Teke-Yaka, Vécu, Familles, Accueil, Ville de Kenge, Province, Kwango, République Démocratique du Congo.

1 INTRODUCTION

En république démocratique du Congo, plusieurs conflits inter communautaires ont surgi à cause de dispute des terres arables. Ceci a donné naissance aux groupes d'auto-défense populaires tel que les maï maï et autres.

Le conflit Teke-Yaka a brisé les relations séculières entre ces deux frères, devenus ennemis de nos jours. Il a détruit les champs et les bêtes dans un espace agricole et d'élevage important qui nourrissaient la ville province de Kinshasa.

Il a provoqué plusieurs milliers des morts ignobles contraire aux traditions de ces deux peuples ayant vécus en paix ensemble. Ainsi, les mariages ont été disloqués, des familles déchirées et jetant de nombreuses personnes infortunées dans la rue devenant des réfugiés dans leurs propres pays, provoquant une crise humanitaires majeure et inattendue. Ainsi, naquit le phénomène « Mubondo » à cause des frustrations dues à l'expropriation des terres agricoles et les taxes de redevance brutales et exagérées par les Tekes en complicité avec d'éleveurs.

Ce mouvement de revendication des terres arables et d'auto-défense donne beaucoup de fil à retordre à gouvernement congolais car il sème mort d'hommes et désolation dans plusieurs de nos villages au Kwango (territoires de popokabaka et Kenge), à Mayi Ndombe (territoire de Kwamouth) et au Kwilu (territoire de Bagata). La ville de Kenge, chef-lieu de la province du Kwango, non préparée à des telles catastrophes, a accueilli de nombreux déplacés sans abris. C'est pourquoi, nous avons jugé utile de mener la présente étude pour appréhender ce triste fléau criminel.

Partant de cette préoccupation, nous nous posons la question de savoir: Quelle est l'incidence du conflit Teke-Yaka sur la vie des familles d'accueil de la ville de Kenge et comment allons-nous remédier aux conséquences ?

Ces déplacés bénéficient-ils de l'aide de l'Etat congolais ou des partenaires ?

Les objectifs de cette étude est d'évaluer l'incidence du conflit Teke-Yaka sur la vie des familles de la Ville de kenge. Nous allons:

- Evaluer le comportement des déplacés de Kwamouth sous logés au dans la ville de Kenge;
- Identifier les activités auxquelles ils s'adonnent par manque d'aide de l'Etat ou des partenaires.

Sur le plan communautaire: La présente étude nous permet d'améliorer nos relations de bon voisinage et d'adopter les mesures de prévention des conflits inter communautaire.

Sur plan étatique et sécuritaire: Prévoir des mécanismes de prévention et de gestion des conflits intercommunautaires. Juguler les crises humanitaires que génèrent ces types des conflits. L'Etat doit savoir sanctionner les instigateurs des désordres et crimes commis pendant ces conflits.

Sur le plan scientifique: Les résultats de notre étude permettront aux futurs chercheurs de s'en référer dans les travaux ultérieurs.

Tous les autres lecteurs seront édifiés par la présente étude.

Tout travail de recherche doit être limité dans le temps et l'espace. La présente étude s'était déroulée dans la ville de Kenge durant la période de mars en juillet 2024.

2 TECHNIQUE D'ÉCHANTILLONNAGE

2.1 POPULATION D'ÉTUDE

D'après Luweso A. (2012), la population d'une étude est l'ensemble d'individus regroupés dans un espace bien précis en vue d'évaluer des raisons de ce regroupement. La population cible de cette étude est composée des déplacés du conflit Teke-Yaka.

2.1.1 ECHANTILLONNAGE

Selon Collin G (2009), un échantillon se définit comme une partie de biens ou un nombre réduit de la population en vue d'évaluer ses caractéristiques applicables à cette population.

Ainsi, pour être précise, nous avons choisi un échantillon de 60 déplacés ayant fui le plateau de bateke et ayant trouvé refuge dans les familles d'accueil dans la ville de kenge.

2.1.2 TRAITEMENT DES DONNÉES

Les données obtenues pendant l'enquête seront traitées sur base de critères d'acceptabilité et en utilisant la formule de pourcentage pour faciliter l'analyse.

$$\text{Taux d'acceptabilité} = F.O/F.A \times 100$$

Légende :

‰: Pourcentage,

F.O: Fréquence Observée,

F.A: Fréquence Attendue,

100: constante ou chiffre conventionnel en statistique.

2.1.3 ANALYSE DES RÉSULTATS

Dans les tableaux ci-dessous nous donnons les profils et interprétés les résultats de nos enquêtes.

2.1.3.1 PROFIL DES ENQUÊTÉS

Tableau 1. Répartition des enquêtés selon le sexe¹

Genre	FO	%
Masculin	36	60
Féminin	24	40
Total	60	100

A la lecture des résultats contenus dans le tableau ci-haut, la majorité de nos enquêtés soit 60% de notre échantillon est constituée des hommes tandis que 40% sont des femmes.

Tableau 2. Age des enquêtés

Tranche	FO	%
16-25 ans	12	20
26-35 ans	32	53,3
Plus de 35 ans	16	26,6
Total	60	100

Les résultats de ce tableau nous renseignent que la plupart nos enquêtés soit 53,3% appartiennent à la tranche de 26 à 35 ans, 26,6 % ont plus de 35 ans contre 20% qui sont dans la tranche d'âge de 16 à 25 ans.

¹ Tous les tableaux de 1 à 11 sont dressés par l'auteur selon les enquêtes du terrain 2024

Tableau 3. Etat civil des enquêtés

Etat	FO	%
Célibataire	10	16,6
Marié	44	73,3
Divorcé	4	6,6
Veuf (ve)	2	3,3
Total	60	100

Quant à leur Etat civil, la majorité soit 73,3 % de notre échantillon sont des mariés contre 16,6⁰/0 des célibataires; 6,6% d'entre-eux sont des divorcés et 3,3% sont des veufs.

Tableau 4. Niveau d'étude des enquêtés

Niveau	FO	%
Analphabète	2	3,3
Primaire	13	21,6
Secondaire	35	58,3
Supérieur	10	16,6
Total	60	100

Au regard de ce tableau, la plupart des sujets soit 58,8% ont un niveau secondaire; 21,6% sont des primaires; 16,6% ont fait les études supérieures contre 3,3 % des gens n'ont jamais à l'école car à leur époque les études ne furent pas prioritaires.

Tableau 5. Profession des enquêtés

Profession	FO	%
Chômeur	2	3,3
Cultivateur/Eleveur	10	16,6
Commerçant	15	25
Fonctionnaire	28	46,6
Autres métiers	5	8,3
Total	60	100

Les résultats repris dans le présent tableau confirment que la majorité de notre échantillon soit 46,6% est constituée des fonctionnaires, 16,6 % sont des cultivateurs; 25 ⁰/0 sont des commerçants; 3,3 % des chômeurs tandis 8,3 % des autres métiers tel que les chauffeurs, les policiers etc...

Tableau 6. Héberger les déplacés du conflit Teke-Yaka

Réponse	FO	%
Oui	60	100
Non	0	
Total	60	100

Tous nos enquêtés soit 100% de notre échantillon ont reçus des déplacés dans leurs différents ménages.

Tableau 7. Nombre personnes avant ce conflit

Effectif	FO	%
1-3 personnes	2	3,3
4-6 personnes	32	53,3
7-10 personnes	25	41,6
Plus de 10 personnes	1	1,6
Total	60	100

Concernant le nombre de personnes vivant dans divers ménages avant le conflit Teke-Yaka, 53,3 % de foyers avaient de 4 à 6 personnes; 41,6% de foyers ont entre 7 à 10 personnes; 3,3 % de ménages avaient de 1 à 3 personnes tandis que 1,6% avaient plus de 10 personnes.

