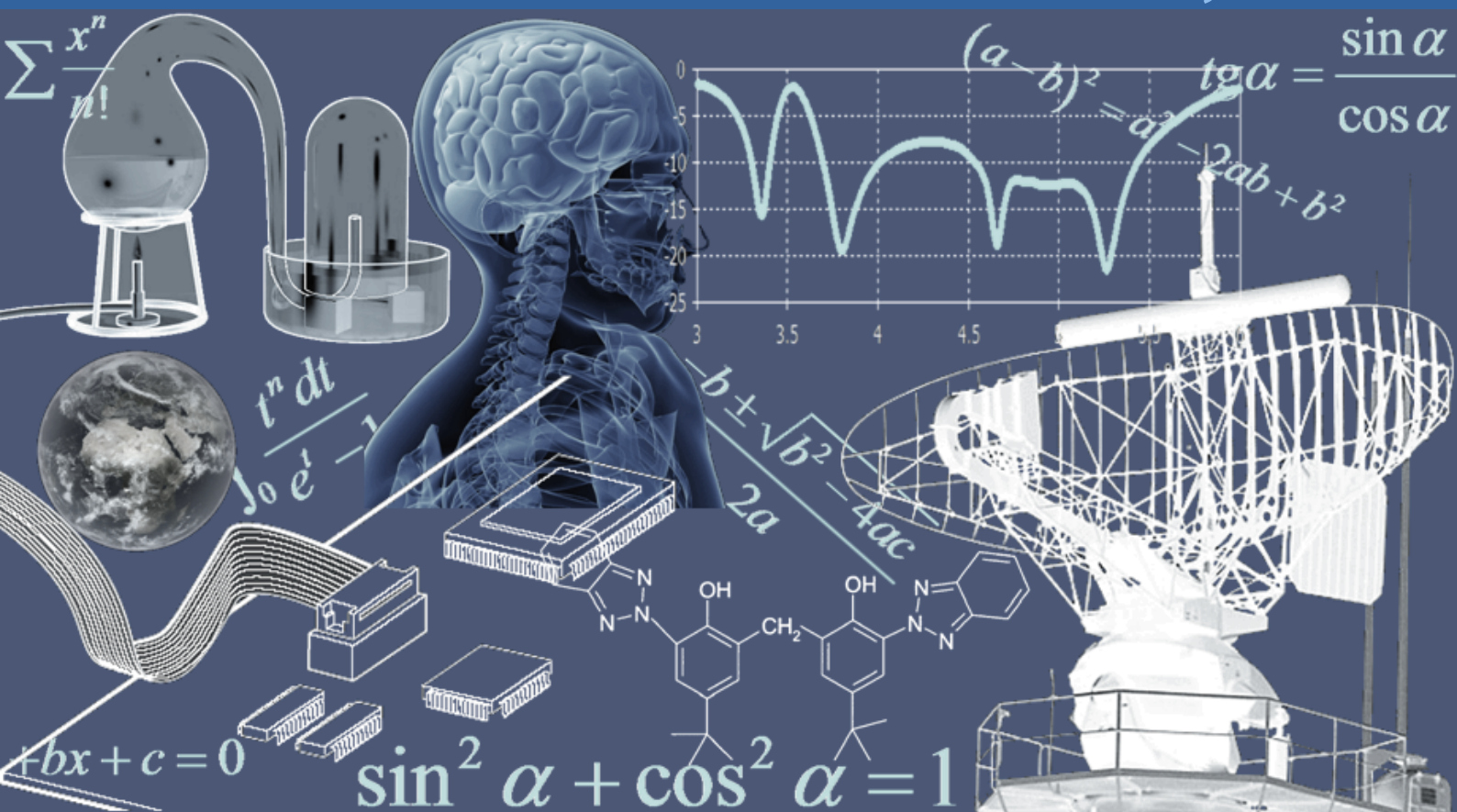


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 45 N. 4 June 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 Kavroudakis, University of the Aegean, Greece
Vaitsa Giannouli, Aristotle University of Thessaloniki, Greece
Nataša Pomazalová, Mendel University in Brno, Czech Republic
Hazem M. Shaheen, Damanhour University, Egypt
Shalini Jain, Manipal University Jaipur, India
Amin Jula, National University of Malaysia, Malaysia
Mahdi Moharrampour, Islamic Azad University, Buin zahra Branch, Iran
Ricardo Rodriguez, Technological University of Ciudad Juarez, Mexico
Yuniel E. Proenza Arias, Universidad de las Ciencias Informáticas, Cuba
Elizabeth Bissell Miller, University of Missouri, Columbia
Bertin Désiré SOH FOTSING, University of Dschang, Cameroon
Antonella Petrillo, University of Cassino and Southern Lazio, Italy
Hong Zhao, The Pennsylvania State University, USA
Jianjun Chen, The University of Chicago, USA
Shaju George, Royal University for Women, Kingdom of Bahrain
Chandrasekaran Subramaniam, Kumaraguru College of Technology, India
Ilango Velchamy, New Horizon College of Engineering, India
M. Kumaresan, M.P.N.M.J. Engineering College, India
Mohammad Valipour, University of Tehran, Iran
Mohameden Sidi El Vally, King Khalid University, KSA
Mona Hedayat, Boston Children's Hospital, Harvard Medical School, USA
Suresh Kumar Alla, Advanced Medical Technologies, BD Technologies, USA
Ahmed Hashim Mohaisen Al-Yasari, Babylon University, Iraq
Aziz Ibrahim Abdulla, Tikrit University, Iraq
Khalid Mohammed Shaheen, Technical College of Mosul, Iraq
Baskaran Kasi, Kuala Lumpur Infrastructure University College, Malaysia
Nurul Fadly Habidin, Universiti Pendidikan Sultan Idris, Malaysia
Adnan Riaz, Allama Iqbal Open University, Pakistan
Syed Noor Ul Abideen, KPK Agricultural University, Pakistan
Arab Karim, M'Hammed Bougara University of Boumerdes, Algeria
Zoubir Dahmani, UMAB University of Mostaganem, Algeria
Mohsen Brahmi, Sfax University, Tunisia
Mongi Besbes, University of Carthage, Tunisia
Mai S. Mabrouk, Misr University for Science and Technology, Egypt
Olfat A Diab Kandil, Misr University for Science and Technology, Egypt

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

Table of Contents

Caractérisation de la consommation d'Aliments d'Origine Animale (AOAs) par les ménages agro-pasteurs au Niger	628-638
<i><u>Abdoul Mouhaimini Chaibou Atta, Abdou Haladou, Oumarou Haladou Issoufou, Armando Sosthène Kali Balogoun, Clarisse Umutoni, Akourki Adamou, and Mahamadou Elhadji Gounga</u></i>	
Relation longueur-poids et facteur de condition de <i>Hepsetus odoe</i> (Bloch, 1794) de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire)	639-648
<i><u>KOUAKOU Fokouo Kessia Irène, KOUATO Fulgence, N'GUESSAN Yao, and N'DA Konan</u></i>	
Checklist, occurrence and associated risk factors of parasitic infections of potential farming fish species from the lower course of River Nkam, Cameroon	649-660
<i><u>Nack Jacques, ESSOME BANG Gabel, FONKWA Georges, AWAH-NDUKUM Julius, Minette Tomedi Eyango, and JOSEPH TCHOUMBOUE</u></i>	
Agro-morphological Evaluation and Genetic Variability Analysis of 11 Sesame Lines Under Sudano-Sahelian Conditions	661-669
<i><u>Sidibé Hamadou, Konaté Moussa N'Golo, Konaté Moumouni, Ouédraogo Daouda, Akounda Badjibassa, and Sawadogo Mahamadou</u></i>	
Schistosomose intestinale et grossesse: Un cas de rectorragies associées à <i>Schistosoma mansoni</i>	670-672
<i><u>Baganda Ntahuma Daniel, A. Nkonzi Karazo Pacifique, Vema Mihigo Destiné, Kesheni Bisimwa Alfred, and B. Kavira Malengera Céline</u></i>	
Connected Learning Environment: The IoT-Driven Digital Future	673-677
<i><u>Shalini Vermani</u></i>	
Synthèse verte des Nanoparticules d'argent, leurs caractérisations et leurs applications: Une revue de synthèse	678-698
<i><u>Aminath Fidèle Yacoubou, Chakirath Folakè Arikè Salifou, Dougnon Victorien, Baba-Moussa Lamine Saïd, and Issaka Youssao Abdou Karim</u></i>	
Élaboration et caractérisation thermo-physique de nouveaux matériaux locaux composites, isolants thermiques et biosourcés	699-711
<i><u>Adam Sayouidi Bouzou, Idrissa Gaye, Mouhamadou Thiam, Ndéye Thiam, Issa Diagne, and Mamadou Wade</u></i>	
Détermination de quelques conditions optimales de la fertilisation de palmier à huile à base de cendre issue de vidange de chaudière d'huilerie	712-721
<i><u>Kouassi Quevin Yao, Bini Yao Christophe Adou, Kone Dramane, and Kouakou Hilaire Tonoh</u></i>	
GESTION DU PERSONNEL ET SON IMPACT SUR LE RENDEMENT DE SERVICE DANS UNE ENTREPRISE PUBLIC SANITAIRE: CAS DE L'HOPITAL GENERAL DE REFERENCE DE TSHOFA	722-727
<i><u>Godefroid Kalonda Kabemba, Alexandre Munkindji Kabemba, Leonard Ngoyi Yambayamba, Musongiela Kamanda, Honoré Kembe Ngama, Patrick Katambue Nkongolo, Georges Kasemuana, and Kalonda Ngiele Muikula</u></i>	

Caractérisation de la consommation d'Aliments d'Origine Animale (AOAs) par les ménages agro-pasteurs au Niger

[Characterization of animal-based food consumption (AOAs) by agro-pastoralist households in Niger]

Abdoul Mouhaimini Chaibou Atta¹, Abdou Haladou², Oumarou Haladou Issoufou², Armando Sosthène Kali Balogoun³, Clarisse Umutoni⁴, Adamou Akourki⁵, and Mahamadou Elhadji Gounga⁶

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

⁴Institut international de recherche sur les cultures des zones tropicales semi-arides (ICRISAT), Afrique occidentale et centrale (ICRISAT-WCA), Niamey, Niger

⁵Département des Sciences et Techniques d'Élevage, Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement, Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, Niger

⁶Département des Sciences et Techniques des 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: In Niger, livestock farming is a promising sector for the economy of rural households. The livestock value chain has a positive impact on household nutrition. This study aims to characterize the consumption of animal-based foods by agro-pastoral households. Data are collected through a questionnaire survey of 200 randomly sampled heads of households. Data are analyzed using Statistical Package for Social Sciences (SPSS) version 25 software. The results show that animal-based foods are consumed by the majority (64.54%) of households surveyed, with dominance in the Maradi region (51.73%) compared to Tillabéri (12.91%) region. These diversified foods are regularly consumed by households. The most consumed foods are meat (83%), fish (81%), and goat's milk (38%). Households turn to animal-based foods for nutrition's reasons, eating habits and taste. Children aged 6 to 24 months consume more eggs (43%), fish (42%), red meat (27%), and cow's milk (19%). Lack of financial means, low production and ignorance of the virtues of animal products are the main constraints on household consumption of animal-based foods. These results suggest that promoting the consumption of animal-based foods could improve household nutrition and well-being, especially in rural areas.

KEYWORDS: food, nutrition, food, consumption, Niger.

RESUME: Au Niger, l'élevage est l'un des secteurs d'avenir de l'économie des ménages ruraux. La chaîne de valeur bétail a un impact positif sur la nutrition des ménages. L'objectif de la présente étude est de caractériser la consommation d'aliments d'origine animale consommés par les ménages agro-pasteurs. Les données sont collectées à travers une enquête par questionnaire auprès de 200 chefs de ménages échantillonnés de manière aléatoire. Les données sont analysées à l'aide du

logiciel Statistical Package for Social Sciences (SPSS) version 25. Les résultats montrent que les Aliments d'Origine Animale sont consommés par la majorité (64,54%) des ménages enquêtés avec une dominance dans la région de Maradi (51,73%) comparé à Tillabéri (12,91%). Ces aliments diversifiés sont régulièrement consommés par les ménages. Les aliments les plus consommés concernent la viande (83%), le poisson (81%) et le lait de chèvre (38%). Les ménages font recours aux aliments d'origine animale pour des raisons nutritives, d'habitudes alimentaires et de goût. Les enfants de 6 à 24 mois consomment plus les œufs (43%), le poisson (42%), la viande rouge (27%) et le lait de vache (19%). L'insuffisance de moyen financier, la faible production et la méconnaissance des vertus constituent les principales contraintes des ménages dans la consommation d'aliments d'origine animale. A travers ces résultats, la promotion de la consommation des aliments d'origine animale pourrait améliorer la nutrition et le bien-être des ménages surtout en zone rurale.

MOTS-CLEFS: agroalimentaire, nutrition, alimentation, consommation, Niger.

1 INTRODUCTION

Le Niger, un pays sahélien de l'Afrique de l'Ouest a une superficie de 1 266 491 km² et une population de 23 488 872 habitants en 2021 avec un taux d'accroissance annuel de 3,9% [1]. La consommation de produits animaux et de fruits et légumes, aliments riches en micronutriments, reste faible. La consommation de lait traditionnelle dans la population agro-pastorale, diminue en raison de la forte réduction du cheptel liée aux sécheresses et à la dégradation des termes de l'échange bétail contre céréales [2] et [3].

Les habitudes alimentaires déséquilibrées des nigériens entraînent de multiples troubles nutritionnels (carence, malnutrition, etc.) avec pour conséquence une augmentation de leur vulnérabilité aux maladies non transmissibles liées à l'alimentation et une mauvaise croissance. Ce déséquilibre alimentaire constitue aussi une des causes principales de la mortalité chez les enfants de moins de cinq ans et les femmes enceintes et allaitantes au Niger (malnutrition, anémie etc.) [1].

En effet, en 2022, la situation nutritionnelle reste toujours préoccupante au niveau national qu'au niveau régional. D'après Institut National de la Statistique, la prévalence de la Malnutrition Aigüe Globale (MAG) (12,2%), de retard de croissance (47,0%) et de l'insuffisance pondérale (33,7%) dépassent les seuils selon la classification de l'OMS respectivement de 10%, 30% et 45%. Les régions de Maradi et Tillabéri dépassent également le seuil pour toutes les formes de la malnutrition excepté la malnutrition chronique pour la région de Tillabéri. La prévalence de l'anémie au niveau national chez les enfants de 6 à 59 mois est estimée à 55,5% (> 40% seuil critique de l'OMS) [4].

En outre, selon la FAO, la consommation étant une solution envisageable pour améliorer la nutrition des agro-pasteurs, il est prévu que la demande en bétail et en Aliments d'origine animale (AOAs) augmente considérablement d'ici 2050 en raison de l'augmentation de la population humaine et des changements alimentaires induits par les changements démographiques d'une société en voie d'urbanisation [5].

Les secteurs du lait et de la viande jouent un rôle essentiel dans l'économie agricole du Niger.