Tableau 8. Nombre de déplacés reçus dans les familles d'accueil

Effectif	FO	%
1-5 personnes	21	35
6-10 personnes	36	60
Plus de 10 personnes	3	5
Total	60	100

Les résultats repris dans ce tableau démontrent que la majorité des familles accueil soit 60% de notre échantillon ont reçu entre 6 à 10 personnes; 35 % des ménages ont reçu entre 1 à 5 personnes tandis que 5 % ménages ont reçu plus de 10 déplacés du plateau de bateke.

Tableau 9. Nombre personnes hébergées dans le ménage

Effectif	FO	%
6 -10 personnes	21	35
11-15 personnes	35	58,3
Plus de 15 personnes	4	6,6
Total	60	100

Le présent tableau nous montre que la majorité de nos enquêtés soit 58,3 % de ménages sont composés de 11 à 15 personnes; 35 % de ménages ont 6 à 10 personnes tandis que 6,6% de familles d'accueil ont plus de 15 personnes résidant sous un même toit.

Tableau 10. Problèmes dans des familles d'accueil

Problèmes	FO	%
Malnutrition	22	36,6
Fréquence élevée des maladies	6	10
Difficulté financière	20	33,3
Filles exposées à la prostitution	7	11,6
Garçons livrés à la mendicité	3	5
Promiscuité/espace étroit dans la maison	2	3,3
Total	60	100

Le contenu du tableau ci-dessus nous révèle plusieurs difficultés éprouvées par les familles d'accueil notamment: 36,6% estiment que les enfants surtout souffrent de la malnutrition car les aliments sont insuffisants à la consommation; 33,3 % des ménages ont beaucoup de difficultés financières; 11,6% dénoncent la prostitution des jeunes filles pour survivre; 10% de nos enquêtés affirment que le taux des maladies est devenu élevé au sein des familles d'accueil; 5 % observent la mendicité chez les garçons ou ils débrouillent à faire des petits travaux avilissants tandis que 3,3 % d'entre-eux parlent de la promiscuité des espaces dans les maisons ayant reçu ces déplacés venus du territoire de Kwamouth dans la province sœur de Mayi ndombe.

Tableau 11. Aide de l'Etat ou des ONGD

Réponse	FO	%
Oui	4	6,6
Non	56	93,3
Total	60	100

Selon les résultats contenus dans ce tableau, la majorité de nos enquêtés soit 93,3 % affirme n'avoir jamais reçu une aide quelconque de l'Etat congolais au travers le ministère des affaires humanitaires ou des partenaires et ong contre 6,6% de sujets affirment avoir reçu l'aide de l'état malgré que cela ne se poursuit plus à ce jour.

Tableau 12. Solutions préconisées

Réponse	FO	%
Prise en charge des déplacés par l'Etat	35	58,3
Aide des ONG	15	25
Aide des partenaires	10	16,6
Total	60	100

Au regard des résultats repris dans le tableau ci-haut, la plupart de nos interlocuteurs soit 58,3 % de nos enquêtés souhaitent l'implication directe de l'état pour venir en aide à ces déplacés; 25 % estiment que les ong peuvent aider les gens qui souffrent énormément tandis que 16,6% sollicitent l'aide des partenaires humanitaires tel que l'Unicef, la croix rouge, Pnud, etc...

3 DISCUSSION DES RÉSULTATS

Selon les résultats issus de notre étude, la majorité de nos enquêtés soit 60% de notre échantillon est constituée des hommes tandis que 40% sont des femmes.

Les résultats de cette enquête nous renseignent que la plupart nos enquêtés soit 53,3% appartiennent à la tranche de 26 à 35 ans, 26,6% ont plus de 35 ans contre 20% qui dans la tranche d'âge de 16 à 25 ans.

Quant à leur Etat civil, la majorité soit 73,3 % de notre échantillon sont des mariés contre 16,6% des célibataires; 6,6% d'entre-eux sont des divorcés et 3,3% sont des veufs.

Au regard de ces résultats, la plupart des sujets soit 58,8% ont un niveau secondaire; 21,6% sont des primaires; 16,6% ont fait les études supérieures contre 3,3% des gens n'ont jamais à l'école car à leur époque les études ne furent pas prioritaires. notre échantillon soit 46,6%

Les résultats traités dans cette étude confirment que la majorité de est constituée des fonctionnaires, 16,6% sont des cultivateurs; 25 % sont des commerçants; 3,3 % des chômeurs tandis 8,3 % des autres métiers tel que les chauffeurs, les policiers etc...

Tous nos enquêtés soit 100% de notre échantillon ont reçus des déplacés dans leurs différents ménages. Concernant le nombre de personnes vivant dans divers ménages avant le conflit Teke-Yaka, 53,3 % de foyers avaient de 4 à 6 personnes; 41,6% de foyers ont entre 7 à 10 personnes; 3,3 % de ménages avaient de 1 à 3 personnes tandis que 1,6% avaient plus de 10 personnes. Nos résultats démontrent que la majorité des familles accueil soit 60% de notre échantillon ont reçu entre 6 à 10 personnes; 35 %des ménages ont reçu entre 1 à 5 personnes tandis que 5 %ménages ont reçu plus de 10 déplacés du plateau de bateke.

Les résultats de notre enquête nous montrent que la majorité de nos enquêtés soit 58,3 % de ménages sont composés de 11 à 15 personnes; 35 % de ménages ont 6 à 10 personnes tandis que 6, % de familles d'accueil ont plus de 15 personnes résidant sous un même toit.

La synthèse de nos résultats nous révèle plusieurs difficultés éprouvées par les familles d'accueil notamment: 36,6% estiment que les enfants surtout souffrent de la malnutrition car les aliments sont insuffisant à la consommation; 33,3 % des ménages ont beaucoup de difficultés financières; 11,6% dénoncent la prostitution des jeunes filles pour survivre; 10% de nos enquêtés affirment que le taux des maladies est devenu élevé au sein des familles d'accueil, 5 % observent la mendicité chez les garçons ou ils débrouillent à faire des petits travaux avilissants tandis que 3,3 % d'entre-eux parlent de la promiscuité des espaces dans les maisons ayant reçu ces déplacés venus du territoire de Kwamouth dans la province sœur de Mayi ndombe.

Selon l'analyse de nos résultats révèle que la majorité de nos enquêtés soit 93,3 % affirme n'avoir jamais reçu une aide quelconque de l'Etat congolais au travers le ministère des affaires humanitaires ou des partenaires et Ong contre 6,6% de sujets affirment avoir reçu l'aide de l'état malgré que cela ne se poursuit plus à ce jour.

Au regard de ces résultats la plupart de nos interlocuteurs soit 58,3 % de nos enquêtés souhaitent l'implication directe de l'état pour venir en aide à ces déplacés; 25 % estiment que les Ong peuvent aider les gens qui souffrent énormément tandis que 16,6% sollicitent l'aide des partenaires humanitaires tel que l'Unicef, la croix rouge, Pnud, etc...

Tous nos résultats convergent avec les études antérieures des autres chercheurs reprises dans les lignes qui suivent dans la mesure où elles ont toutes le même thème et objet de recherche. En plus, les conclusions issues des différentes analyses évoquent les causes et conséquences identiques malgré les mécanismes de gestion de ces divers conflits peuvent avoir des approches différentes.

Le mémoire de Itana Nkwar (UCL) traite de la problématique des conflits intercommunautaires en RDC: Les conflits communautaires en RDC: étude comparée du conflit entre les Banyarwandas et les Nande, Nyanga, Hunde et Tembo et du conflit entre les Banunu et les Batende.

4 RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES D'AVENIR

4.1 A L'ÉTAT CONGOLAIS

- D'édicter des lois spéciales pour prévenir et anticiper les conflits inter communautaires dans toute l'étendue de notre pays.
- De prévoir des mécanismes de gestion de ces genres des conflits générateurs des conséquences très néfastes de nos peuples.
- De secourir toute population en danger et de lui apporter l'aide multiforme nécessaire à sa survie.
- D'organiser la réintégration des toutes ses personnes devenues vulnérables.