En 2020, la demande de lait était de 1 983 556 tonnes de lait. Cette demande devrait passer à 2 438 259 tonnes en 2035 [6]. En ce qui concerne le secteur de la viande, selon les enquêtes de consommation de la FAO, la consommation annuelle de viande par habitant des nigériens était de 6 kg, soit près de 115 000 MT par an en moyenne de 2011 à 2015. Or, la FAO recommande une consommation de viande de 12 kg/pers/an par capital, ce qui montre une marge de manœuvre pour augmenter la consommation de viande [7]. La consommation de viande urbaine est supérieure à celle de milieu rural, ce qui laisse présager des chiffres de consommation à la hausse compte tenu de l'urbanisation croissante du Niger [7].

Les aliments d'origine animal peuvent contribuer à améliorer la nutrition des ménages car ils contiennent des vitamines importantes, comme la vitamine B12 et la forme rétinol de la vitamine A, qui sont peu présentes dans les aliments d'origine végétale. Il existe une demande croissante de lait et de produits laitiers en raison de la croissance rapide de la population urbaine et de la sensibilisation continue à l'amélioration de la nutrition humaine. Les données montrent l'écart entre la demande et l'offre de lait [7].

Ainsi, les AOAs sont considérés comme essentiels pour résoudre le problème de la faim, de la malnutrition et de la santé, en particulier pour les enfants malnutris [6], [7] et [8]. Par exemple, la consommation de lait entraîne une amélioration de la croissance des enfants et une réduction des retards de croissance [7] et [9]. Le développement cognitif des enfants est stimulé lorsque ceux-ci consomment les AOAs [10].

Il est connu que les systèmes agropastoraux sont la principale source d'emploi, de nourriture et de revenus montré par FEWSNET et pourrait également contribuer à améliorer la nutrition des enfants de moins de cinq ans [11]. Cependant, peu d'attention a été accordée aux analyses de la consommation d'AOAs sur la nutrition et au développement des stratégies et des politiques intégrantes et inclusives pour atteindre le potentiel des systèmes agro-pastoraux au Niger. La présente étude porte sur la caractérisation de la consommation d'AOAs de ménages agro-pasteurs en vue d'améliorer la nutrition des agro-pasteurs au Niger.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 SITES D'ÉTUDE

L'étude a été réalisée au Niger, dans les régions de Maradi et Tillabéri, situées respectivement dans le centre-sud et l'ouest du pays. Au total cinq (5) départements et dix (10) villages étaient concernés (figure 1). Le choix de la zone d'étude se justifie par la présence des caractéristiques agro écologique et pastorales favorables et une situation alimentaire et nutritionnelle précaire des enfants de moins de cinq ans. C'est également la zone d'intervention du projet « Renforcer la productivité et la résilience des systèmes agropastoraux, ainsi que la sécurité des revenus, de l'alimentation et de la nutrition par des innovations orientées vers le marché au Niger » mis en œuvre par l'ICRISAT et le Laboratoire d'Innovation des Systèmes d'élevage (LSIL).

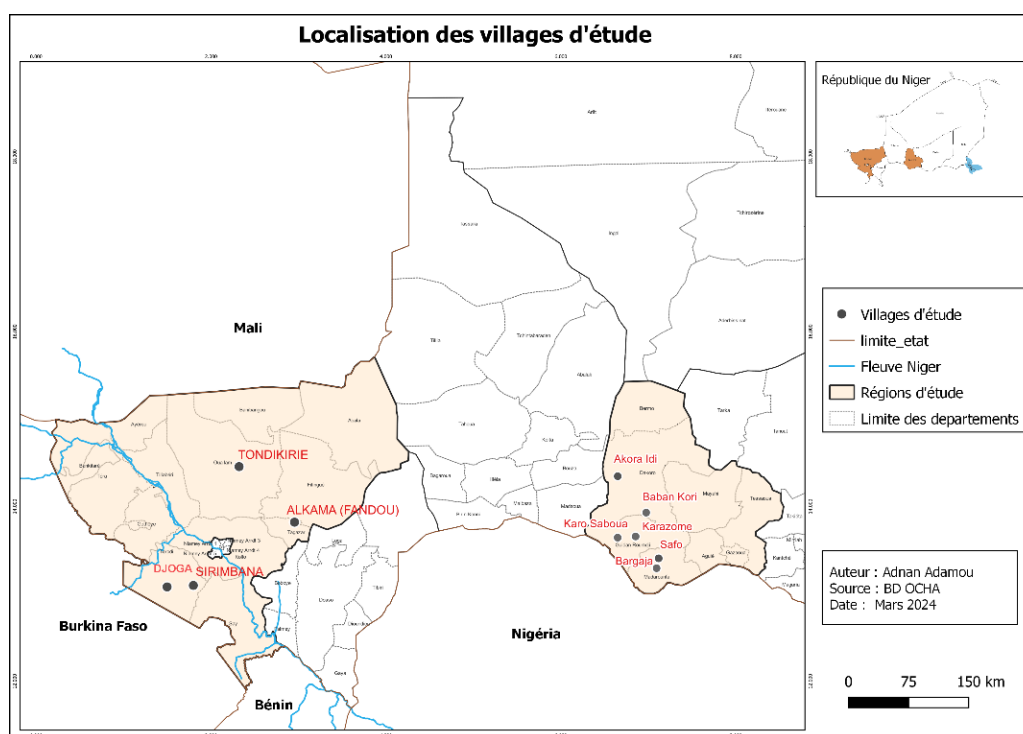


Fig. 1. Zone d'étude

Les villages d'étude concernés pour la région de Maradi sont composés de Bargaja et Safo (département de Madarounfa), Karazome et Karo Safoua (département de Guidan Roudmji) et Babon Kori et Akora Idi (département de Dakoro). Pour la région de Tillabéri, il s'agit de Sirimbana et Djoga (département de Torodi) et Alkama Souley et Tabla Tondikire (département de Ballayara).

Torodi se situe dans la zone sahélo-soudanienne avec 32% du cheptel de petits ruminants de la région de Tillabéri (20% d'ovins et 12% de caprins). Les petits ruminants représentent 54% du cheptel total [12]. Le département de Ballayara se situe à l'ouest de la capitale et est aussi une zone de pratique d'élevage de petits ruminants par excellence.

La zone agro-pastorale typique, la région de Maradi se situe dans la partie sud du centre au Niger. Elle appartient à la zone agro écologique sahélienne et totalise plus de 60% de ménages pratiquant l'élevage de petits ruminants [13].

Les systèmes agricoles dominants dans les deux sites sont des systèmes mixtes de culture et d'élevage car presque tous les ménages possèdent des petits ruminants [14].

2.2 MATÉRIEL

L'enquête a été réalisée de septembre à octobre 2023 dans les deux régions. Un questionnaire ménage destiné au chef de ménage a été élaboré. Il comporte des informations sur les caractéristiques socio-économiques de ménage, la consommation d'AOAs, le rappel hebdomadaire de la consommation d'AOAs, les catégories de personne qui consomment plus les AOA, la connaissance de l'importance de la consommation d'AOAs, la préférence d'AOAs et les contraintes liées à la consommation d'AOAs par les ménages agro-pasteurs.

2.3 ECHANTILLONNAGE, COLLECTE ET ANALYSE DE DONNEES

2.3.1 ECHANTILLONNAGE ET COLLECTE DE DONNÉES

L'échantillon est composé de 200 ménages choisis de manière aléatoire simple dans les 10 villages d'étude (tableau 1). Les entretiens individuels ont permis de collecter les données dans les villages d'étude via la plateforme kobo collect.

Tableau 1. Répartition des échantillons ménages

Région	Villages	Echantillon ménage
Maradi	Safo	45
	Bargaja	18
	Babon Kori I & II	18
	Akora Idi	20
	Karazome I&II	16
	Karo Safoua	12
Sous total région de Maradi		129
Tillabéri	Djoga	26
	Sirimbana	10
	Alkama Souley Hamsi	15
	Tabla Tondikire	20
Sous total région de Tillabéri		71
TOTAL		200

2.3.2 ANALYSE DE DONNÉES

Les analyses descriptives notamment le calcul de fréquence et les proportions ont été faites à l'aide de logiciel SPSS version 25. Le logiciel Excel a servi pour la conception des tableaux et figures. Les zones d'étude ont été cartographiées à l'aide de QGIS (Système d'Information Géographique) desktop, version 3.16.

3 RÉSULTATS

3.1 CARACTERISTIQUES SOCIO-ÉCONOMIQUES DE MENAGES AGRO-PASTEURS

Sur l'ensemble de ménages enquêtés, 79% de ménages étaient dirigés par les hommes. L'âge de chef de ménage était compris entre 23 ans et 56 ans avec une prédominance de plus de 51 ans dans les deux régions. La taille de ménages était plus grande voir plus au-moins doublée dans la région de Maradi par rapport qu'à Tillabéri suivant les intervalles de taille des ménages suivants] 4; 7],] 7; 8] et] 8; +∞ [.

L'étude a trouvé seulement 17% des chefs de ménages avaient un niveau d'éducation primaire dans les deux régions. La majorité des chefs de ménages avait fréquenté l'école coranique soit 50% et 56% respectivement à Tillabéri et à Maradi.

76,06% de ménages agro-pasteurs enquêtés dans la région de Tillabéri étaient pauvres contre 18,60% dans la région de Maradi selon l'auto-évaluation économique de ménages. Seulement 3% et 1% de ménages respectivement à Maradi et à Tillabéri étaient classés « riches ». Globalement, seulement 3% de ménages agro-pasteurs étaient classés de ménages « riches » contre 39% de ménages « pauvres » dans la zone d'étude.

Pour la possession d'animaux pour l'intervalle de [1; 5] têtes, les ménages agro-pasteurs de la zone d'étude possèdent plus les caprins (48,15%), les bovins (26,00%), les ovins (38,64%) et les volailles (29,98%). Tous ces résultats sont consignés dans le tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2. Caractéristiques socio-économiques de ménages agro-pasteurs au Niger

Variables socio-économiques de ménages		Maradi (%)	Tillabéri (%)	Ensemble (%)
Sexe	Masculin	81,40	74,65	79,00
	Féminin	18,60	25,35	21,00
Age	[1;30]	4,00	4,00	4,00
	[31;40]	18,00	21,00	19,00
	[41;50]	32,00	25,00	29,00
	[50; +∞]	46,00	49,00	48,00
Niveau d'instruction	Aucun	6,98	23,94	15,46
	Primaire	17,83	16,90	17,37
	Secondaire	6,98	4,23	5,61
	Supérieur	2,33	0,00	1,17
	Coranique	56,59	50,70	53,65
	Alphabétisation	9,30	4,23	6,77
Taille de ménage	[1;4]	3,88	5,63	4,76
	]4;7]	7,75	23,94	15,85
	]7;8]	10,85	11,27	11,06
	]8;+∞]	77,52	59,15	68,34
Statut économique de ménage	Pauvre	18,60	76,06	47,33
	Moyen	77,52	22,53	50,02
	Riche	3,88	1,41	2,65
Possession d'animaux				
Caprin	[1;5]	59,69	36,62	48,15
	[6;10]	14,73	9,86	12,29
	[11; +∞[	3,88	2,82	3,35
Ovin	[1;5]	36,43	40,85	38,64
	[6;10]	6,20	2,82	4,51
	[11; +∞[	1,55	2,82	2,18
Bovin	[1;5]	29,46	22,54	26,00
	[6;10]	0,00	8,45	4,23
	[11; +∞[	0,00	2,82	1,41
Volaille	[1;5]	31,78	28,17	29,98
	[6;10]	23,26	19,72	21,49
	[11; +∞[	12,40	19,72	16,06

3.2 CARACTERISTIQUES DE LA CONSOMMATION D'ALIMENTS D'ORIGINE ANIMALE CHEZ LES AGRO-PASTEURS AU NIGER

3.2.1 ALIMENTS D'ORIGINE ANIMALE CONSOMMÉS PAR LES MÉNAGES

La consommation d'aliments d'origine animale diffère d'une région à l'autre et dépend aussi du type d'aliments. L'étude a relevé globalement que 64,54% de ménages consommaient les AOAs soit 51,73% et 12,9% respectivement pour la région de Maradi et Tillabéri. Les aliments les plus consommés enregistrés sont: la viande (96,5%), le lait de vache (99,50%), le petit poisson (79%), le lait de chèvre (74%), le grand poisson (71,50%), le yaourt et le kilichi (64%) et œuf (52%) (figure 2). Noter que ce résultat est obtenu à partir de la question de savoir « si est-ce que le ménage consommait traditionnellement et culturellement l'aliment d'origine animal ? » sans tenir compte de la période de la dernière consommation. Il s'agit de la consommation régulière d'au moins un de type d'AOAs sur la déclaration de chef de ménage pour la consommation globale.

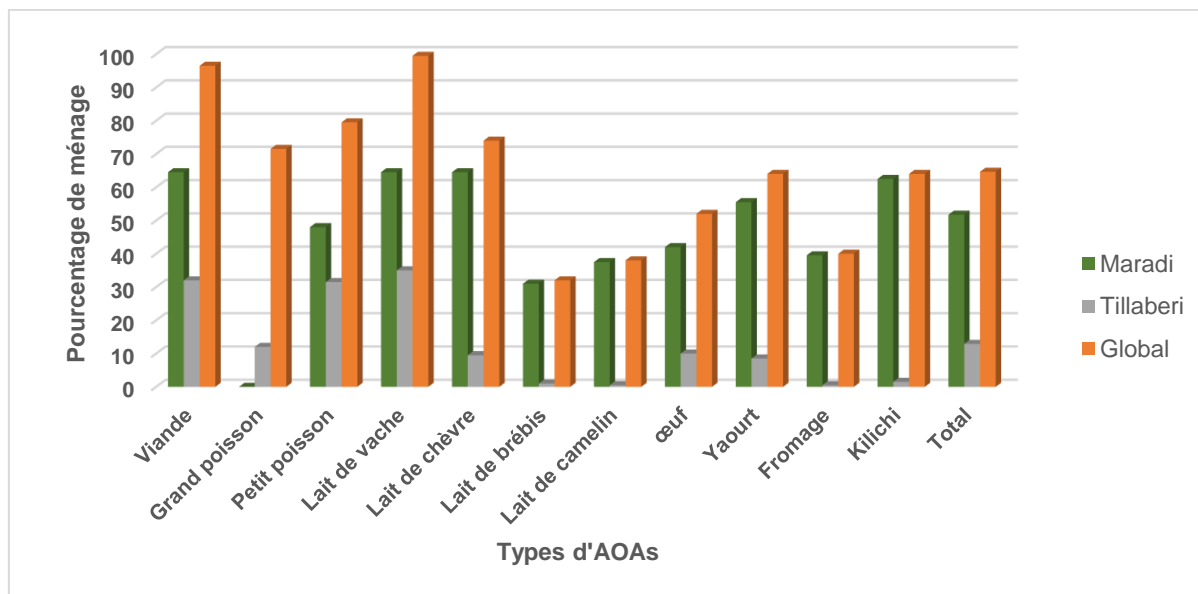


Fig. 2. Consommation d'AOAs par les ménages agro-pasteurs enquêtés

3.2.2 FREQUENCE DE LA CONSOMMATION D'AOAS PAR LES MENAGES

Selon le rappel hebdomadaire, le résultat présente de disparité entre les types d'aliment. La viande (83%), le grand poisson (81%) et le petit poisson (77%) étaient les AOAs le plus consommés par la majorité de ménages agro-pasteurs au cours de la semaine précédant l'enquête (figure 3).