4.2 AUX COMMUNAUTÉS CONGOLAISES

- De favoriser la politique des bons voisinages afin de vivre en paix en organisant des dialogues permanents pour trouver des solutions à l'amiable en cas de désaccord.

4.3 AUX FAMILLES D'ACCUEIL DE LA VILLE DE KENGE

- De n'aménager aucun effort pour venir en aide à leurs frères et sœurs en souffrance en continuant à s'imposer quelques sacrifices au nom de l'assistance en personne en danger.

4.4 AUX DÉPLACÉS CONCERNÉS:

- De se livrer à des activités lucratives saines malgré la souffrance qu'ils endurent pendant cette période.
- D'éviter tout acte déshonorant susceptible de favoriser les infections sexuellement transmissibles et les grossesses non désirées pour les femmes; et, des actes des vols ou des travaux des mineurs pour les hommes.

Enfin, cette étude est une œuvre humaine pour laquelle toute contribution scientifique positive est la bienvenue pour l'avancement de la science. Nous avons donné un rayon de lumière afin que l'élan de la recherche ne puisse pas s'éteindre.

5 CONCLUSION

Au terme de cette étude consacrée à l'incidence du conflit Teke-Yaka sur le vécu quotidien des familles d'accueil dans la ville de kenge, nous faisons ici l'économie de notre enquête de terrain.

En effet, les objectifs de notre étude furent d'évaluer l'incidence du conflit Teke-Yaka sur la vie des familles d'accueil du quartier Masikita ; Evaluer le comportement des déplacés de Kwamouth sous logés dans la ville de Kenge et identifier les activités auxquelles ils s'adonnent par manque d'aide de l'Etat ou des partenaires.

Pour réaliser notre étude, nous avons recours à la méthode d'enquête appuyée par la technique documentaire et l'interview afin d'atteindre les objectifs assignés à notre recherche.

A l'issu de notre enquête, nous avons obtenu les résultats suivants: la plupart de nos enquêtés soit 53,3% appartiennent à la tranche de 26 à 35 ans, 26,6% ont plus de 35 ans contre 20% qui dans la tranche d'âge de 16 à 25 ans.

Quant à leur Etat civil, la majorité soit 73,3 % de notre échantillon sont des mariés contre 16,6% des célibataires; 6,6% d'entre-eux sont des divorcés et 3,3% sont des veufs.

Au regard de ces résultats, la plupart des sujets soit 58,8% ont un niveau secondaire; 21,6% ont terminé l'école primaire; 16,6% ont fait les études supérieures contre 3,3 % des gens n'ont pas étudiés.

Les résultats traités dans cette étude confirment que la majorité de notre échantillon soit 46,6% est constituée des fonctionnaires, 16,6% sont des cultivateurs; 25 % sont des commerçants; 3,3 % des chômeurs tandis 8,3 % des autres métiers tel que les chauffeurs, les policiers etc...

Tous nos enquêtés soit 100% de notre échantillon ont reçus des déplacés dans leurs différents ménages.

Concernant le nombre de personnes vivant dans divers ménages avant le conflit Teke-Yaka, 53,3 % de foyers avaient de 4 à 6 personnes; 41,6% de foyers ont entre 7 à 10 personnes; 3,3 % de ménages avaient de 1 à 3 personnes tandis que 1,6% avaient plus de 10 personnes.

Nos résultats démontrent que la majorité des familles accueil soit 60⁰/0 de notre échantillon ont reçu entre 6 à 10 personnes; 35%des ménages ont reçu entre 1 à 5 personnes tandis que 5 % ménages ont reçu plus de 10 déplacés du plateau de bateke.

Les résultats de notre enquête nous montrent que la majorité de nos enquêtés soit 58,3 % de ménages sont composés de 11 à 15 personnes; 35 ⁰/0 de ménages ont 6 à 10 personnes tandis que 6,6% de familles d'accueil ont plus de 15 personnes résidant sous un même toit.

La synthèse de nos résultats nous révèle plusieurs difficultés éprouvées par les familles d'accueil notamment: 36,6% estiment que les enfants surtout souffrent de la malnutrition car les aliments sont insuffisant à la consommation, 33,3 % des ménages ont beaucoup de difficultés financières; 11,6% dénoncent la prostitution des jeunes filles pour survivre; 10⁰/0 de nos enquêtés affirment que le taux des maladies est devenu élevé au sein des familles d'accueil; 5 % observent la mendicité chez les garçons ou ils débrouillent à faire des petits travaux avilissants tandis que 3,3 % d'entre-eux parlent de la promiscuité des espaces dans les maisons ayant reçu ces déplacés venus du territoire de Kwamouth dans la province sœur de Mayi ndombe.

Selon l'analyse de nos résultats révèle que la majorité de nos enquêtés soit 93,3% affirme n'avoir jamais reçu une aide quelconque de l'Etat congolais au travers le ministère des affaires humanitaires ou des partenaires et Ong contre avoir reçu 6,6% de sujets affirment de l'état malgré que cela ne se poursuit plus à ce jour.

La plupart de nos interlocuteurs soit 58,3 % de nos enquêtés souhaitent l'implication directe de l'état pour venir en aide à ces déplacés; 25 % estiment que les Ong peuvent aider les gens qui souffrent énormément tandis que 16,6% sollicitent l'aide des partenaires humanitaires tel que l'Unicef, la croix rouge, Pnud, etc...

Au regard de nos résultats, nous confirmons les hypothèses de notre recherche.

REMERCIEMENTS

Nous remercions de façon particulière le chef de travaux Charles NDUMBI KAPUKU pour sa lecture approfondie et Madame Horline NGALULA pour la mise en forme de ces manuscrits. Nous restons reconnaissant à notre deuxième lectrice Madame Orcharlene NDUMBI.

REFERENCES

- [1] ITANA N. Yves et Benoît R. [UCL, 2023]: Les conflits communautaires en RDC: étude comparée du conflit entre les Banyarwandas et les Nande, Nyanga, Hunde et Tembo et du conflit entre les Banunu et les Batende.
- [2] Jana K, (2018): Communautés résilientes: Non-violence et organismes civils dans les guerres civiles.
- [3] DIABATE (2021), ONU: (UN Peacebuilding Fund), dans le cadre du projet conjoint FAO, OIM et PNUE: «Consolidation de la paix dans la zone frontalière du nord-est de la Côte d'Ivoire, par le biais d'une gestion participative et planifiée des ressources naturelles».
- [4] Mohamed DIABATE (2021): Organisation internationale pour les Migrations (OIM).
- [5] Christelle Ahou Bredou (2021): Etude de base sur les conflits entre communautés liés à la gestion des ressources naturelles et identification des structures/mécanismes de résolution des conflits existants.
- [6] BARRY BOUBACAR ET AL, Evaluation de la prise en charge de MAS dans le service de pédiatrie de l'hôpital de GAO.
- [7] ISAKA SONDE, Analyse de prise en charge d'enfant en malnutrition au centre de récupération nutritionnel, 2009 Burkina-Faso.
- [8] PRONANUT, Module de la nutrition à assise communautaire 2016.
- [9] Young, 2001; SUN, 2016.
- [10] JULIEN Dembele, technologie alimentaire et nutrition humaine, Université de Wagadougou, 2012.
- [11] Lemonnier et al., Qualité de la prise en charge de la malnutrition aigue severe, Bamako 1986.
- [12] UNICEF, Prise en charge des enfants malade, 2009.