Cependant, 30% de ménages avaient consommé le lait de vache 3 à 4 jours par semaine. Le lait de chèvre quant à lui, était consommé 3 et 4 jours par semaine respectivement par 38% et 16% de ménages. En effet, la consommation régulière (7 jours par semaine) était relevée dans 40% de ménages pour le lait de vache contre seulement 29% pour le lait de chèvre.

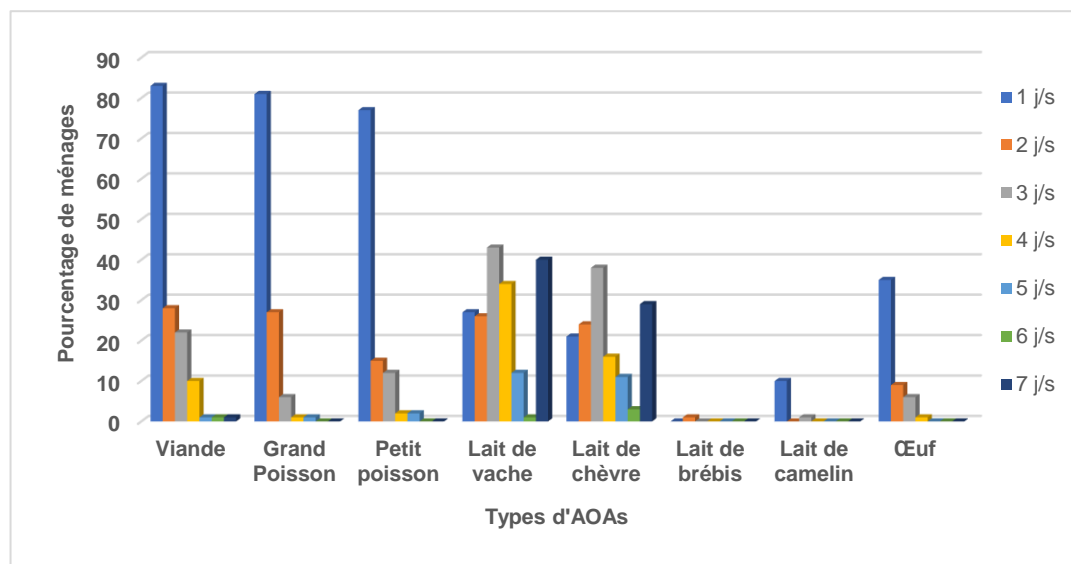


Fig. 3. Fréquence hebdomadaire de la consommation d'AOAs par les ménages

j/s: jour/semaine

3.2.3 TENDANCE DE LA CONSOMMATION D'AOAS CHEZ LES AGRO-PASTEURS

La consommation d'aliments d'origine animale par les membres de ménage agro-pasteurs au Niger est caractérisée par les pratiques et les habitudes alimentaires traditionnelle et culturelles. La consommation de ménages agro-pasteurs par catégorie de personne est fonction aussi de l'aliment. En effet, les enfants âgés de 0 à 24 mois consommaient plus les aliments d'origine animale tels que la viande (27%), grand poisson (42%), petit poisson (36,5%), lait de vache (19%) et œufs (43%) par rapport à leurs aînés de plus de 24 mois à l'exception de lait de chèvre (27%). Une autre catégorie de personne qui consommait plus les AOAs parmi les membres de la famille était « les chefs de ménages » pour les aliments tels que la viande (36%) et de lait de chèvre (18,5%).

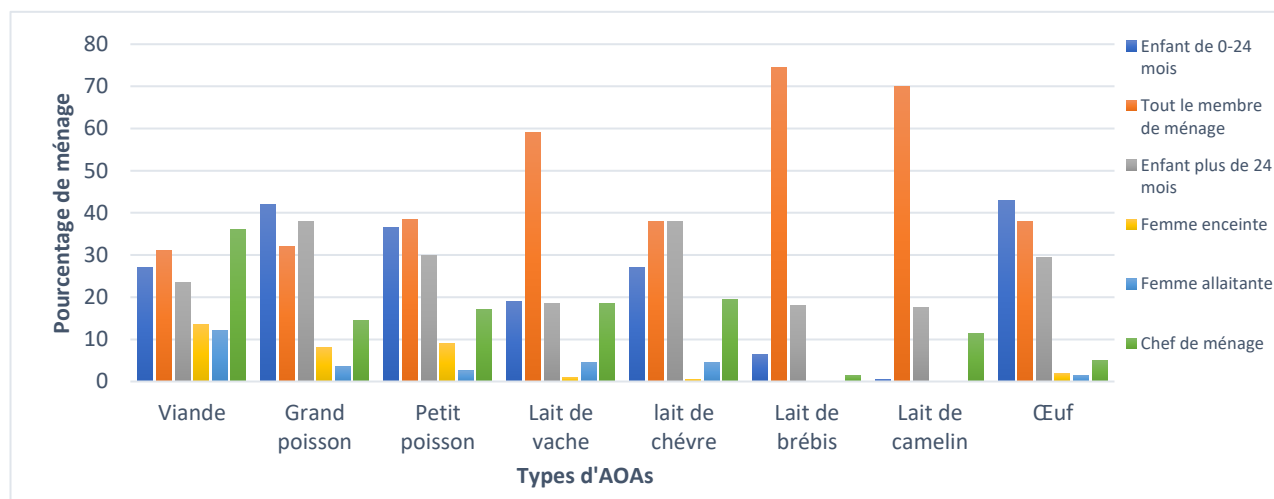


Fig. 4. Tendance de la consommation d'AOAs par les ménages agro-pasteurs

3.2.4 CONNAISSANCE DE L'IMPORTANCE DE LA CONSOMMATION D'AOAS PAR LES AGRO-PASTEURS

Il ressort de cette étude que 59,50% et 23,50 % de ménages avaient répondu qu'ils connaissaient l'importance de la consommation d'AOAs respectivement dans les régions de Maradi et de Tillabéri. Par contre 17% de l'ensemble de ménages avaient répondu qu'ils ne connaissaient pas l'importance de la consommation d'AOAs.

3.2.5 PREFERENCE D'ALIMENTS D'ORIGINE ANIMALE POUR LA CONSOMMATION PAR LES AGRO-PASTEURS

La préférence d'un aliment détermine l'attitude de sa consommation. Au cours de cette étude, la préférence dans la consommation d'aliments d'origine animale a été demandée afin d'améliorer et de faciliter les prochaines interventions. Il ressort des analyses que les trois premiers aliments d'origine animal préférés par la majorité des agro-pasteurs dans la zone d'étude étaient la viande (86,5%), le lait de vache (82,5%) et le lait de chèvre (64%). De manière spécifique, à Maradi, le lait de la chèvre (91,47%) était ressorti parmi les trois premiers aliments préférés par les agro-pasteurs suivi de la viande (89,15%) et du lait de vache (72,87%) tant dis qu'à Tillabéri, le lait de vache (100%) était le premier aliment préféré suivi de la viande (81,69%) et de petits poissons (69,01%).

3.3 CONTRAINTES LIEES À LA CONSOMMATION D'AOAS CHEZ LES AGRO-PASTEURS

Les contraintes liées à la consommation d'AOAs sont de plusieurs ordres et dépendent d'un aliment à un autre. L'insuffisance de moyen, les habitudes alimentaires, la faible production, la disponibilité et le prix élevé étaient les principales contraintes de la consommation d'AOAs dans la zone d'étude. En effet, plus de 90%, 72% et 64,4 % de répondants avaient relaté que l'insuffisance de moyen était la principale contrainte pour la consommation de la viande, du grand poisson et du petit poisson, respectivement. Pour la consommation du lait, 43% des répondants avaient relaté que la contrainte pour la consommation de lait de vache était la faible production. Quant à la consommation du lait de chèvre, les contraintes étaient liées à l'insuffisance de moyen, à la faible production du lait, à la méconnaissance de l'importance nutritionnelle de lait de chèvre et le fait que le lait de chèvre n'est pas dans les habitudes alimentaires des certains agro-pasteurs.

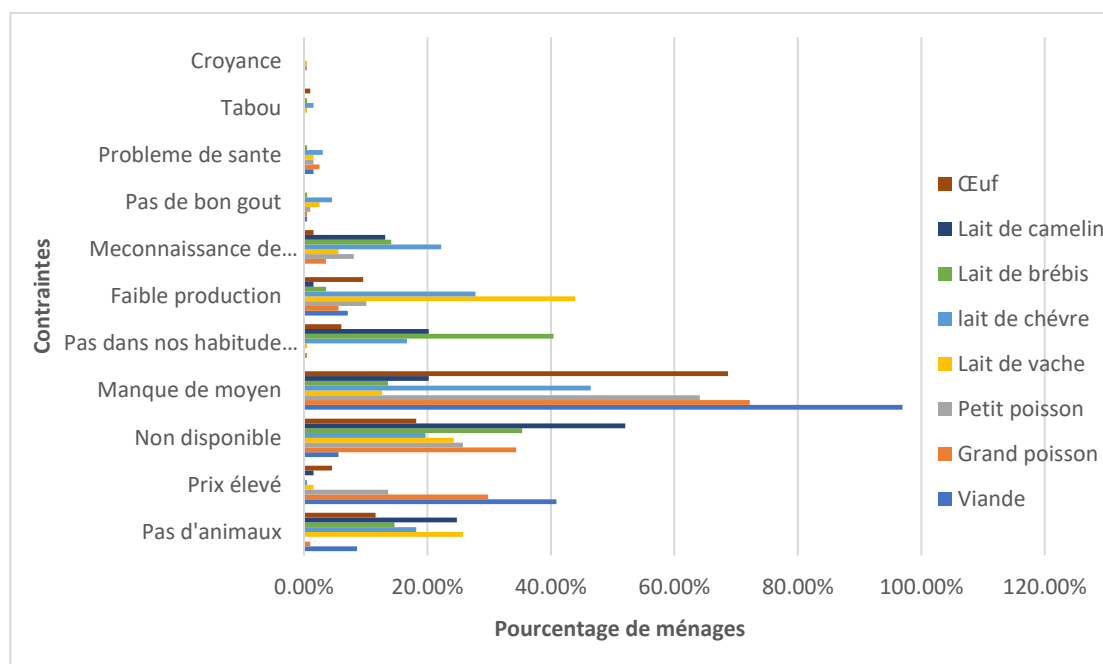


Fig. 5. Contraintes liées à la consommation d'AOAs par les ménages agro-pasteurs

4 DISCUSSION

Dans la tradition nigérienne, la viande de petits ruminants est la viande la plus consommée par la population. Mais son élevage s'attache à des multiples difficultés. Malgré les multiples difficultés que rencontre l'élevage dans les zones d'étude, plus de 30% de ménages agro-pasteurs enquêtés possédaient des animaux tels que les caprins, les ovins, les bovins et les volailles pour chaque région d'étude. Les difficultés sont le phénomène de changement climatique, le manque de fourrage et le prix élevé d'aliment bétail, la charité de certaines races, etc. La consommation d'AOAs est caractérisée par plus de 60% de ménages consommaient de manière régulière au-moins un aliment d'origine animale. Les aliments tels que la viande, le lait de vache, le poisson, le yaourt et le kilichi sont les AOAs les plus consommés. Ces aliments sont riches en protéine, en calcium, en fer, en magnésium, en vitamine, etc. Selon les chefs de ménages, la disponibilité d'AOAs, l'accessibilité de ménages aux aliments, le revenu mensuel de ménages sont les facteurs qui favorisent la consommation. Autres facteurs importants qui pourraient également expliquer la consommation d'AOAs sont le comportement alimentaire de ménages, les habitudes alimentaires et la connaissance de l'importance de la consommation d'AOAs. Plusieurs études épidémiologiques ont indiqué que la faible fréquence de la consommation d'aliments d'origine animale contribue à la sous-nutrition maternelle et aux carences en micronutriments dans les pays à ressources limitées [15] et [16].

La consommation d'AOAs selon le rappel hebdomadaire présente de disparité selon les types d'aliment. La viande, le grand poisson et le petit poisson étaient consommés par la majorité de ménages agro-pasteurs au cours de la semaine précédant l'enquête. La consommation de ces AOAs se justifie par la tradition de la population paysanne nigérienne où les chefs de ménages achetaient généralement le jour du marché les aliments comme la viande, le poisson, les œufs, etc... pour la consommation familiale.

En effet, le lait et le produit laitiers était le plus consommé par plus de 30% de ménages soit 3 à 4 jours durant la semaine et 40% de ménages avaient déclaré consommer le lait de vache tous les jours de la semaine contre 29% de ménages pour le lait de chèvre.

Le résultat montre que le lait de chèvre est moins consommé que le lait de vache. D'où le faible niveau d'acceptation et d'utilisation de lait de chèvre chez les agro-pasteurs. Le lait de vache est généralement utilisé dans l'alimentation (la boule, la pâte) à cause de son accessibilité et de sa disponibilité dans les ménages. L'accessibilité financière et la disponibilité limitent la consommation d'autres AOAs dans la zone d'étude. Nos résultats sont nettement supérieurs à ceux obtenus en Ethiopie par Alemneh K pour la consommation de lait et de produits laitiers (21%) une fois par jour et par mois et 26% une à deux fois par semaine et le yaourt et le fromage étaient consommés une à deux fois par mois par 15% de ménages; la viande est consommée

une à deux fois par mois par 26% de ménages et le produit de pêche par 3% [17]. D'autre part, les aliments d'origine animale sont consommés une à deux fois au plus par semaine [18], [19], [20] et [21].

Cependant, noter que les AOAs pour la plupart et en générale chez les agro-pasteurs sont consommés souvent dans différentes combinaisons avec les céréales, les tubercules, les légumineuses, les légumes vert et des huiles sous forme d'assaisonnement.

La tendance de la consommation d'AOAs dépend de l'aliment et des catégories de personnes. Les enfants de 6 à 24 mois et les chefs de ménages étaient les catégories de personnes qui consommaient plus les AOAs tels que la viande, le poisson, le lait de vache et les œufs. Cela montre l'importance qu'accorde les parents pour la consommation d'AOAs par leurs enfants de 6 à 24 mois. Ces enfants, les femmes enceintes et allaitantes ont un besoin nutritionnel très élevé par rapport aux autres membres de la famille.

Les AOAs apportent les nutriments essentiels pour la croissance et le développement de l'enfant et améliorent la santé. Le régime alimentaire des femmes enceintes et allaitantes doit fournir des nutriments adéquats pour la mère, le fœtus et une bonne lactation.

La connaissance de l'importance de la consommation d'AOAs par les agro-pasteurs et les aliments préférés parmi les AOAs était l'un de point le plus important de l'étude. Elle permet de développer et orienter les stratégies de communication pour un changement de comportement et social pour la nutrition. Il ressort que 59,50% (Maradi) et 23,50% (Tillabéri) de chefs des ménages avaient répondu qu'à travers les sensibilisations communautaires et les panneaux d'affichages ont compris l'importance d'AOAs. A Tillabéri, les activités de sensibilisation au niveau communautaire sont comprises par l'insécurité. Il est important d'accélérer la communication pour le changement de comportement et social. Malgré les efforts consentis par l'état et les ONGs, ce résultat est en baisse par rapport à celui obtenu par Alemneh où près de 100% des participants étaient d'accord avec les affirmations sur la connaissance de l'important d'AOAs par le répondant [17].

Les analyses montrent que les trois premiers AOAs préférés par la majorité des agro-pasteurs dans la zone d'étude étaient la viande, le lait de vache et le lait de chèvre. A Maradi, malgré que le lait de chèvre fût consommé par peu des agro-pasteurs (38%), il était l'aliment premier préféré contrairement aux agro-pasteurs de la région de Tillabéri. Cela montre que le lait de chèvre est un aliment apprécié par les agro-pasteurs de la région de Maradi à cause soit de son goût et/ou de son prix.

Enfin, l'insuffisance de moyen, les habitudes alimentaires, la faible production, la disponibilité et le prix élevé constituent les contraintes liées à la consommation d'AOAs. Certains aliments comme la viande et le poisson ont pour leurs contraintes principale l'insuffisance de moyen et le prix élevé par contre la faible production et la disponibilité constituent les contraintes liées à la consommation de lait. Toutes les contraintes sont les résultantes de la pauvreté, de l'insécurité et de la méconnaissance. Certains facteurs peuvent s'améliorer à travers les actions de communication pour le changement de comportement et social. Ces résultats confirment ceux de Metzger R. et Koussou que le prix très élevé et certains facteurs socioculturels constituent des obstacles pour la consommation d'AOAs [22] et [23].

5 CONCLUSION

La consommation d'aliments d'origine animale constitue aujourd'hui un point de levier pour améliorer la nutrition de ménages agro-pasteurs au Niger.

La viande, le lait de vache et le poisson sont les AOAs les plus consommés par les agro-pasteurs selon le rappel hebdomadaire par plus de 1/3 de ménages enquêtés. La tendance de la consommation d'AOAs tels que la viande, le poisson, le lait de vache et les œufs était plus relevée chez les enfants de 6 à 24 mois et les chefs de ménages; la viande, le lait de vache et le lait de chèvre étaient les AOAs les plus préférés par les agro-pasteurs. Cependant, les principales contraintes liées à la consommation d'AOAs chez les agro-pasteurs relevées sont l'insuffisance de moyen, le prix élevé d'AOAs, la disponibilité, les habitudes alimentaires et la faible production dans la zone d'étude. En outre, les actions et interventions de Communication pour un Changement de Comportement et Social (CCCS), la vulgarisation de techniques innovantes d'élevage et la transformation de produits d'élevages pourraient améliorer la disponibilité et la consommation d'AOAs chez les agro-pasteurs au Niger.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont à l'endroit de l'Institut international de Recherche sur les Cultures des Zones Tropicales Semi-Arides (ICRISAT), le Laboratoire d'Innovation des Systèmes d'Élevage (LSIL) et le Feed the future pour le financement de l'étude.

REFERENCES

- [1] Institut National de la Statistique, INS, Enquête de l'évaluation nationale de la situation nutritionnelle par la méthodologie smart au Niger, rapport final, Niamey, Niger, pp 11, 2021.
- [2] Comité Permanent Inter-états de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel, CILSS, Normes de consommation des principaux produits alimentaires dans les pays du CILSS, rapport, pp. 67, 2004.
- [3] Harouna I., Bilyamini E, Étude de la dynamique des consommations alimentaires au Niger et des impacts de la hausse des prix des denrées alimentaires. Rapport, INS, Niamey, Niger, pp. 76, 2011.
- [4] Institut National de la Statistique, INS, Enquête de l'évaluation nationale de la situation nutritionnelle par la méthodologie smart au Niger, rapport final, Niamey, Niger, pp. 30-68, 2022.
- [5] Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, FAO, L'élevage durable en Afrique en 2050. Réunion technique et lancement régional, Addis-Abeba, Éthiopie, 21-23 février 2017. Rapport de la FAO sur la production et la santé animales. No 12. Rome, Italie, 2017.
- [6] FAO, Plateforme laitière mondiale, GDP., et Réseau de recherche laitière de l'IFCN, L'impact du secteur laitier sur la réduction de la faim dans le monde. Chicago, États-Unis, 2020.
- [7] Lagrange, V, Documenter les avantages des protéines laitières pour la santé des personnes vulnérables et des populations à risque. *Aust. J. Dairy Technol.* 64: pp. 155-156, 2009.
- [8] Grace, D., P. Dominguez-Salas, S. Alonso, M. Lannerstad, E. Muunda, N. Ngwili, A. Omar, M. Khan, et E. Otobo, L'influence des aliments dérivés du bétail sur la nutrition pendant les 1 000 premiers jours de la vie. Rapport de recherche. ILRI (Institut international de recherche sur l'élevage). Nairobi, Kenya, pp. 2018.
- [9] Allen, L., Modes d'alimentation mondiaux et régimes alimentaires dans l'enfance: implications pour les résultats en matière de santé. *Ann. Nutr. Metab.* 61: pp. 29-37, 2012.
- [10] Hulett, J.L., R.E. Weiss, N.O. Bwibo, O.M. Galal, N. Drorbaugh et C.G. Neumann, Les aliments de source animale ont un impact positif sur les résultats aux tests de l'école primaire des écoliers kényans dans un essai d'intervention alimentaire contrôlé et randomisé par grappes. *Br. J. Nutr.*, no. 111: 875-886, 2014. <https://doi.org/10.1017/S0007114513003310>.
- [11] Famine Early Warning System Network, FEWSNET, Dossier sur la sécurité alimentaire au Niger. Perspectives sur la sécurité alimentaire: Les déficits de productions en zone pastorale et la crise sécuritaire à Diffa conduisent à une insécurité alimentaire. Niamey/Niger, pp. 9, 2017.
- [12] Abdou, A., B. Abdoulaye, D. Amadou, Y. Seybou, G. Pini, et V. Tarchiani, Le Zonage Agro écologique du NIGER. Réseau National des Chambres d'Agriculture (RECA), Comité Interministériel de Pilotage de la Stratégie de Développement Rural (Secrétariat Exécutif), République du Niger., 2004. https://reca-niger.org/IMG/pdf/Le_zonage_agroecologique_du_Niger_Extraits.pdf, consulté le 05/08/2021 à 10 h 12.
- [13] Ali, L., P. Van den Bossche, et E. Thys, Enjeux et contraintes de l'élevage urbain et périurbain des petits ruminants à Maradi au Niger: quel avenir ? *Rev Elev Med Vet Pays Trop* no. 56: pp. 73-82., 2003. <https://doi.org/10.19182/remvt.9879>.
- [14] Umutoni, C., S. Kumar, et V. Bado, Comprendre la dynamique des systèmes agricoles et des chaînes de valeur agriculture-élevage pour identifier les interventions potentielles visant à améliorer les moyens de subsistance des agriculteurs au Niger et au Burkina Faso. Document de travail. ICRISAT, Niamey, Niger., 2020.
- [15] Workicho et al, «Household dietary diversity and Animal Source Food consumption in Ethiopia: evidence from the 2011 Welfare Monitoring Survey», *BMC Public Health*, no.16: 1192 DOI 10.1186/s12889-016-3861-8, pp. 3-9, 2016.
- [16] Alemneh Kabeta Data et al, «Déterminants et contraintes de la consommation d'aliments d'origine animale au niveau des ménages dans les communautés rurales d'Éthiopie», *Journal des sciences nutritionnelles*, vol. 10. E58., pp. 1-10, 2021.
- [17] Roumane et al, «Sécurité alimentaire et nutritionnelle des ménages dans la ville d'Abéché», *Asian J. Food Res. Nutri., AJFRN.95746.*, vol. 2, non. 1, pp. 22-33, 2023.
- [18] Fite MB., Tura AK., Yadeta TA., Oljira L., Roba KT, Consumption of animal source food and associated factors among pregnant women in eastern Ethiopia: A community-based study. *PLoS ONE* 17 (6): 0270250, 2022. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0270250>.
- [19] Torheim LE, Barikmo I., Parr CL., Hatloy A., Ouattara F. & Oshaug A, «Validation de la variété des aliments comme indicateurs de la qualité de l'alimentation évaluée à l'aide d'un questionnaire de fréquence alimentaire pour l'ouest du Mali», *Journal européen de nutrition clinique*. 57, 1283-1291, 2003. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601686> PMID: 14506490.
- [20] Lee SE., Talegawkar SA., Merialdi M., & Caulfield LE, «Apports alimentaires des femmes pendant la grossesse dans les pays à revenu faible ou intermédiaire», *Santé publique nutrition*, no. 16, 1340-135, 2013. <https://doi.org/10.1017/S1368980012004417> PMID: 23046556.
- [21] Abdoul Razak Issaka, Analyse de la consommation alimentaire et de l'état nutritionnel des enfants de 6 à 59 mois dans la commune urbaine de Zinder, Mémoire de fin d'étude, Niger, pp. 32-38, 2017.

- [22] Metzger R., Centres J.M., Thomas L., Lambert J.C, L'approvisionnement des villes africaines en lait et produits laitiers. Rome, Italie, FAO, (Production et santé animale, n 124), pp. 102, 1995.
- [23] M.O. Koussou, G. Duteurtre, L. Y. Mopate, Milk Consumption in the Milk Bars of the N'Djamena in Chad, *Revue Elev. Med. Vet. Pays trop*, 60 (1-4): pp. 39-44, 2007.

Relation longueur-poids et facteur de condition de *Hepsetus odoe* (Bloch, 1794) de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire)

[Length-weight relationship and condition factor of *Hepsetus odoe* (Bloch, 1794) from the Ebrié lagoon (Côte d'Ivoire)]

KOUAKOU Fokouo Kessia Irène¹, KOUATO Fulgence¹, N'GUESSAN Yao², and N'DA Konan²

¹Département de Biologie Animale, Université Peleforo GON COULIBALY, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

²Laboratoire de Biologie et Cytologie Animales, Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, 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 work was carried out with the aim of analyzing the growth parameters of *Hepsetus odoe* (Bloch, 1794) caught in the Ebrié lagoon with a view to contributing to the conservation and sustainable management of this fish. A total of 220 fish from commercial artisanal fishing were sampled from July 2022 to June 2023 in sector IV of the Ebrié lagoon. Each specimen was weighed and measured to the nearest gram and millimeter respectively. The length-weight relationship and the condition factor were calculated. The data collected were processed on Excel and Statistica 7.1 software. The size of the individuals varies from 11.2 to 36 cm and the weight oscillates between 10.2 and 196 g. The size frequency distribution is unimodal ([17; 20 [cm). In general, growth is of the positive allometry type regardless of sex and size. It appears that the species is gaining weight faster than it is growing. In males and females the mean value of the condition factor K is 0.638 ± 0.02 and 0.700 ± 0.014 respectively. These individuals are not overweight in their biotope regardless of their sex and size.

KEYWORDS: *Hepsetus odoe*, growth, overweight, Ebrié Lagoon, Côte d'Ivoire.

RESUME: Ce travail a été réalisé dans le but d'analyser les paramètres de croissance de *Hepsetus odoe* (Bloch, 1794) pêchée dans la lagune Ebrié en vue de contribuer à la conservation et à la gestion durable de ce poisson. Au total, 220 poissons issus de la pêche artisanale commerciale ont été échantillonnés de Juillet 2022 à juin 2023 au niveau du secteur IV de la lagune Ebrié. Chaque spécimen a été pesé et mesuré respectivement au gramme et au millimètre près. La relation longueur-poids et le facteur de condition ont été calculés. Les données récoltées ont été traitées sur Excel et le logiciel Statistica 7.1. La taille des individus varie de 11,2 à 36 cm et le poids oscille entre 10,2 et 196 g. La distribution des fréquences de taille est unimodale ([17; 20 [cm). En général, la croissance est de type allométrie positive quel que soit le sexe et la taille. Il apparaît que l'espèce grossit plus vite qu'elle ne grandit. Chez les mâles et les femelles la valeur moyenne du facteur de condition K est respectivement de $0,638 \pm 0,02$ et $0,700 \pm 0,014$. Ces individus ne sont pas en embonpoint dans leur biotope quel que soit leur sexe et leur taille.

MOTS-CLEFS: *Hepsetus odoe*, croissance, embonpoint, Lagune Ebrié, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

En Côte d'Ivoire, les lagunes sont des foyers d'occupation humaine en raison de leurs fortes ressources halieutiques. Elles sont l'objet de pressions liées aux méthodes modernes d'exploitation des ressources vivantes et minérales, au développement du tourisme, à l'urbanisation et à la construction de ports et de zones industrielles [1].

La lagune Ebrié est l'une des lagunes les plus exploitées du système lagunaire ivoirien. La proximité géographique de celle-ci avec des zones densément peuplées entraîne une exploitation considérable de ses ressources. La pêche artisanale y est particulièrement active [2]. La pression de la pêche et la pollution induisent d'importants changements dans les communautés de poissons [3]. En octobre 1999, une mortalité soudaine et importante des poissons a été remarquée dans la lagune Ebrié, particulièrement dans les départements de Jacqueville et Dabou, situés au sud de la Côte d'Ivoire, dans les secteurs IV et V [4]. Toutefois, ces dernières années, ce phénomène s'est produit de plus en plus souvent et il en résulte la fermeture de la pêche dans ces secteurs [5]. Il est alors nécessaire d'entrevoir un plan de gestion durable des ressources afin de préserver l'équilibre écologique de ces écosystèmes aquatiques.

Au niveau de la zone de Dabou (secteur IV), *Hepsetus odoe* communément appelé brochet d'Afrique appartenant à la famille des Hepsetidae fait partie des principales prises. Avec une valeur commerciale élevée, ce poisson est très apprécié pour la qualité de sa chair par les populations riveraines. Malgré son importance, aucune donnée scientifique sur la croissance de cette espèce n'est disponible jusqu'à ce jour dans ce secteur. En biologie des pêches, la croissance est un indicateur de la qualité de l'habitat des poissons [6], [7]. De ce fait, l'évaluation de la croissance des poissons nécessite l'utilisation d'approche comme la méthode de la structure des tailles, les marques sur les pièces osseuses, la relation longueur-poids et le facteur de condition [8]. La relation longueur-poids (RLP) est un outil important en biologie, physiologie, écologie et évaluation des stocks de poissons [9], [10]. En effet, elle aide à déterminer le poids moyen des poissons à une certaine classe de longueur et est largement utilisé dans l'étude des populations naturelles de poissons pour fournir des méthodes de gestion [11]. Le facteur de condition fournit des informations sur l'état d'embonpoint d'un poisson [12]. Il peut être utilisé comme un indice pour évaluer le niveau de perturbation d'un écosystème aquatique [13]. La connaissance de ces indicateurs de croissance de ce poisson constitue des données importantes dans les stratégies de conservation et de gestion durable des stocks. Ainsi, l'objectif de ce travail est de contribuer à une meilleure gestion rationnelle de ce poisson au niveau de la lagune Ebrié.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MILIEU D'ETUDE

Située dans le sud de la Côte d'Ivoire, la lagune Ebrié est limitée à l'ouest par le canal d'Assagny et à l'est par le canal d'Assinie. C'est un système lagunaire (lagunes Adjin et Potou, baies de cocody et Bietry) de forme allongée avec une superficie de 566 km² [14]. Elle est située au Sud de la Côte d'Ivoire (5°13'15" N et 4°42'0" W). Elle a environ 130 km de longueur et une largeur maximum de 7 km (Figure 1). Cette lagune Ebrié bénéficie d'un climat de type équatorial de transition incluant 4 saisons annuelles dont deux pluvieuses (avril à juillet et octobre à novembre) et deux sèches (décembre à mars et août à septembre). La communication constante avec l'océan produit des caractéristiques typiques de l'estuaire, dans le secteur IV [4], [15].