- [13] OMS, 2004 Prise en charge adéquate de la MAS.
- [14] KOUANDA S, R. Tonglet, V. De Coninck B. Doulogou, B. Sondo, J.M. Ketelslegers.
- [15] Robert. Reference values of IGF-I in children from birth to 5 years of age, in Burkina Faso, using blood samples on filter paper. Growth hormone and IGF Research, 2008.
- [16] PIROZZI. Malnutrition in the sahel, UNICEF/WCARO, 2008.
- [17] ONUSIDA/OMS: Le point de l'épidémie de SIDA, 2000.
- [18] WHO: Projected budget for 1^{er} exercice 2000-2003.
- [19] Institut National de la Statistique et de la Démographie, Macro International Inc., Enquête Démographique et de Santé du Burkina Faso, 2003.
- [20] SOME JF: Itinéraire des enfants admis pour malnutrition dans les centres de réhabilitation et d'éducation nutritionnelle de Ouagadougou. Thèse de doctorat, Université de Ouagadougou 1999.
- [21] NEVIN SS. Historical concepts of interactions, synergism and antagonism between nutrition and infection. J Nutr 2003; 133: 316S-321S.
- [22] BRIEND A. Prise en charge de la malnutrition grave in la malnutrition de l'enfant: Des bases physiologiques à la prise en charge sur le terrain Institut Danone, 1998, 163p.
- [23] COLLINS S. Changing the way we address severe malnutrition during famine. Lan 2001; 358: 498-501.
- [24] World Health Organisation. Management of severe malnutrition. A manual of physicians and other senior health workers. Geneva: World Health Organisation; 1999.
- [25] BRIEND A. Prévention et traitement de la malnutrition. ORSTOM 1985, 146 p.
- [26] KUAKUWI N, SALL MG, SOW HD, MOREIRA C, SANOKHO A. Principales caractéristiques des MCP à l'HEAR: à propos de 758 cas hospitalisés en deux ans. Afrique Médicale 1988, 27: 268, 529, 531.
- [27] WATERLOW J. C. Treatment of severe PEM, Waterlow J.C. (Ed.) PEM Edward Arnold, 1992, p. 164-186.).
- [28] BRIAND A, Dykewicz C, Graven K, Mazumder RN, Wojtyniak B, Benish M. Usefulness of nutritional indices and classification in predicting death of malnourished children. BMJ 1986.
- [29] MAIN P. La malnutrition protéino - calorique de l'enfant en Afrique de l'Ouest. A propos d'une année de médecine infantile en Haute-Volta. Thèse Méd., Paris Bichat Beaujon 1975, 11^o86.
- [30] J.P. BEAU, A. SY. Réhabilitation nutritionnelle en hôpital de jour au Sénégal: résultats à court et moyen terme. Médecine d'Afrique Noire. 1993, 40 (12).
- [31] SALL M.G., BADJI M.L., MARTIN S.L., KUAKUWI N. Recupération nutritionnelle en milieu hospitalier régional: Le cas de l'Hôpital Régional de Kaolack (Sénégal). Médecine d'Afrique Noire: 2000, 47 (12).

Detection of antibiotic-resistant *Escherichia coli* and *Salmonella* spp. in wastewater from a former slaughterhouse in Ivory Coast

Ibourahema Coulibaly¹, Condé Fatoumata², Kalpy Julien Coulibaly³, Konaté Ibrahim⁴, and Daouda Koné⁵

¹Lecturer, Teacher-Researcher, Agrovalorization Laboratory, Department of Biochemistry-Microbiology, UFR Agroforestry, Jean Lorougnon Guédé University, BP 150 Daloa, Ivory Coast

²Researcher, Agrovalorization Laboratory, Department of Biochemistry-Microbiology, UFR Agroforestry, Jean Lorougnon Guédé University, BP 150 Daloa, Ivory Coast

³Associate Professor, Physician, University Hospital Center (CHU) of Cocody, Environmental Chemistry and Microbiology Unit, Institut Pasteur de Côte d'Ivoire, BP 490 Abidjan 01, Ivory Coast

⁴Full Professor, Teacher-Researcher, Laboratory of Agrovalorization, Department of Biochemistry-Microbiology, UFR Agroforestry, Jean Lorougnon Guédé University, BP 150 Daloa, Ivory Coast

⁵Full Professor, Teacher-Researcher, Laboratory of Plant Physiology, Department of Biology, UFR of Bioscience, Abidjan, Felix Houphouët Boigny University, BP V34 Abidjan 01, Ivory Coast

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The research presented in this memory was carried out at the Institut Pasteur in Côte d'Ivoire and carried out on *E. coli* and *Salmonella* spp. The objective of this study was to isolate *E. coli* and *Salmonella* spp. strains resistant to antibiotics from wastewater from the Port-Bouët slaughterhouse. From September 2017 to March 2018, 17 strains of *E. coli* and 7 *Salmonella* spp. were isolated in 63 samples of wastewater collected at the slaughterhouse of Port-Bouët. Their identification was performed according to conventional bacteriological tests. An antibiogram according to the disk diffusion method was carried out for 21 antibiotics commonly used in human and veterinary medicine. The prevalence observed was 26.98% for *E. coli* strains. and 11.11% for *Salmonella* spp. All strains of *E. coli* showed complete (100%) resistance to 3rd generation cephalosporins, aztreonam, amoxicillin + clavulanic acid, and ampicillin. However, family resistance rates of quinolones, aminoglycosides, sulfonamides and cyclins remain very high. The sensitivity of *E. coli* to imipenem and amikacin was 100%. *Salmonella* spp. strains, on the other hand, were resistant only to beta-lactam at lower levels compared to *E. coli* strains. coli. In-depth studies are needed to determine the resistance mechanisms of these bacteria.

KEYWORDS: *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., beta-lactam, quinolones, sulfonamides, aminoglycosides, cyclins, antibiogram.

1 INTRODUCTION

Contamination by bacterial strains from animals can cause serious pathologies in humans. This contamination occurs through the consumption of soiled foodstuffs of animal origin. It can also occur through contact with the environment, contaminated by live animals via faeces, manure, slurry or slaughterhouse effluents [1]. Slaughterhouse effluents correspond to all liquid discharges produced on the slaughterhouse site, i.e. water resulting from the slaughtering activity (process, washing) and black water (sanitary). By their nature, these effluents are highly loaded with bacteria [2]. Studies indicate that antibiotic-resistant bacteria and/or pathogens of human or animal origin such as *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* spp., *Campylobacter* spp. are excreted into the environment via slaughterhouse water [3–5]. Ruminants, the main reservoir, are thought to participate in the maintenance of the epidemiological cycle of pathogens [6,7]. The intensive use of antibiotics for therapeutic, preventive or growth-promoting purposes makes livestock farms,

particularly cattle farms, privileged places for resistant pathogens to develop, survive and spread [8]. Indeed, *Escherichia coli* and *Salmonella* spp. are the most frequently isolated bacteria from these farms. Studies conducted in several countries show that these bacteria develop resistance to certain antibiotics. Faced with this situation, these countries have developed surveillance networks on antibiotic resistance in these strains. According to the WHO, 80% of the diseases that affect the world's population are linked to water pollution [9]. Indeed, most of the microorganisms that are at the origin of the great historical epidemics of waterborne origin have as their normal habitat the intestines of humans and certain warm-blooded animals. This is why the control and monitoring of water quality, especially wastewater, seems increasingly essential. Located in the south of Côte d'Ivoire, the city of Abidjan is the country's largest city in terms of inhabitants with an estimated population of more than six million. It has only one modern slaughterhouse, that of the municipality of Port-Bouët, which represents the largest slaughterhouse in the country on an area of 6 hectares. Unfortunately, the Port-Bouët slaughterhouse is not equipped with a pre-treatment or wastewater treatment system. The effluents are discharged without treatment into the Ebrié lagoon, used by the surrounding populations for fishing and vegetable crops. Thus, liquid discharges from the slaughterhouse would represent one of the main environmental problems that the municipality of Port-Bouët in particular, but also the city of Abidjan in general, would be confronted with, given the extent of the pollution generated by these effluents, which could have impacts on surface water resources and the health of the population. Faced with this situation and as part of the control and surveillance of diseases due to resistant pathogens, it was considered interesting to carry out a study on the wastewater of the Port-Bouët slaughterhouse. The primary objective of this study is to isolate antibiotic-resistant strains of *Escherichia coli* and *Salmonella* spp. from the wastewater of the Port-Bouët slaughterhouse. In addition to this main objective, there are two specific objectives: (i) to isolate strains of *Escherichia coli* and *Salmonella* spp. from the wastewater of the Port-Bouët slaughterhouse, and (ii) to evaluate the antibiotic resistance of these microorganisms.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 STUDY SITE

The study was carried out at the slaughterhouse located in the municipality of Port-Bouët. It should be noted that the Port-Bouët slaughterhouse was built a year before the independence of Côte d'Ivoire and covers an area of 6 ha. It represents the largest slaughterhouse in the city of Abidjan and Côte d'Ivoire. In its management, the Port-Bouët slaughterhouse is made up of an administration; a cattle yard; a breeding pen, a slaughterhouse and various points on the site where the animals' heads, feet, tails and skins are buckled. In addition, the slaughterhouse is not equipped with a pre-treatment or wastewater treatment system. The effluent is discharged directly through a pipe system leading to the Ebrié lagoon.