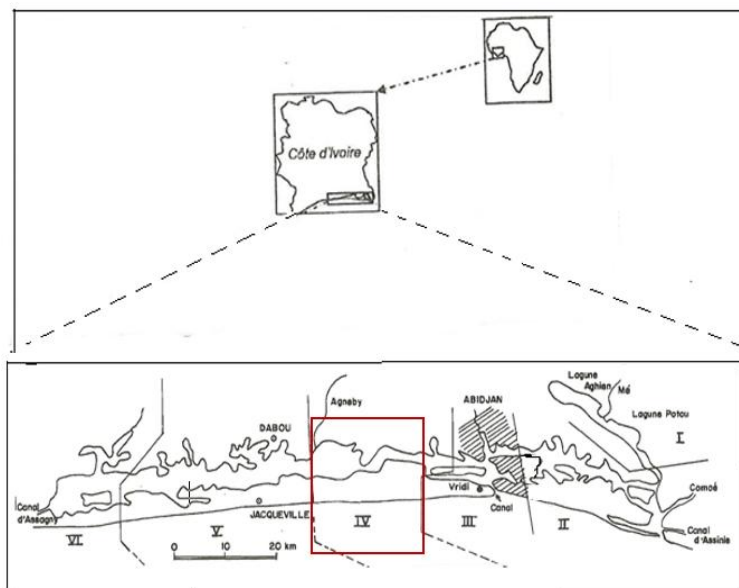


Fig. 1. Présentation de la zone d'étude [16]

2.2 ECHANTILLONNAGE DES POISSONS ET ANALYSE DES DONNEES

Un échantillonnage mensuel à partir des débarquements de la pêche artisanale commerciale a été effectué de juillet 2022 à Juin 2023 au niveau du secteur IV de la lagune Ebrié. Les engins de captures sont des filets maillants (mailles de 20 à 40 mm). La pêche est nocturne et s'effectue à l'aide de pirogues monoxydes.

Pour chaque spécimen, la longueur totale ainsi que le poids vif ont été respectivement relevés au millimètre et au gramme près. Après dissection le sexe a été déterminé.

2.2.1 DETERMINATION DU TYPE DE CROISSANCE

La règle de Sturge [17] a permis la détermination des classes de tailles utilisées dans la distribution des fréquences de tailles. Cette règle fait varier le nombre entier k de classes ou d'intervalles à constituer selon le nombre n de données (nombre total d'individu) en utilisant l'opération logarithmique suivante: $k = 1 + (3,3 \times \log_{10}(n))$

La borne inférieure des classes est la plus petite valeur et la borne supérieure correspond à la plus grande valeur. L'intervalle de chaque classe est déterminé selon la formule:

$$\text{Intervalle de classes} = (\text{Valeur maximale} - \text{Valeur minimale}) / (\text{Nombre de classe})$$

Une prémisses à la construction de la règle de Sturge est que le nombre de classes à utiliser doit être suffisamment grand lorsque les données sont peu nombreuses afin de repérer une concentration éventuelle de données dans une classe. Cette règle est réalisée sous Excel.

La relation longueur-poids a été établie sous la forme $Pt = a Lt^b$ [18] avec a comme constante de la régression, b le coefficient de régression, Lt = longueur totale (cm) et Pt = poids total (g). Les constantes a et b sont déduites après linéarisation de la relation par transformation logarithmique sous la forme: $\log Pt = \log a + b \log Lt$ [19].

Afin de vérifier si la valeur de b est sensiblement différente de 3, le test de t-Student a été utilisé ($p = 0,05$). Le coefficient d'allométrie b varie entre 2 et 4, mais il est le plus souvent proche de 3. Quand $b = 3$, il y a isométrie de croissance (et la densité spécifique de l'animal ne change pas). Si $b > 3$, l'allométrie est majorante, le poisson grossit plus vite qu'il ne grandit. Si $b < 3$, l'allométrie est minorante, le poisson grandit plus vite qu'il ne grossit. Le coefficient de détermination R^2 a été utilisé comme un indicateur du degré de corrélation entre la longueur et la masse.

2.2.2 DETERMINATION DU FACTEUR DE CONDITION

Le facteur de condition (K) a été déterminé en fonction du sexe et de la taille selon la formule suivante:

$$K = 100 \times Pt / L^3 \quad [20]$$

Concernant la détermination de K en fonction de la taille, la répartition des tailles a été faite en fonction de la méthode de [21]. Les poissons de petite taille < 15 cm, taille moyenne < 25cm et grande taille > 25 cm.

2.3 EXPRESSIONS STATISTIQUES

La signification statistique du coefficient de détermination (R^2) a été estimée et le test t de student a été utilisé pour vérifier si les valeurs de b étaient significativement différentes de la valeur isométrique $b = 3$ au seuil de 5%.

Les valeurs du coefficient de condition K ont été soumises à l'Analyse de variance à 1 critère de classification (ANOVA I) afin de voir si ce paramètre varie significativement en fonction du sexe du poisson. Pour ce qui est du facteur de condition en fonction de la taille, le test de Mann-Withney a été utilisé pour comparer les moyennes des trois groupes de classe de taille.

Toutes ces analyses ont été effectuées au moyen du logiciel Statistica 7.1 version 2006. Les figures ont été obtenues grâce à Microsoft Office Excel 2021.

3 RESULTATS

3.1 DISTRIBUTION DES FREQUENCES DE TAILLE

La règle de sturge a permis d'obtenir la valeur de K égale à 9. Cela indique que les poissons capturés sont repartis en 9 classes de taille. L'analyse de la distribution des fréquences de taille des spécimens de *Hepsetus odoe* échantillonnés au niveau de la lagune Ebrié montre une distribution unimodale (Figure 2). La classe modale est de [17; 20 [cm. Cette distribution montre que les individus les plus importants sont ceux dont la taille varie dans cet intervalle.

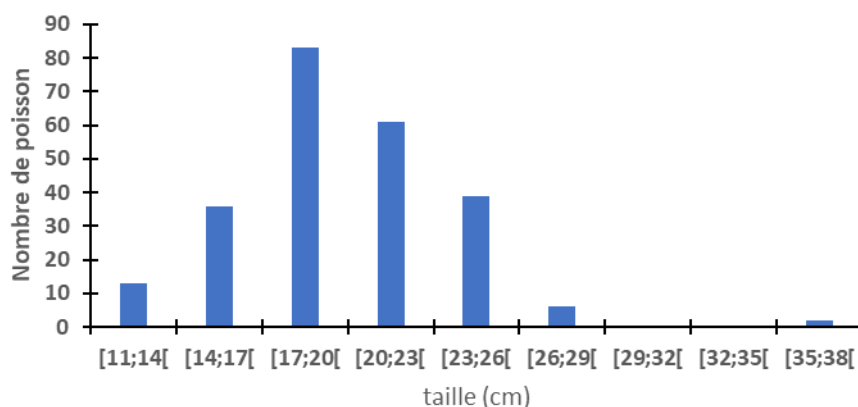


Fig. 2. Distribution des fréquences de taille des spécimens de *Hepsetus odoe* de la lagune Ebrié

3.2 RELATION LONGUEUR-POIDS

240 spécimens de *H. odoe* ont été examinés. La taille des individus varie de 11,2 à 36 cm et le poids oscille entre 10,2 et 196 g. Les mâles ont une taille qui varie de 14,3 à 36 cm et le poids oscille entre 17,4 et 196 g. Les femelles quant à elles, présentent une gamme de taille variant de 15,5 à 27 cm et des poids oscillant de 21,4 à 133 g.

Les figure 3 à 6 représentent la relation entre la longueur et le poids des spécimens de *H. odoe* de la lagune Ebrié.

L'équation de la relation longueur-poids calculée chez la population générale est:

$Pt = 0,0025 L^{3,3227}$ ($R^2 = 0,8314$; $N = 240$). Le test t-Student appliqué montre une différence significative. La valeur du coefficient d'allométrie b déterminée est supérieure à la valeur théorique $b = 3$ (t-test, $b = 3,3227$; $t = 40,85$; $p = 0,000$; $p < 0,05$). La croissance est par conséquent de type allométrie majorante.

En considérant le sexe, Chez les femelles cette équation se présente comme suit:

$$Pt = 0,0014 L^{3,5317} \quad (R^2 = 0,9265; N = 82).$$

Chez les mâles, elle se présente comme suit:

$$Pt = 0,0047L^{3,0998} (R^2 = 0,8653; N = 39)$$

Concernant les individus à sexe indéterminé, l'équation est la suivante:

$$Pt = 0,0031L^{3,2536} (R^2 = 0,8509; N = 119)$$

Le test t-Student appliqué suivant le sexe montre une différence significative. La valeur du coefficient d'allométrie b déterminée est supérieure à la valeur théorique (b = 3) pour les mâles (t-test, b = 3,0998, t = 19,73, p = 0,049; p < 0,05), pour les femelles (t-test, b = 3,5317, t = 18,40, p = 0,000; p < 0,05). La croissance est par conséquent de type allométrie majorante. En ce qui concerne les individus à sexes indéterminés (t-test, b = 3,2536, t = 3,16, p = 0,050; p = 0,05), la croissance est de type allométrie majorante.

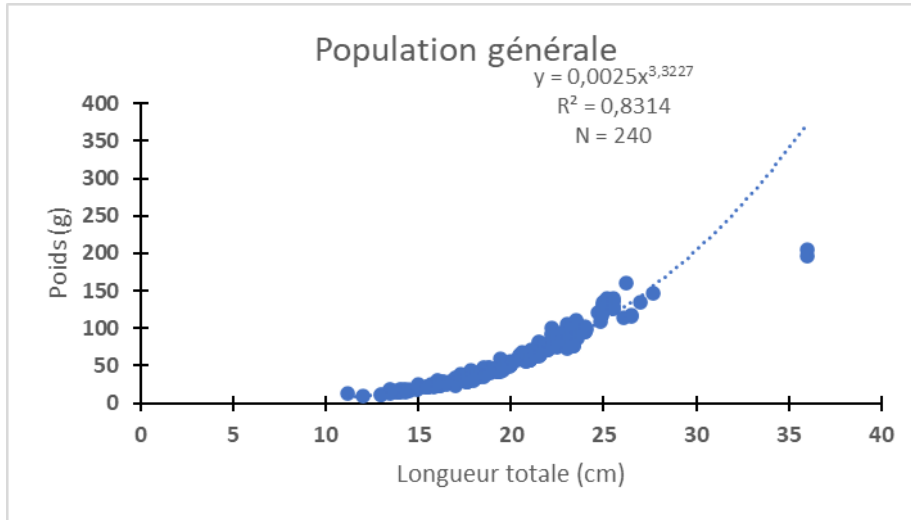


Fig. 3. Relation longueur-poids chez la population générale de *Hepsetus odoe* de la lagune Ebrié

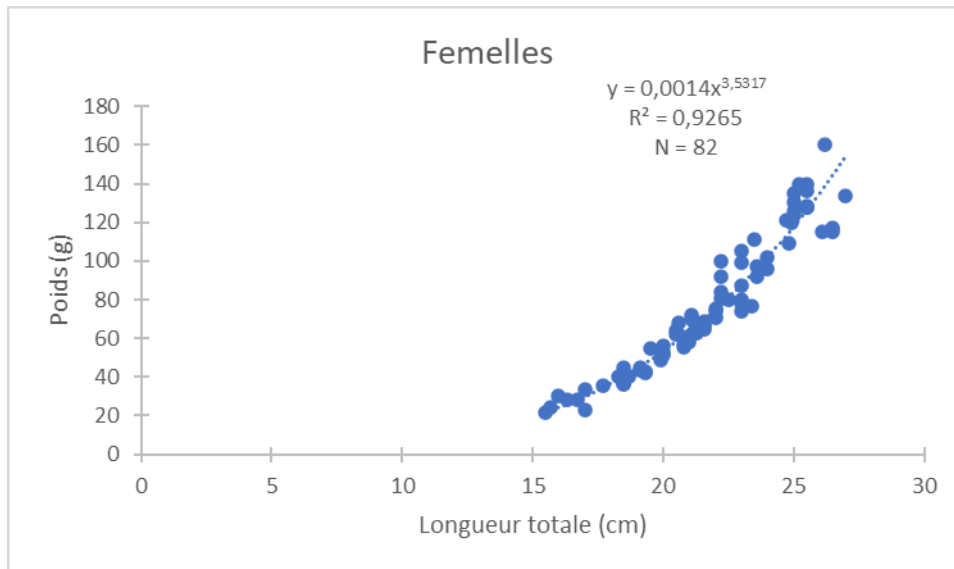


Fig. 4. Relation longueur-poids chez les femelles de *Hepsetus odoe* de la lagune Ebrié

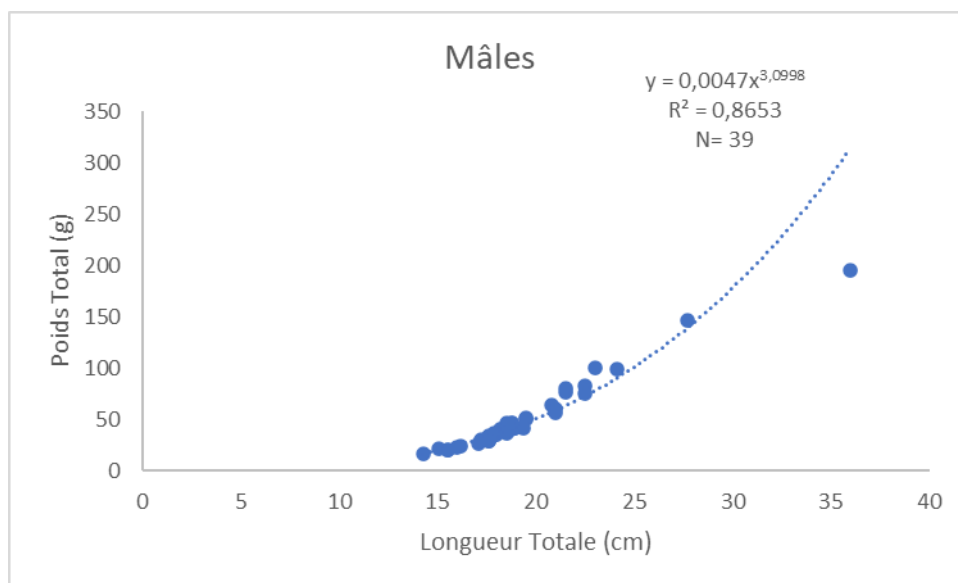


Fig. 5. Relation longueur-poids chez les mâles de *Hepsetus odoe* de la lagune Ebrié

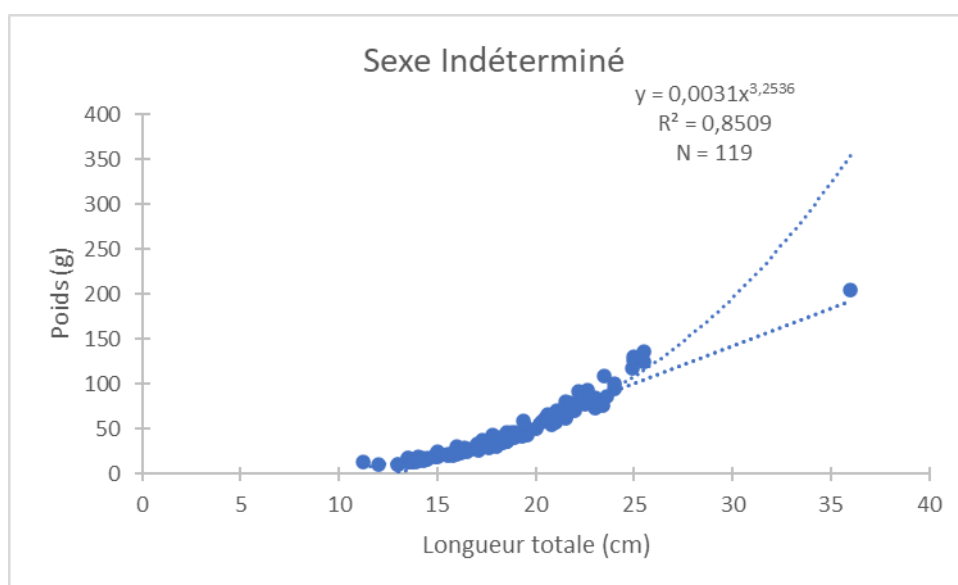


Fig. 6. Relation longueur-poids chez les individus à sexe indéterminé de *Hepsetus odoe* de la lagune Ebrié

3.3 FACTEUR DE CONDITION MOYEN MENSUEL

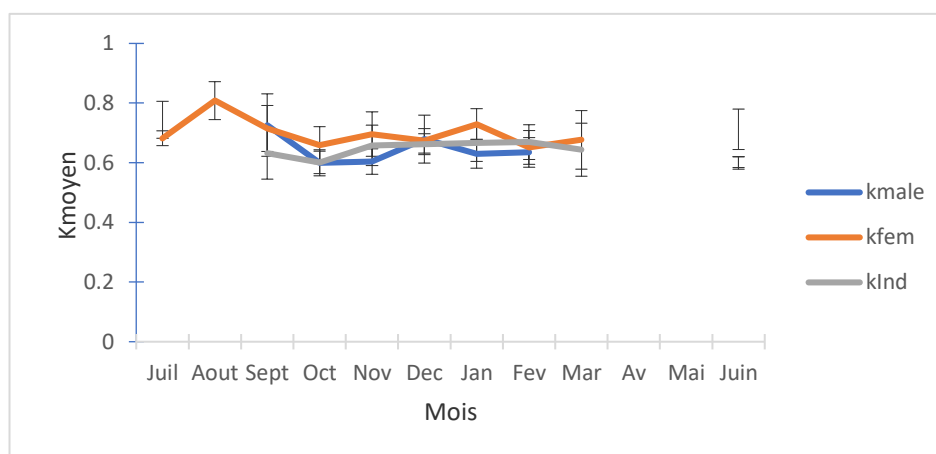
Les valeurs du facteur de condition sont inscrites dans le Tableau I. Le facteur de condition moyen a varié d'un mois à l'autre et durant le même mois d'un sexe à l'autre. Chez les mâles, le facteur de condition oscille entre $0,599 \pm 0,043$ et $0,725 \pm 0,104$ avec une valeur moyenne de $0,638 \pm 0,02$. La valeur la plus basse est observée au cours du mois de Octobre et juin et la valeur la plus élevée au cours du mois de septembre. Chez les femelles, le facteur de condition varie de $0,651 \pm 0,058$ à $0,808 \pm 0,063$ avec une moyenne de $0,700 \pm 0,014$. La valeur la plus élevée est observée au cours du mois d'août et la valeur la plus basse est observée en février. Chez les individus à sexe indéterminé, la valeur de K varie de $0,601 \pm 0,038$ à $0,744 \pm 0,062$ avec une moyenne de $0,653 \pm 0,018$. La valeur la plus basse est observée en octobre et la valeur la plus élevée en juillet.

Tableau 1. Facteur de condition moyen mensuel de *H. odoe* de la lagune Ebrié

Mois	Nombre de mâles	K moyen mâles	Nombre de femelles	K moyen femelles	Nombre indéterminés	K moyen indéterminés
Juillet	-	-	2	0,681 ± 0,024	2	0,744 ± 0,062
Août	-	-	2	0,808 ± 0,063	-	-
Septembre	2	0,725 ± 0,246	5	0,668 ± 0,063	16	0,632 ± 0,038
Octobre	6	0,599 ± 0,043	2	0,967 ± 0,12	23	0,601 ± 0,068
Novembre	4	0,603 ± 0,042	16	0,962 ± 0,053	16	0,658 ± 0,034
Décembre	9	0,679 ± 0,080	15	0,95 ± 0,037	27	0,662 ± 0,034
Janvier	11	-	6	0,728 ± 0,052	16	0,666 ± 0,062
Février	4	-	7	0,651 ± 0,058	10	0,669 ± 0,058
Mars	-	-	3	0,676 ± 0,098	4	0,644 ± 0,089
Avril	-	-	-	-	-	-
Mai	-	-	-	-	-	-
Juin	3	0,599 ± 0,020	3	0,711 ± 0,067	4	0,602 ± 0,018

3.4 FACTEUR DE CONDITION EN FONCTION DU SEXE

Les courbes d'évolution du facteur de condition mensuel ont les mêmes tendances chez les mâles, les femelles et les individus à sexe indéterminé (Figure 7). Chez les mâles, le facteur de condition varie de $0,599 \pm 0,043$ à $0,725 \pm 0,104$ avec une valeur moyenne de $0,638 \pm 0,02$. Chez les femelles, le facteur de condition oscille entre $0,651 \pm 0,058$ et $0,808 \pm 0,063$ avec une moyenne de $0,700 \pm 0,014$. Cependant, il n'existe pas de différence significative entre les deux sexes ($p = 0,104$; $p > 0,05$). Chez les individus à sexe indéterminé, la valeur de K varie de $0,601 \pm 0,038$ à $0,744 \pm 0,062$ avec une moyenne de $0,653 \pm 0,018$.

Fig. 7. Evolution mensuelle de K en fonction du sexe de *H. odoe* de la lagune Ebrié

3.5 FACTEUR DE CONDITION EN FONCTION DE LA TAILLE

La valeur moyenne de K du groupe 1 ($11 \leq Lt < 15$ cm) est de $0,60 \pm 0,063$. La valeur moyenne de K du groupe 2 ($15 \leq Lt < 25$ cm) est de $0,66 \pm 0,06$. Quant au groupe 3 ($25 \leq Lt < 36$ cm), la valeur de K est de $0,74 \pm 0,09$ (Tableau I). Toutefois, la différence est significative entre les différents groupes ($p = 0,000$; $p < 0,05$).

Tableau 2. Facteur de condition en fonction de la taille de *H. odoe* de la lagune Ebrié

Taille (cm)	Nombre de poisson	K moyen
Groupe 1 (11 ≤ Lt < 15 cm)	25	0,60 ± 0,06
Groupe 2 (15 ≤ Lt < 25 cm)	193	0,66 ± 0,06
Groupe 3 (25 ≤ Lt < 36 cm)	22	0,74 ± 0,09

4 DISCUSSION

Les individus échantillonnés ont des tailles qui oscillent entre 11,2 et 36 cm. Cette gamme de taille observée dans cette étude est supérieure à celle de [22] au niveau des lacs d'Ayamé I [9,8; 31 [cm et Buyo [9; 26 [cm en Côte d'Ivoire. Cette différence de gamme de taille serait due aux engins de pêche utilisés par ces auteurs. En effet, les engins de pêche étaient constitués de filets maillants de différentes tailles de mailles (mailles étirées de 15 à 60 mm), des sennes de plage, des pièges en bambou et des éperviers alors que dans cette étude les engins étaient constitués que de filets maillants (20 à 40 mm de maille). La structure en taille des échantillons de poissons a une distribution unimodale. La taille de la population est concentrée entre 11 et 29 cm et la classe la plus abondante est [17; 20] cm.

En outre, la longueur totale est fortement corrélée au poids corporel de cette espèce ($R^2 = 0,83$). Ce poisson a une croissance allométrique positive ($b > 3$, $p \leq 0,05$) quel que soit le sexe. Ce résultat indique que ce poisson grossit plus vite qu'il ne grandit. Des résultats similaires ont été rapportés en Côte d'Ivoire par [23] au niveau du lac d'Ayamé 1. Cette allométrie majorante a été aussi observée au Nigéria par [7], [23], [24] respectivement dans le réservoir d'Ado-Ekiti, le réservoir de Ogbomoso, le lac Eleele. Nos résultats sont différents de ceux de [22] dans le lac Buyo en Côte d'Ivoire et [25] dans le réservoir de Lapai-Agaie au Nigéria. Ces auteurs ont obtenu une croissance allométrique négative. Par contre, [26] ont obtenu une croissance isométrique chez cette même espèce au niveau du lac Eleiyele au Nigéria. Plusieurs raisons sont mentionnées pour comprendre les différences entre les paramètres de croissance d'une même espèce dans différents environnements aquatiques. Il s'agit de l'habitat, la disponibilité des ressources alimentaires, la pollution, la taille des spécimens échantillonnés, la période d'échantillonnage, la pression de pêche, le sexe, la maturité des gonades, le comportement alimentaire et les conditions du milieu [26], [27], [28].

Le facteur de condition (K) permet d'avoir une idée sur l'embonpoint des poissons dans leur habitat. Dans cette étude, le facteur de condition varie d'un mois à un autre et d'un sexe à l'autre. Chez les mâles et les femelles, les valeurs du facteur de condition sont en dessous de la valeur seuil qui est égale à 1. Il n'y a pas de différence significative entre les deux sexes. Chez les individus à sexe indéterminé, la valeur de K est inférieure à 1. Selon [29], la valeur de K supérieur à 1 exprime le « bien-être » d'une population au cours de son cycle de vie; alors que la valeur de K inférieur à 1 signifie que le poisson n'est pas en embonpoint dans son biotope. Ces résultats suggèrent que les poissons échantillonnés ne seraient pas dans de meilleures conditions physiologiques durant la période d'échantillonnage. Ces individus semblent ne pas avoir une bonne adaptation aux conditions environnementales du milieu de vie. Cela pourrait s'expliquer par le fait que le facteur de condition peut être influencé par des facteurs biotiques et abiotiques tels que le régime alimentaire et l'état de développement gonadique [28], [30]. De plus, plusieurs facteurs peuvent influencer le coefficient de condition, dont la taille des gonades, le sexe, le contenu stomacal et la disponibilité d'aliments [31]. En outre, en tenant compte de la taille des poissons, le facteur de condition reste en dessous de 1 quel que soit la taille des individus. Cependant la différence est significative entre les groupes de classe de taille.

5 CONCLUSION

Au terme de cette étude, il ressort que la gamme de taille la plus pêchée est comprise entre [17; 20 [cm. *Hepsetus odoe* grossit plus vite qu'il ne grandit. Les mâles et les femelles ne sont pas en embonpoint dans leur biotope. Ces individus ne sont pas en embonpoint dans leur biotope quel que soit leur sexe et leur taille.

REFERENCES

- [1] Dufour, P., Lemoalle, J. et Albaret J. J., *Le système Ebrié dans les typologies lagunaires*, In: J.R. Durand, P. Dufour, D. Guiral et S. G. F. Zabi (Eds.), *Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire. Les milieux lagunaires*, pp. 17-24, 1994.
- [2] Koné T., *Biologie et dynamique de la population de Pseudotolithus elongatus (Bowdich, 1825) - poisson Sciaenidae - de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire)*. Thèse de Doctorat Université Nangui Abrogoua. Abidjan, 2017.

- [3] J. J. Albaret and R. Laë, «Impact of fishing on fish assemblages in tropical lagoons: The example of the Ebrie lagoon, West Africa,» *Aquatic Living Resources*, vol. 16, no. 1, pp. 1-9, 2003.
- [4] L. Boni, C. S. K. Nobah, K. J. Konan, S. Coulibaly, A. S. Tidou et B. C. Atsé, «Relation Longueur-Poids Pour 15 Espèces de Poissons Exploitées dans la Lagune Ebrié, Côte d'Ivoire (Afrique de l'ouest),» *European Scientific Journal*, vol. 15, no. 21, pp. 455-469, 2019.
- [5] C. V. Hayé, B. K. Dongui, J. Pellerin and A. Trokourey, «Pollution evaluation in the estuary bay of Biétri (Abidjan, Côte d'Ivoire),» *Journal of Oceanography, Research and Data*, vol. 2, pp. 1-11, 2009.
- [6] S. P. Searcy, D.B. Egletons and J. A. Hare, «Is growth a reliable indicator of habitat quality and essential fish habitat for a juvenile estuarine fish,» *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 64, no. 4, pp. 681-691, 2007.
- [7] O. K. Kareem, A. N. Olanrewaju, E. F. Osho, O. Orisasona and M. A. Akintunde, «Growth Patterns and Condition Factor of *Hepsetus odoe* (Bloch, 1794) Captured in Eleyele Lake, Southwest Nigeria,» *Fisheries and Aquaculture Journal*, vol. 7, pp. 178, 2016.
- [8] N. Da, R. Ouédraogo et A. Ouéda, «Relation poids-longueur et facteur de condition de *Clarias anguillaris* et *Sarotherodon galilaeus* pêchées dans le lac Bam et le réservoir de la Kompienga au Burkina Faso,» *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 12, no. 4, pp. 1601-1610, 2018.
- [9] L. Bolognini, F. Domenichetti, F. Grati, P. Polidori, G. Scarcella and G. Fabi, «Weight-Length Relationships for 20 Fish Species in the Adriatic Sea,» *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 13, pp. 563-568, 2013.
- [10] A. L. B. Mikembi, A. I. Zamba, V. Mamonekene, H. D. L. Tenda, F. H. P. Ngot et J. Vouidibio, «Relations longueurs-poids et coefficients de condition pour 13 espèces de poissons de la rivière Dzoumouna, affluent du cours inférieur du fleuve Congo (République du Congo),» *Journal of Animal & Plant Sciences*, vol. 39, Issue 1, pp. 6384-6393, 2019.
- [11] R. D. M. Nash, A. H. Valencia and A. J. Geffen, «The Origin of Fulton's Condition Factor Setting the Record Straight. *Fisheries*,» vol.31, no. 5, pp. 236-238, 2006.
- [12] Paugy D. and Leveque C., *Impacts of human activities*. In: D. Paugy, C. Lévêque and O. Otero (Eds): The inland water fishes of Africa: Diversity, Ecology and Human use, Research Institute for Development (IRD), Royal Museum for Central Africa (MRAC), pp. 459-478, 2017.
- [13] F. Baby, J. Tharian, A. K. M. braham, M. R. Ramprasanth, A. Ali and R. Ranghavan, «Length-weight relationship and condition factor of an endemic stone sucker, *Garra gotyla stenorhynchus* (Jerdon, 1849) from two opposite flowing rivers in southern Western Ghats,» *Journal of threatened taxa*, vol. 3, no. 6, pp. 1851-1855, 2011.
- [14] Varlet F., Le régime de la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). Traits physiques essentiels, Travaux et documents de l'ORSTOM, no. 83, 1978.
- [15] J.M. Ecoutin et J.J. Albaret, «Rélacion longueur-poids pour 52 espèces de poissons des estuaires et lagunes de l'Afrique de l'Ouest,» *Cybiurn*, vol. 27, no. 1, pp. 3-9, 2003.
- [16] J. R. Durand, et M. Skubich, «Les lagunes ivoiriennes,» *Aquaculture*, vol.27, no.3, pp. 211-250, 1982.
- [17] D. W. Scolt, «Sturge's rules,» *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational statistics*, vol. 1, pp. 303-306, 2009.
- [18] E. D. Le Cren, «The length weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the Perch (*P. fluviatilis*),» *Journal of Animal Ecology*, vol. 20, n° 2, pp. 201-219, 1951.
- [19] Lévêque, C., et Paugy, D., *Les poissons des eaux continentales africaines*. Institut de Recherche pour le Développement. IRD Edition, Paris, 2006.
- [20] W. E. Ricker, «Computation and interpretation of fish populations,» *Bulletin of Fisheries Research Board of Canada*, vol. 191, pp. 1-382, 1975.
- [21] K. O. Winemiller and L. C. Kelso-Winemiller, «Comparative ecology of the African pike, *Hepsetus odoe*, and tigerfish, *Hydrocynus forskahlii*, in the Zambezi River floodplain,» *Journal of Fish Biology*, vol. 45, pp. 211-225, 1994.
- [22] L. Tah, Bi G. Goore et K. S. Da Costa, «Length-weight relationships for 36 freshwater fish species from two tropical reservoirs: Ayamé I and Buyo, Côte d'Ivoire,» *Revista de Biología Tropical*, vol. 60, no. 4, pp. 1847-1856, 2012.
- [23] J. A. Oso, E. O. Idowu, O. Fagbuaro, T. S. Olaniran and B. E. Ayorinde, «Fecundity, Condition Factor and Gonado-Somatic Index of *Hepsetus Odoe* (African Pike) in a Tropical Reservoir, Southwest Nigeria,» *World Journal of Fish and Marine Sciences* vol. 3, no. 2, pp. 112-116, 2011.
- [24] M. A. Adedokun, O. O Fawole and T. A. Ayandiran, «Allometry and condition factors of African pike »*Hepsetus odoe*« actinopterygii in a lake. *African Journal of Agricultural Research*,» vol. 8, no. 25, pp. 3281-3284, 2013.
- [25] B. U. Ibrahim, «Length-Weight Relationship of *Hepsetus Odoe* in Lapai- Agaie Reservoir, Niger State, Nigeria,» *Science World Journal*, vol. 12, no. 2, pp. 56-58, 2017.
- [26] O. S. Ogunola, O. A. Onada and A. E. Falaye, «Preliminary evaluation of some aspects of the ecology (growth pattern, condition factor and reproductive biology) of African pike, *Hepsetus odoe* (Bloch, 1794), in Lake Eleiyele, Ibadan, Nigeria,» 2018.