2.2 SAMPLING

Wastewater samples were taken at eight (8) points on the Port-Bouët slaughterhouse site. The points were selected according to a pipe system that runs from the slaughterhouse to the discharge of the water into the Ebrié Lagoon. These points have been named from P1 to P8 as follows: P1 (slaughterhouse), P2 (exit from the slaughterhouse), P3 (in front of the 16 new administration), P4 (at the level of the dwellings), P5 (point of buckling of cattle heads and dwellings), P6 (outlet of water from the pipe), P7 (livestock farm) and P8 (contact with the Ebrié Lagoon). The sampling sessions were carried out once a week for 7 weeks between 9 and 10 a.m.; hours when the atmosphere in the slaughterhouse is more fluid. The samples were taken in sterile one-litre (1L) glass vials and then transported using a cooler containing cold packs for sample storage. A total of 56 wastewater samples (7 per point) were collected from the Port-Bouët slaughterhouse. The samples were immediately sent to the laboratory for analysis.

2.3 ASSESSMENTS

2.3.1 PREPARATION OF THE BACTERIAL SUSPENSION

A volume of 15 mL of wastewater from each sample was introduced into 15 mL vials and centrifuged at 3000 rpm for 5 minutes. After centrifugation, 1 mL of the pellet from each centrifuged sample was removed by a sterile pipette and added to a volume of 9 mL of buffered peptone water (BPW) contained in a sterile test tube. The whole thing was homogenized (manually) for two (2) minutes and constituted our bacterial suspension.

- **E. coli testing**

The search for *E. coli* was carried out according to the method described by Ouattara *et al.* (2014) [10]. For this purpose, Rapid *E. coli* medium has been substituted for Drygalski medium. Rapid *E. coli* (ReC2) medium supplemented with 2 mg/L of Ceftazidime was used in this study.

- **Preparation of ceftazidime solution**

An amount of 2 mg of ceftazidime (antibiotic) was weighed and then added to 5 mL of sterile distilled water to give an initial concentration of 0.4 mg/mL. The antibiotic solution was stored in a freezer at -20°C until use.

- **Preparation of ReC2+ ceftazidime medium for the isolation of *E. coli***

Following the preparation of Rapid *E. coli* (ReC2) agar according to the manufacturers' instructions, a volume of 20 mL of the medium was dispensed into sterile glass vials. Subsequently, a V_i volume of the originally prepared ceftazidime solution was added to each vial containing 20 mL of ReC2 agar. This volume was determined according to the following formula:

$$C_i * V_i = C_f * V_f \rightarrow \rightarrow \rightarrow C_f = \frac{C_i}{V_f} * V_i$$

C_i : initial concentration of ceftazidime solution; **V_i** : initial volume of ceftazidime solution; **C_f** : final concentration of Rapid *E. coli* agar; **V_f** : final volume of the ReC2 agar

Thus, to obtain a Rapid *E. coli* agar at a concentration of 2mg/mL, a volume of 100 μ L of the ceftazidime solution with a concentration of 0.4 mg/mL was added to each vial containing 20 mL of Rapid *E. coli*. After homogenization, the contents of each vial were poured into a Petri dish.

2.3.2 ISOLATION OF DIFFERENT BACTERIAL STRAINS

- **Isolation of *E. coli***

Isolation consisted of inoculating the bacterial suspension on Rapid *E. coli* agar supplemented with ceftazidime (ReC2+Ceftazidime) by the streak depletion technique. The seeded Petri dishes were then incubated at 44 °C for 24 hours. Presumptive purple *E. coli* colonies on agar were subsequently identified from oxidase, catalase and Leminor's reduced rack tests.

- **Isolation of *Salmonella* spp.**

The search for strains of *Salmonella* spp. was carried out in accordance with the **NF ISO 6579** standard [11]. on the search for salmonella in foodstuffs and environmental samples. It was carried out in three main stages, namely first, the pre-enrichment stage, which consisted of incubating the bacterial suspension previously prepared for 24 hours at 37°C. Then in the enrichment step, a volume of 0.1 ml of the pre-enriched solution was inoculated in 10 ml of Rappaport Vassiliadis. The homogenized mixture was incubated at 44 °C for 24 hours to form the enriched solution. Enrichment in a selective medium (Rappaport Vassiliadis) allowed the development of salmonella while retarding or inhibiting the growth of other microorganisms. Finally, the isolation stage, which consisted of seeding the enriched solution on the selective Hecktoen medium by the streak depletion technique. The seeded boxes were then incubated at 37 °C for 24 hours. After incubation, presumptive colonies of *Salmonella* spp. of translucent green color with or without black center were identified from oxidase, catalase and Leminor's reduced rack assays.

2.3.3 DETERMINATION OF THE ANTIBIOTIC RESISTANCE PROFILE OF *E. COLI* AND *SALMONELLA* SPP. STRAINS

The determination of the antibiotic resistance profile of the *E. coli* and *Salmonella* spp. strains consisted of testing 21 antibiotic discs belonging to the beta-lactam, aminoglycoside, cyclin, phenicolate, sulfonamide and quinolone families. The strains confirmed *E.coli* and *Salmonella* spp. following the reduced Leminor rack were purified on ordinary agar and subjected to the determination of the resistance profile. For this purpose, a colony fragment isolated from ordinary agar

was collected using a dropper pipette and suspended in a physiological water solution (10 ml). The inoculum, well homogenized, constituted the bacterial suspension. Turbidity measurement was performed using the BioMeros Densimat at 0.5 McFarland.

The inoculum obtained was used to inoculate the Müller-Hilton agar (HD) previously poured into the petri dishes. To do this, a sterile cotton swab was dipped into the inoculum. Excess liquid was removed by rotating the swab over the tube walls to prevent over-flooding of the agar. The swab was performed on the entire surface of the agar in three directions according to EUCAST/ CA-SFM 2017.

Antibiotics (**Table 1**) were deposited on agar plates of HD inoculated using the disc dispenser (7 per dish). The dishes were then incubated at 37 °C for 24 hours. After incubation, the reading of the inhibition zones was carried out using a software, ADAGIO, in order to define the sensitive, intermediate or resistant categories of the isolated strains.

Table 1. Table of antibiotic discs used

Group	Antibiotics tested	Abbreviations	Charge	Critical Concentration (mg/L)		Critical Diameters (mm))	
				S ≤	R >	S ≥	R <
β-lactamines	Amoxicilline+ Acide clavulanique	AMC	30 µg	8	8	19	19
	Ceftazidime	CAZ	30 µg	1	4	22	19
	Aztreonam	ATM	30 µg	1	4	26	21
	Cefoxitine	FOX	30 µg	8	16	19	15
	Cefotaxime	CTX	30 µg	1	2	20	17
	Imipenème	IMP	30 µg	2	8	22	16
	Ampicilline	AMP	30 µg	8	8	14	14
	Ceftriaxone	CRO	30 µg	1	2	25	22
	Céfépime	FEP	30 µg	1	4	27	21
	Céfixime	CFM	5 µg	1	1	17	17
Quinolons	Ciprofloxacin	CIP	5 µg	0,25	0,5	26	24
	Acide nalidixique	NAL	30 µg	16	16	19	14
	Norfloxacin	NOR	5 µg	0,5	1	22	19
Aminosides	Gentamicine	GMI	15 µg	2	4	17	14
	Amikacine	AKN	30 µg	8	16	16	13
	Tobramycine	TMN	10µg	2	4	17	14
Cyclins	Tétracycline	TET	30 µg	4	8	19	17
	Minocycline	MNO	30 µg	4	8	19	17
Phenicoles	Chloramphénicol	CHL	30 µg	8	8	17	17
Sulfamides	Triméthoprim/ Sulfaméthoxazole	SXT	25 µg	2	4	14	11
Other	Colistin	CST	50 µg	2	2	15	15

3 RESULTS

3.1 ISOLATION FREQUENCY

The results of the microbiological analyses were used to determine the biochemical characteristics of the *E. coli* and *Salmonella* spp. strains summarized in the following table:

Table 2. Biochemistry of *E. coli* and *Salmonella* spp strains

Tests	Gram	Ox	Cat	Urée	Ind	Glu	Lac	H ₂ S	Gaz	LDC	LDA	Man	Cit
<i>E. coli</i>	-	-	+	-	+	+	+	+/-	+/-	+	-	+	-
<i>Salmonella</i> spp.	-	-	+	-	-	+	-	+/-	+/-	+	-	+	+

Of the 56 samples collected and analyzed, 17 strains of *E. coli* were isolated, representing a prevalence of 30.36 %, and 5 strains of *Salmonella* spp., representing a prevalence of 8.93%, met these characteristics.

3.2 DIFFERENCE IN CONTAMINATION ACCORDING TO POINTS

The diagrams below have shown the differences in contamination according to the sampling points. Points 1 and 7 corresponding respectively to the point of the slaughterhouse and the point near the breeding farm were the most contaminated, (**Figure 1., *E. coli***) and (**Figure 2., *Samonella* spp.**).

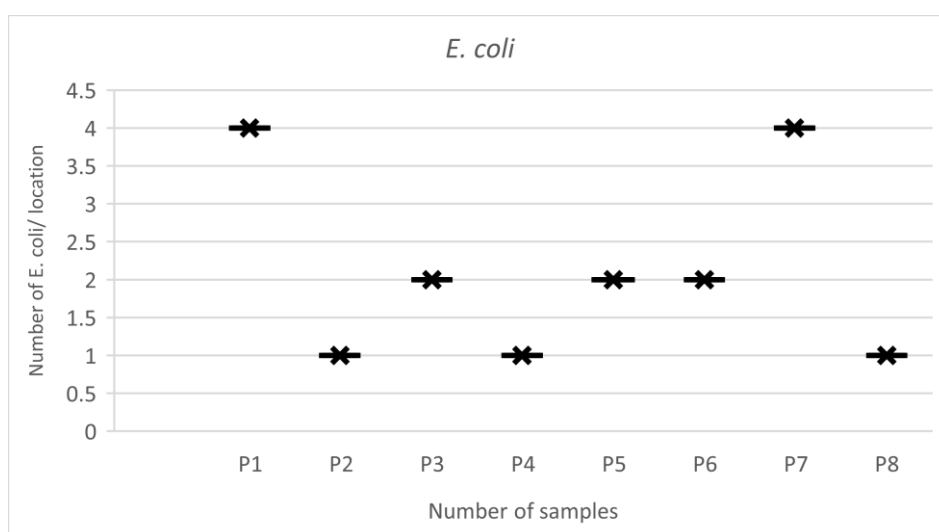


Fig. 1. Difference in *E. coli* contamination depending on the sampling points

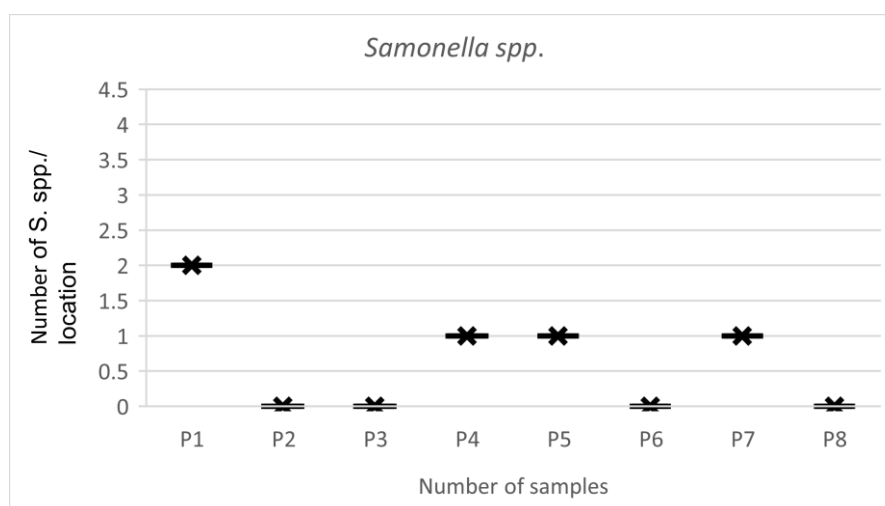


Fig. 2. Difference in *Salmonella* spp. contamination by sampling location

3.3 ANTIBIOTIC RESISTANCE PATTERN OF *E. COLI* AND *SAMONELLA* SPP. STRAINS

The results showed that the *E. coli* strains isolated from the wastewater analyzed were all susceptible to imipenem (17/17 or 100 %). Regarding the other antibiotics of the beta-lactam family, the strains showed complete resistance (17/17

or 100 %) to ceftazidime, ceftriaxone, amoxicillin + clavulanic acid, aztreonam, cefotaxime and ampicillin. The resistance rate remains high for cefepime and cefixime (16/17 or 94.12 %) and lower for ceftiofur with 5/17 or 29.41%.

The rates of resistance of the strains to aminoglycosides were lower with 3/17 or 17.65 % for gentamicin and 6/17 or 35.29 % for tobramycin. All *E. coli* strains were sensitive to amikacin (0/17 or 0 %). For quinolones, the resistance rates were 10/17 or 58.82 % for norfloxacin, 9/17 or 52.94 % for nalidixic acid and 8/17 or 47.06 % for ciprofloxacin. Cyclin resistance rates were high for tetracycline with 16/17 or 94.12 % and slightly lower for minocycline with 9/17 or 52.94 %. For the other antibiotics, a high level was obtained with trimethoprim/sulfamethoxazole (15/17 or 88.24 %), a lower level with chloramphenicol (3/17 or 17.65 %) and a low level with colistin (1/17 or 5.88 %) (Figure 3).

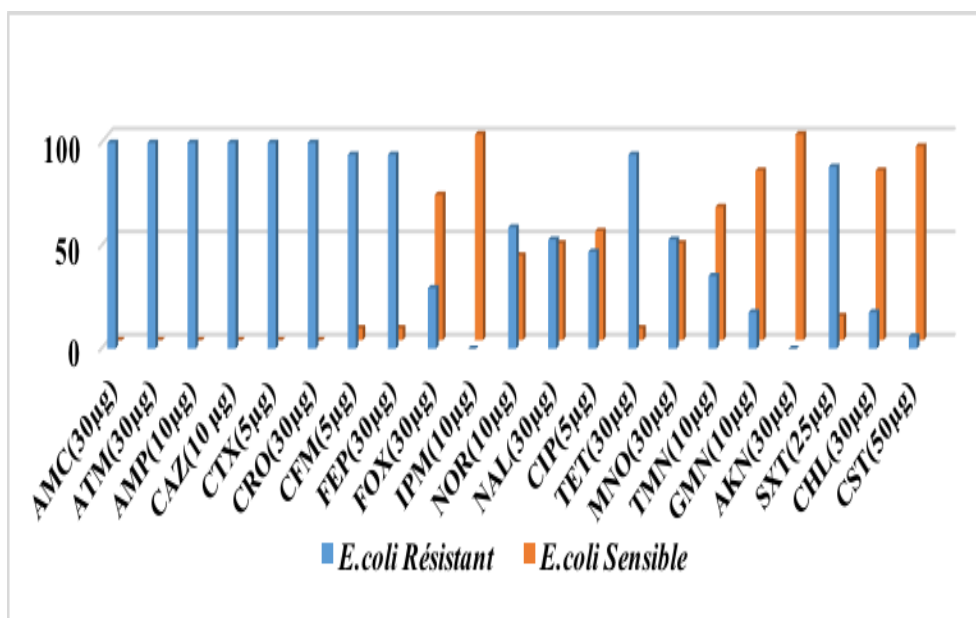


Fig. 3. Resistance rates of isolated *E. coli* by antibiotic

The results show that only 4 strains of *Salmonella* spp. were found to be resistant to an antibiotic from the beta-lactam family. Resistance rates were 1/5 or 20 % for the combination of amoxicillin + clavulanic acid, ceftiofur, ampicillin and ceftazidime. No strains of *Salmonella* spp. showed resistance to imipenem, ceftriaxone, aztreonam, cefepime, cefixime and cefotaxime.