- [27] T. C. Tchouante, E. T. Efole and J. Tchoumboue, «Caractéristiques de la croissance et facteur de condition k de *Clarias jaensis* (Boulenger, 1909) pêchée dans les rivières de la plaine inondable des Mbô (Cameroun),» *International Journal of Innovation and Scientific Research*, vol. 43, no. 1, pp. 1-9, 2019.
- [28] G. Hoto, E. Sossoukpe, R. S. Imorou and E. D. Fiogbe, «Caractérisation morphologique, croissance staturo-pondérale et facteur de condition de la Sardinelle plate (*Sardinella maderensis* Lowe, 1838) des eaux côtières du Bénin (Afrique de l'Ouest),» *International Journal of Biological Chemical Sciences*, vol. 16, no. 3, pp. 1149-1166, 2022.
- [29] T. Fulton, «Rate of growth of seas fishes. 20th Annual Report of the Fishery Board for Scotland, London,» *Fisheries Science Division of Scotland Report*, vol. 20, pp. 1035–1039, 1902.
- [30] J. K. Saliu, «Observation on the condition factor of *Brycinus nurse* (Pisces: Cypriniformes, Characidae) from Asa Reservoir, Ilorin, Nigeria,» *Tropical Freshwater Biology*, vol. 10, pp. 9-17, 2001.
- [31] M. Y. Hossain, Z. F. Ahmed, P. M. Leunda, S. Jasmine, J. Oscoz, R. Miranda and J. Ohtomi, «Conditions, length-weight and length-length relationships of the Asian striped catfish *Mystus vittatus* (Bloch, 1794) in the Mathabhanga river, southwestern Bangladesh,» *Journal of Applied Ichthyology*, vol. 22, pp. 304-307, 2006.

Checklist, occurrence and associated risk factors of parasitic infections of potential farming fish species from the lower course of River Nkam, Cameroon

NACK Jacques¹, ESSOME BANG Gabel¹, FONKWA Georges¹, AWAH-NDUKUM Julius²⁻³, TOMEDI Eyango Minette¹, and TCHOUMBOUE Joseph²

¹Laboratory of Aquaculture and Demography of Aquatic Resources, Institute of Fisheries and Aquatic Sciences, Department of Aquaculture, University of Douala, P.O. Box 7236 Douala, Cameroon

²Applied Hydrobiology and Ichthyology Research Unit, Department of Animal Science, Faculty of Agronomy and Agricultural Science, University of Dschang, P.O. Box 222, Dschang, Cameroon

³College of Technology, University of Bamenda, P.O. box 39, Bambili, Cameroon

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: A cross-sectional study was conducted from April to October 2023 along the downstream of River Nkam in Yabassi locality (Littoral-Cameroon). The objective was to determine parasite fauna, the prevalence, abundance, mean intensity and risk factors of parasitic infections in wild freshwater fishes as for their control during their successful domestication and conservation. A total of 151 fishes comprising 43 *Ctenopoma petherici*, 31 *Clarias jaensis*, 21 *Parachanna obscura*, 25 *Chrysichthys nigrodigitatus* and 31 *Oreochromis niloticus* randomly captured from the River Nkam were used for the determination of the parasitological indexes. The results showed an overall high prevalence of multiple infections of 72.85% of all the fish species by five groups of parasites ($p < 0.0001$) namely monogeneans (61.53%), trematodes (18.54%), myxosporeans (19.90%), cestodes (2.83%) and nematodes (8.72%). Besides, the abundance and mean intensity of monogeneans infection were either low or average and not influenced by the fish species. The significance of the effect of the fish sex, size and weight on the infection by monogeneans depended on fish species. Fishes from the Nkam river should be quarantined and treated against parasites before farming.

KEYWORDS: Parasites, fish, infection, parasitological indexes, River Nkam, Yabassi.

1 INTRODUCTION

Fish account nearly for 51% of animal proteins intake in Cameroon and are highly appreciated by many households compared to others animal protein sources because it is cheaper and has white flesh. The average fish and meat consumption of 17.9 and 13.07 kg per person per year respectively have been estimated in the country (FAO, 2016) [1]. Though there are increasing demands for fish with the rapid population growth in Cameroon, many factors including climate change, illicit fishing and overfishing have constrained the attainment of optimum fish production levels in the country (Fonkwa *et al.*, 2022) [2]. The national annual production of 335, 000 tons is far short of estimated demand of 500,000 tons/year and has caused supplementary yearly importation of about 180,000 tons of fish (MINEPIA, 2018) [3].

Boosting the national production levels, farming of better adapted and performant native fish species and achieving youth employment in the fish sector have been proposed as strategic solutions to eliminate the deficit (Tomedi *et al.*, 2014) [4]. However, intensification of fish production is usually limited by diseases and particularly parasitic infections (Nounagnon *et al.*, 2016) [5]. Crowded culture conditions, high temperature and slow water flow in farming process favors parasite multiplication and infestations (Farman *et al.*, 2015) [6] and early detection of fish parasites in fish farms is vital for preventing outbreaks of diseases. Parasitic diseases of fish in natural environments and cultured fish cause great economic impact and are of major

public health concerns particularly in the tropics (Amare *et al.*, 2014) [7]. Myxosporeans affect growth, reproduction and are the cause of massive deaths in fish farms (Longshaw *et al.*, 2010) [8] and the health of immunodepressed persons has been affected following consumption of myxosporeans infected fish (Hessen and Zamzame, 2004) [9].

There is scarce information on the distribution and suitable conditions for parasitic infections of fish in some wild environments and cultured fish in Cameroon (Nack *et al.*, 2018 [10], 2020 [11]; Lekeufack *et al.*, 2019 [12]; Fonkwa *et al.*, 2021 [13], 2022 [2]). Though the River Nkam provides suitable habitats for multiplication and growth of various wild fish species and socioeconomics livelihood of the riverine communities through fishing and harvesting of other edible aquatic animals, there is dearth of information on the epidemiology of diseases of aquatic animals and their socioeconomics impact on the dynamics of edible aquatic animals in this river. Accurate knowledge and effective control strategies of fish diseases are vital for successful domestication of dietary wild aquatic animals include the freshwater fish species.

In this context, this study was carried out to determine the parasite fauna, the occurrence (prevalence, abundance, mean intensity) and risk factors of parasitic infections in socioeconomically important and edible wild fish captured in River Nkam in Cameroon.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 DESCRIPTION OF THE STUDY AREA

A cross-sectional study was carried out from April to October 2023 of randomly selected fishes captured in River Nkam at Yabassi and Bodiman villages (4°27' - 4°30' North Latitude; 9°57' - 10° 20' East Longitude) of Littoral Region of Cameroon. The study sites are at an altitude of about 15.5m above the sea level and have sedimentary soil with a pH ranging from 6.5 to 8.5. The climate is of the subequatorial type with a dry season (November to March) and a rainy season (April to end October) with an annual average temperature varying from 25 to 35°C and the rainfall of about 1364.4 mm (Tomedi *et al.*, 2014 [4]).

2.2 SELECTION OF FISH SAMPLE FOR THE STUDY

A total of 151 fishes randomly selected at dawn (sunrise) from among fishes captured at night by local fishermen using mesh gill nets were purchased and used in this study. The abdominal region of each selected fish specimen was punctured to improve conservation of internal organs and immediately transported in cool boxes to the Laboratory of Parasitology and Ecology of the University of Yaoundé I-Cameroon and stored at 4°C for parasitological examination within 12 hours of arrival.

The sexe of the fish were determined by pressing the abdomen and when the fish were dissected and the gonads inspected using previously described procedures (Akombo *et al.*, 2013 [14]; Mbakane *et al.*, 2010 [15]). Briefly, pressing the abdomen of some adult fish specimens caused the release of whitish milk for males and eggs for females. Upon dissection of some adult female samples, eggs were readily seen swollen in the paired ovaries, while the testes were typically flattened and elongated, whitish and non-granular in appearance in adult male samples.

The fish species were determined with the aid of previously described keys (Olaosebikan and Raji, 2004 [16], Stiassny *et al.*, 2007 [17]) and were composed of *Ctenopoma petherici*, *Clarias jaensis*, *Parachanna obscura*, *Chrysichthys nigrodigitatus* and *Oreochromis niloticus*.

2.3 PARASITOLOGICAL EXAMINATION OF FISHES

Each fish sample was visually examined for any malformation or abnormality using standard procedures (Ali, 2009 [18], Noga, 2010 [19], Farman *et al.*, 2015 [6]). The standard length (distance from the anterior end of the snout to the posterior end of the last vertebra of the fish) was measured and the samples grouped in four size classes using the modified Yule formula (Lekeufack *et al.*, 2019 [12]). The weight of each sample was determined using an electronic Sartorius balance and categorized into four weight classes (Table 1).

The fins, eyes and skin were examined at 10X lens of a stereomicroscope (Wild Heerbrug M2G17 brand) and the metacercaria and whitish myxosporidia cysts counted. The fish samples were dissected dorso-ventrally and sexed by examination of their gonads as previous described (Assefa and Abuna, 2018 [20], Manbe *et al.*, 2020 [21]). The body cavity, stomach and other visceral surfaces were examined for parasites. The liver, gonads, heart, kidneys, gall bladder and gill filaments were rinsed in petri dishes then bathed with 0.7% NaCl solution for recovery of parasites which were fixed in glycerine for further identification. Monogeneans on the filaments of gill were dislodged using a needle (Nack *et al.*, 2020 [11]) while

myxospores on the kidneys, spleen, liver and gonads were crushed in a drop of distilled water between slide and cover glass (Fonkwa *et al.*, 2021 [13]) for identification as previously described. The identification of the ectoparasites was based on distinctive morphological features using reference identification keys and pictorial guides for taxa of fish parasites (Yanong, 2002 [22]; Chandra, 2004 [23]; Pouder *et al.*, 2005 [24]). An infected fish sample was coded as 1 and uninfected as 0.

Table 1. Community structure of fishes sampled from the lower course of River Nkam

Fish species	Sex		Total	MSL (mm)	Mean weight (g)
	♂	♀			
<i>Ctenopoma petherici</i>	20	23	43	98 (65 - 460)	50 (43- 403)
<i>Chrysichthys nigrodigitatus</i>	17	14	31	121 (58-510)	41(12 - 380)
<i>Parachanna obscura</i>	9	12	21	76 (80-433)	52 (28 -398)
<i>Oreochromis niloticus</i>	14	11	25	90 (40 - 280)	34 (18 -302)
<i>Clarias jaensis</i>	15	16	31	39 (52-413)	43 (14-208)
Total	75	76	151	84 (59- 419)	44 (23 -338)

MSL: Mean Standard Length; (): minimum – maximum values; ♂: male; ♀: female

2.4 PARASITOLOGICAL INDEXES STUDIED AND DATA ANALYSIS

The following parasitological indexes: the prevalence, abundance and the mean intensity of infection were calculated according to Bush *et al.* (1997) [25]. The prevalence (Pr) or infection rate defined as the percentage of fish infected by a parasite taxon was classed as very low (Pr < 10 %), low (10 % ≤ Pr ≤ 50 %) or high (Pr > 50 %) corresponding respectively to rare/satellite, secondary/intermediate and frequent/core parasites as previously described by Valtonen *et al.* (1997) [26]. The abundance (A) or mean load was the ratio between the number of cyts or individual worms of a given parasite taxon infecting a given fish species and the total number of fishes examined. The mean intensity (I) was the average number of cysts or worms of a particular parasite taxon among the infected members of fishes found in the sample divided by the number of fishes infected with that parasite. Both the abundance and mean intensity were categorized as very low (A or I <10), low (10 ≤ A or I ≤50), average (50 <A or I ≤ 100) or high (A or I > 100) as previously described by Bilong and Njiné (1998) [27].

The obtained data was submitted to descriptive statistics using Graph Pad Prism 5 software. The association between the epidemiological indexes and risk factors such as host sex, size and weight was measured using the Chi-square (X²) test. The relationships between the risk factors, abundance and mean intensity were obtained from pooled data using analysis of variance (ANOVA). The significant level was set at p < 0.05.

3 RESULTS

3.1 PARASITIC FAUNA OF FISHES IN RIVER NKAM

A total of five parasitic groups of parasitic fauna of fishes (Figure 1) composed of helminthes (monogeneans, nematodes, trematodes, cestodes) and protozoa (myxosporeans) were recorded in the study. Lymphocytosis was observed in *Chrysichthys nigrodigitatus* specimen (Figure 1c).