For the families of aminoglycosides (tobramycin, gentamicin, and amikacin), cyclins (tetracycline and minocycline), quinolones (norfloxacin, nalidixic acid, and ciprofloxacin), and other antibiotics used in this study (trimethoprim/sulfamethoxazole, chloramphenicol, and colistin), no strain of *Salmonella* spp. showed resistance (0 %) (Figure 4).

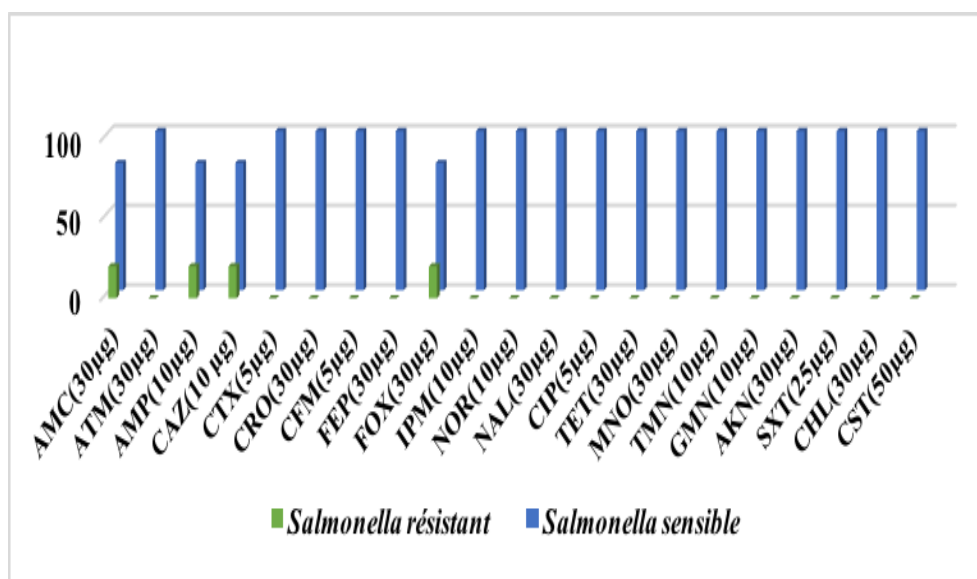


Fig. 4. Resistance rates of isolated *Salmonella* spp. by antibiotic

4 DISCUSSION

This study shows a high prevalence rate of *E. coli* strains (17/56 or 30.36 %) in the effluents of the Port-Bouët slaughterhouse. The results of [4]. show a higher prevalence rate in slaughterhouse effluents (1.18%) compared to those obtained in urban effluents. These studies also demonstrated that 25 % of samples isolated from slaughterhouse effluents carried pathogenicity. The prevalence of *Salmonella* has also been highlighted with a rate of 8.93 %, results close to those of [5] and [11]. which obtained *Salmonella* levels of 5 % and 6.66 % respectively. These results confirm the postulate that animals are reservoirs of *E. coli* and *Salmonella* spp. strains.

The antibiotic susceptibility profile of the 17 *E. coli* strains isolated in our study shows high resistance to the beta-lactam family, including 3rd generation cephalosporins, aztreonam and the penicillin group (100 %). These results do not agree with those obtained by [15], which revealed the absence of resistance to cefotaxime (0 %), ceftazidime (0 %) in 33 strains of *E. coli* isolated from purified raw water and cultures in Morocco. These results can be explained by the high use of antibiotics belonging to the beta-lactam family in the treatment of diseases in the Port-Bouët slaughterhouse. However, these strains remained susceptible to amikacin and imipenem (0 %). These results are in agreement with those obtained by [8]. (36.4 % for amikacin and 100 % for imipenem). One might think that these antibiotics are not commonly used in the treatment of diseases at the Port-Bouët slaughterhouse and therefore occupy a prominent place in the therapeutic treatment of severe infections with multi-resistant bacteria. Moreover, this sensitivity of the isolated *E. coli* strains remains quite close to the ESBLs isolated by [8]. This suggests the chances of finding extended-spectrum beta-lactam (ESBL) - producing strains. For quinolones, the resistance rates of *E. coli* were 47.06 % for ciprofloxacin, 52.94 % for nalidixic acid and 58.82 % for norfloxacin. These results are close to those of [7], (54.44 % with nalidixic acid). Quinolones are currently the largest group of antibiotics. Their interest is linked to their low toxicity and especially to the absence of plasmid resistance [3]. Studies conducted by INRA researchers [1-2], showed that highly resistant quinolone strains of *Escherichia coli* of animal origin appeared by a significant modification of the target. For aminoglycosides, the most active molecule was tobramycin with 35.29 % resistance. This result is in contrast to that of Guessennd *et al.* (2008) [16]. which achieved a resistance rate of 36.4 % for amikacin. This rate is still lower than that obtained in Turkey, which is 64 % [6]. Regarding the other antibiotics, the study revealed a high rate of resistance to trimethopine/sulfamethoxazole (88.24 %) and the cyclin family; tetracycline (94.12 %) minocycline (52.94 %). Only colistin had good activity with 5.88 % resistance.

Strains of *E. coli* isolated from this study, showed fairly high percentages of resistance to several families of antibiotics. Beta-lactams are currently the largest group of these antibiotics. On the contrary, these results showed that *Salmonella* strains were still largely sensitive (0 %) to several families of antibiotics. However, the salmonella isolated in this study was resistant to only one family of antibiotics, beta-lactams, with a prevalence rate of 4/5, or 80 %. These results are in contrast to those obtained by [7]. which show a prevalence of 81.1 % of *Salmonella* spp. strains. antibiotic and more. These strains showed multiple resistance (68.49 %) to five antibiotics (ampicillin, trimethoprim, trimethoprim-sulfamethoxazole, tetracyclines, sulfonamides). These percentages are comparable to those reported in other studies in France [17] and Ethiopia [19]. *E. coli* strains showed higher levels of resistance than those of *Salmonella*, as reported in the literature [12,

18]. It is likely that the isolated *E. coli* strains were under pressure from previous antibiotic therapies. The more a bacterial species or a serotype is encountered in pathology, the higher the frequencies of resistance, [13] Cross-resistance of ceftazidime-resistant *E. coli* strains from the strain isolation stage was observed for all beta-lactams. *Salmonella* also showed cross-resistance to this same family of antibiotics. Cross-resistance has a chromosomal origin and it only concerns antibiotics of the same family, therefore having a common site of action. Thus, resistance to an antibiotic can be accompanied by resistance to other antibiotics in the same family. It was noted from this study that antibiotic-resistant strains of *E. coli* and *Salmonella* spp. respectively 7/17 (41.17 %) and 1/5 (20 %) were found close to contact with the Ebrié Lagoon (breeding park). These strains are released into the environment and therefore represent a risk to public health through contamination of surface wastewater. It should be noted that the water from the Ebrié lagoon in direct contact with the effluents of the slaughterhouse is used by the surrounding populations for fishing and vegetable crops, which constitutes a real threat to the health of the population.

In short, the extent of bacterial resistance observed in this study reflects the previous use of antibiotics, in particular beta-lactams, in cattle farms at the Port-Bouët slaughterhouse as a curative or prophylactic measure. Better control of the evolution of bacterial resistance to antibiotics is only possible by disciplining the use of these products simultaneously in humans and animals.

5 CONCLUSION

The results of this study show that effluent discharges from the Port-Bouët slaughterhouse contribute to the maintenance of the environmental cycle of antibiotic-resistant *E. coli* and *Salmonella* spp. strains. The environment would therefore constitute a reservoir of multi-resistant strains where numerous gene exchanges would take place at the origin of the emergence of new pathogenic and/or resistant clones for humans. Antibiotic resistance is a constantly evolving phenomenon that concerns the entire bacterial world and all families of therapeutic antibiotics. This situation makes it difficult to choose effective measures to limit the erosion of the antibiotic spectrum. To prevent the spread of resistance, the Port-Bouët slaughterhouse should set up a network for monitoring the resistance of bacteria of animal origin. It would also be interesting to select a more representative number of strains of *Salmonella* and *Escherichia coli*, and to repeat this work in order to assess the impact of the spread of resistant bacteria in the environment on public health. An analysis of strains using molecular biology tools could make it possible to acquire information on resistance phenotypes and to distinguish within bacterial populations, the phenomena of clonal diffusion of resistant strains or the transfer of resistance genes.

ACKNOWLEDGMENT

The authors gratefully acknowledge the Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG) for providing the institutional framework that supported the realization of this work. Special thanks are extended to the UFR Agroforesterie and the Microbiology Research and Teaching Unit (UREM) for their technical facilities, scientific guidance, and continuous encouragement throughout the study. The authors also express their appreciation to colleagues and collaborators whose constructive inputs and expertise greatly contributed to the successful completion of this research.

REFERENCES

- [1] M.N. Alekshun and S.B. Levy, «The mar regulon: multiple resistance to antibiotics and other toxic chemicals,» Trends in Microbiology, vol. 7, pp. 410–413, 1999.
- [2] D.I. Andersson and D. Hughes, «Antibiotic resistance and its cost: is it possible to reverse resistance?,» Nature Reviews Microbiology, vol. 8, pp. 260–271, 2010.
- [3] P.M. Bennett, «Plasmid encoded antibiotic resistance: acquisition and transfer of antibiotic resistance genes in bacteria,» British Journal of Pharmacology, vol. 153, no. 1, pp. 347–357, 2008.
- [4] A.A. Diallo, *Escherichia coli* pathogènes et résistantes aux antibiotiques dans les effluents d'origine humaine et animale: Prévalence et caractérisation avant et après traitement épuratoire, Ph.D. Thesis, Université Toulouse III – Paul-Sabatier, France, 2013, 204 p.
- [5] N. Dodo, *Prévalence des souches d'Escherichia coli et Salmonella isolées dans les bouses de bovins vivants dans le parc à bétail de Port-Bouët*, Mémoire de Master, 2013.
- [6] F. Eski, G. Ozer, and I. Balci, «Investigation of the frequency of extended spectrum beta-lactamases and antibiotic resistance in clinical isolates of *Escherichia coli* and *Klebsiella* spp.,» Mikrobiyol Bulteni, vol. 41, no. 3, pp. 447–455, 2007.
- [7] A. Fofana, *Résistance aux antibiotiques des souches d'Escherichia coli isolées de la viande de poulets de chair au Sénégal*, Mémoire DEA, EISMV Dakar, Sénégal, 2004, 43 p.

- [8] N. Guessennd, A. Kacou-N'douba, V. Gbonon, D. Yapi, E. Ekaza, M. Dosso, and P. Courvalin, «Prévalence et profil de résistance des Entérobactéries productrices de BLSE à Abidjan (2005–2006),» *Journal of Pharmaceutical and Biological Sciences*, vol. 9, no. 1, pp. 63–70, 2008.
- [9] C. Holler, S. Koschinsky, and D. Witthuhn, «Isolation of enterohaemorrhagic *Escherichia coli* from municipal sewage,» *The Lancet*, vol. 353, p. 2039, 1999.
- [10] L. Jakobsen, D. Sandvang, L.H. Hansen, L. Bagger-Skjøt, H. Westh, C. Jørgensen, D.S. Hansen, B.M. Pedersen, D.L. Monnet, N. Frimodt-Møller, S.J. Sørensen, and A.M. Hammerum, «Characterisation, dissemination and persistence of gentamicin resistant *Escherichia coli* from a Danish university hospital to the wastewater environment,» *Environment International*, vol. 34, pp. 108–115, 2008.
- [11] A. Kouakou, Sérotypes et profil antibiotiques des souches de *Salmonella* spp. isolées des bouses de bovins du parc à bétail de Port-Bouët (Abidjan, Côte d'Ivoire), Mémoire de Master, 2013.
- [12] H. Leclerc, D. Iazard, M.O. Husson, P. Wattré, and E. Jakubczak, *Microbiologie Générale*, Nouvelle édition, Paris: Éditions Doin, 1983, 369 p.
- [13] J.L. Martel, «Epidémio-surveillance de l'antibiorésistance des bactéries pathogènes chez l'animal,» *Épidémiologie et Santé Animale*, vol. 29, pp. 107–120, 1996.
- [14] Ministère de l'Environnement (MEDAD), Arrêté du 30 avril 2004 relatif aux prescriptions applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation sous la rubrique n°2210 «abattage d'animaux». NOR: DEV0430124A, *Journal officiel de la République française*, vol. 141, p. 11034, 2004.
- [15] N. Oubrim, N. Cohen, and K. Hajjami, «Détection des entérocoques fécaux et *Escherichia coli* résistants aux antibiotiques isolés à partir des eaux brutes épurées et cultures,» *European Journal of Scientific Research*, Morocco, pp. 453–461, 2012.
- [16] T. Prado, C.W. Pereira, and D.M. Silva, «Detection of extended-spectrum beta-lactamase-producing *Klebsiella pneumoniae* in effluents and sludge of a hospital sewage treatment plant,» *Letters in Applied Microbiology*, vol. 46, pp. 136–141, 2008.
- [17] P. Sanders, M. Gicquel, F. Humbert, A. Perrin-Guyomard, and G. Salvat, «Plan de surveillance de la résistance aux antibiotiques chez les bactéries indicatrices isolées de la flore intestinale des porcs et de la volaille (1999–2001),» *Bulletin de l'Académie Vétérinaire de France*, vol. 155, no. 3–4, pp. 267–276, 2002.
- [18] Santé Canada, L'utilisation au Canada d'antimicrobiens chez les animaux destinés à l'alimentation: conséquences sur la santé humaine, Rapport du comité consultatif, 2002.
- [19] B. Tibaijuka, B. Molla, G. Hildebrandt, J. Kleer, and W. Salah, «Résistance antimicrobienne des *Salmonella* isolées de la viande de poulet crue vendue au détail et des abats de volaille,» *Bulletin of Animal Health and Production in Africa*, vol. 50, no. 2, pp. 86–95, 2002.
- [20] C. Vernozy-Rozand, M.P. Montet, F. Lequerrec, E. Serillon, B. Tilly, C. Bavai, S. Ray-Gueniot, J. Bouvet, C. Mazuy-Cruchaudet, and Y. Richard, «Prevalence of verotoxin-producing *Escherichia coli* (VTEC) in slurry, farmyard manure and sewage sludge in France,» *Journal of Applied Microbiology*, vol. 93, pp. 473–478, 2002.
- [21] C.M. Yang, M.F. Lin, P.C. Liao, H.W. Yeh, B.V. Chang, T.K. Tang, C. Cheng, C.H. Sung, and M.L. Liou, «Comparison of antimicrobial resistance patterns between clinical and sewage isolates in a regional hospital in Taiwan,» *Letters in Applied Microbiology*, vol. 48, pp. 560–565, 2009.