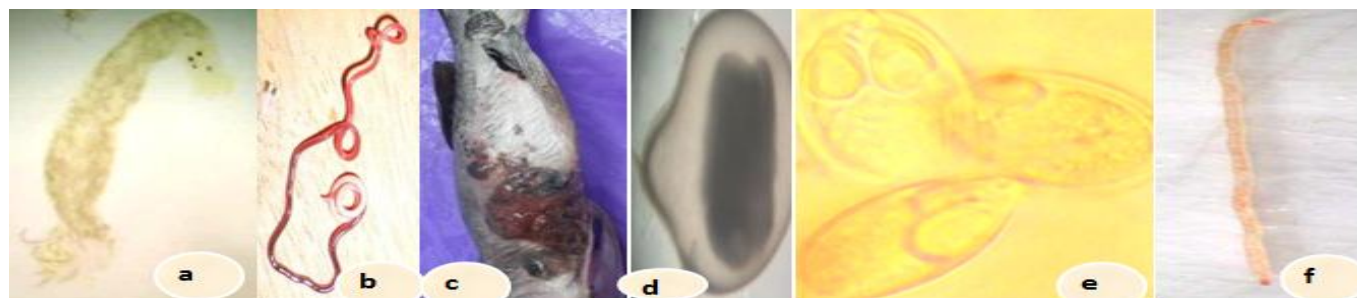


Fig. 1. Photograph of parasites groups and lymphocytosis recorded in fishes captured from River Nkam, Cameroon
a: Monogenean b: Nematode; c: Lymphocytosis in *Chrysichthys nigrodigitatus*; d: Trematode metacercaria; e: Myxospores f: Cestode

The present study showed that all examined fish species were infected by the five groups of parasites (Table 2) recorded except *C. petherici* and *O. niloticus* that did not harbor tapeworms (cestodes).

Table 2. Distribution of parasitic groups according to fish species captured in River Nkam, Cameroon

Fish species	Parasite groups				
	Monogeneans	Trematodes	Cestodes	Nematodes	Myxosporeans
<i>C. petherici</i>	+	+	-	+	+
<i>C. nigrodigitatus</i>	+	+	+	+	+
<i>P. obscura</i>	+	+	+	+	+
<i>O. niloticus</i>	+	+	-	+	+
<i>Clarias jaensis</i>	+	+	+	+	+

+ = present; - = absent

3.2 PREVALENCE OF PARASITIC INFECTIONS OF FISH SPECIES CAPTURED FROM RIVER NKAM

Overall, 110 out of 151 examined fishes were infected (72.85%, (65.26 – 79.31)) with significant difference ($X^2=46.45$; $p < 0.001$) observed between species (Figure 2). *Clarias jaensis* showed a low prevalence (48.38%) compared to the others fish species with the highest value (96.76%) recorded for *C. nigrodigitatus*. The difference between species was statistically significant ($X^2=46.45$; $p < 0.001$).

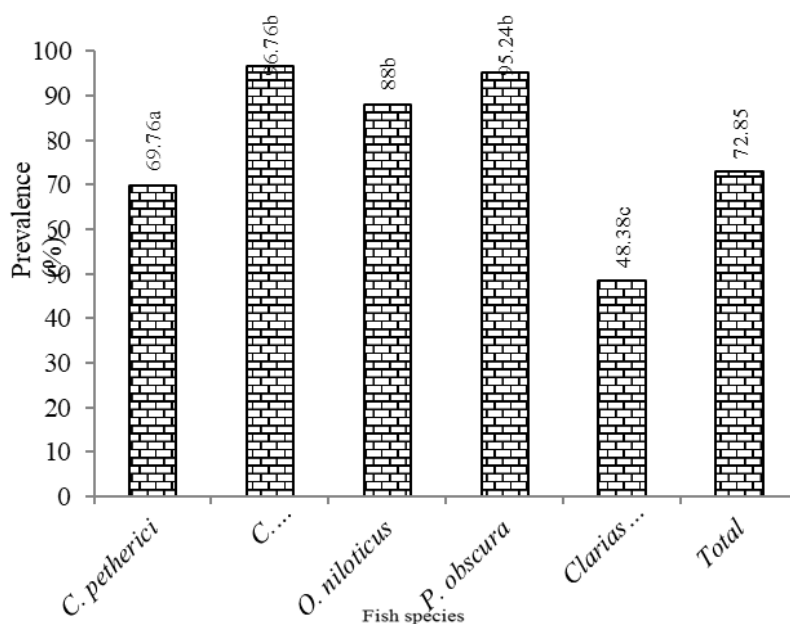


Fig. 2. Prevalence of parasitic infections of fish species captured from River Nkam, Yabassi, Cameroon. a, b, c: Values with different letters differ significantly ($p < 0.001$)

3.3 PREVALENCE OF PARASITIC INFECTION OF FISH SPECIES ACCORDING TO THE PARASITIC GROUPS

The highest prevalence was recorded with monogeneans (61.53%) compared to the other parasite types ($X^2=186.50$; $p < 0.0001$) irrespective of the fish species (figure 3). The prevalence of monogeneans was significantly influenced ($X^2=46.45$; $p < 0.0001$) by the fish species and was about three times more ($p < 0.001$) than trematodes (18.54%) and myxosporeans (19.90%).

Cestodes (2.83%) and nematodes (8.72%) recorded a very low prevalence ($Pr < 10\%$). Myxosporeans were the most prevalent (10.00%) parasitic group after monogeneans in *C. petherici*. For *Clarias jaensis*, the prevalence of myxosporeans infection was two times higher than that of monogeneans (figure 3).

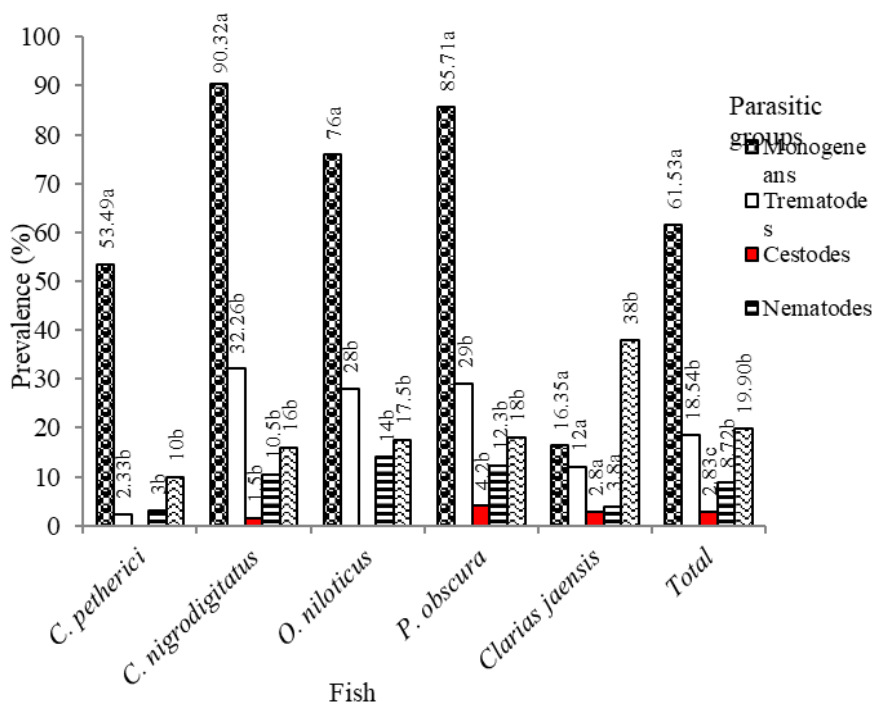


Fig. 3. Prevalence of parasitic group infections of fish species captured from River Nkam, Yabassi, Cameroon. a, b, c: For a fish species, values with different letters differ significantly ($p < 0.05$)

The prevalence of monogeneans (Table 3) was non-significantly higher ($p > 0.05$) in male than female fishes unlike female (100%) *O. niloticus* that showed significantly higher ($X^2=4.94$; $p = 0.01$) rates compared to the males (57.14%).

Table 3. Prevalence of monogenean infections of fish species according to sex captured from River Nkam, Yabassi, Cameroon

Fish species	Fish sex		Total	χ^2	p
	Male	Female			
<i>C. petherici</i>	60 (12)	47.82 (11)	53.49 (23)	0.03	0.85
<i>C. nigrodigitatus</i>	94.12 (16)	85.71 (12)	90.32 (28)	0.62	0.43
<i>O. niloticus</i>	57.14 (8)	100 (11)	76 (19)	4.94	0.01*
<i>P. obscura</i>	88.88 (9)	83.33 (12)	85.71 (18)	0.13	0.71
<i>C. jaensis</i>	20 (3)	12.50 (2)	16.13 (5)	0.32	0.57
Total	62.67 (47)	60.53 (46)	61.59 (93)	2.81	0.09
χ^2	6.03	9.43			
P	0.20	0.051			

(): Number of infected fish *: Significant ($p < 0.05$)

Monogeneans infected all size classes of fishes except *O. niloticus* exceeding 400mm length which showed no parasite infection. Though size did not affect infection rates, the prevalence seemed to increase with fish size.

Table 4. Prevalence of monogenean infections of fish species according to size captured from River Nkam, Yabassi, Cameroon

Fish species	Size classes (mm)				x ²	p
	[100-200[	[200-300[	[300-400[	≥400		
<i>C. petherici</i>	42.86(3)	40 (8)	69.23(9)	100 (3)	5.68	0.12
<i>C. nigrodigitatus</i>	87.50(14)	100 (5)	83.33(5)	100 (4)	1.44	0.69
<i>O. niloticus</i>	66.67(2)	84.61(11)	66.67(6)	/	1.10	0.57
<i>P.obscura</i>	81.81(9)	85.71(6)	100 (1)	100 (2)	0.63	0.88
<i>C. jaensis</i>	9.09(1)	12.50(2)	50 (1)	50 (1)	3.95	0.26
Overall	57.59(29)	64.56(32)	73.85(22)	70(10)	2.36	0.50
x ²	7.35	6.99	-	-		
P	0.12	0.14	-	-		

(): Number of infected fishes /: No infected -: No statistically computable

The prevalence of monogenean infections significantly increased ($p < 0.05$) with weight for *C. petherici* and *C. jaensis* (Table 5).

Table 5. Prevalence of monogenean infections of fish species according to weight captured from River Nkam, Yabassi, Cameroon

Fish species	Weight classes (g)				x ²	p
	[0-100[	[100-200[	[200-300[	≥300		
<i>C. petherici</i>	43.30(18)	100(5)	-	-	8.06	0.04*
<i>C. nigrodigitatus</i>	-	-	90 (18)	88.89(10)	2.78	0.42
<i>O.niloticus</i>	90.90(10)	60(6)	66.67(2)	100(1)	3.20	0.36
<i>P.obscura</i>	81.82(9)	85.57(5)	100(3)	100(1)	0.63	0.88
<i>C. jaensis</i>	7.69 (2)	58.35(3)	-	-	8.92	0,03*

(): Number of infected fishes *: Significant ($p < 0.05$) -: No infected

3.4 RELATIVE ABUNDANCE AND MEAN INTENSITY OF MONOGENEAN INFECTIONS

Overall, monogeneans were the core parasites recorded in this study and their prevalence and intensity of significantly higher ($P < 0.0001$) compared to trematodes, myxosporeans, cestodes and nematodes irrespective of the fish species.

Globally, the abundance of monogeneans showed no significant ($p > 0.05$) difference between fish species (Figure 4).

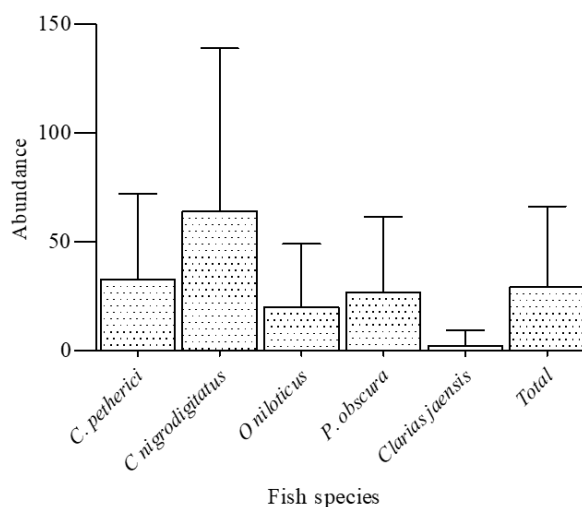


Fig. 4. Relative abundance of monogenean infections on fish species captured from River Nkam, Yabassi, Cameroon

Also, the mean intensity of monogeneans' (Figure 5) was 40.97 ± 43.58 was not affected by the fish species ($F = 0.11$; $p = 0.02$) and ranged from 13.20 ± 18.02 (*C. jaensis*) to 60.00 ± 37.50 (*Chrysichthys nigrodigitatus*).

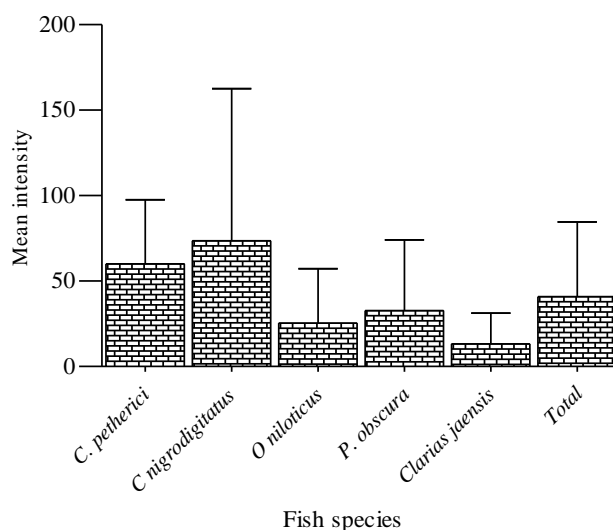


Fig. 5. Mean intensity of monogeneans on fish species captured from River Nkam, Yabassi, Cameroon

The relative abundance of monogeneans was not affected ($p > 0.05$) by the fish sex (Table 6). The relative abundance in *C. petherici* and *C. jaensis*, was two times higher in males than in females contrary to the females harboring more worms in *C. nigrodigitatus*, *O. niloticus* and *P. obscura*.

Table 6. Relative abundance of monogenean infections on fish species according to sex captured from River Nkam, Yabassi, Cameroon

Fish species	Fish sex		F	p
	Male	Female		
<i>C. petherici</i>	42.05±48.57(20)	23.44±30.84(23)	2.31	0.14
<i>C. nigrodigitatus</i>	40.79±40.81(17)	87.53±108.99(14)	2.30	0.14
<i>O. niloticus</i>	12.79±28.17(14)	27.46±31.01(11)	1.53	0.22
<i>P. obscura</i>	20.11±18.03(9)	34.00±50.77(12)	0.61	0.44
<i>C. jaensis</i>	3.00±10.80 (15)	1,31±4.11(16)	0.38	0.60

Abundance ± Standard Deviation (number of examined fishes)

The result on sex related mean intensity of monogeneans infection (Table 7) showed that the females of *C. petherici*, *P. obscura*, *C. jaensis* and *O. niloticus*, harbored more worms contrary to *C. nigrodigitatus*. No significant difference was observed between both sexes except in *C. petherici* ($F = 4.75$; $p = 0.04$) at which parasites burden was higher in females than in males. Irrespective of sex, the lowest mean intensity was observed with *C. jaensis* unlike *C. nigrodigitatus* and *C. petherici* where the males (93.00 ± 110.14) and females (76.46 ± 39.86) respectively recorded the highest values.

Table 7. Mean intensity of monogeneans infections on fish species according to sex captured from River Nkam, Yabassi, Cameroon

	Male	Female		
<i>C. petherici</i>	44.92±29.15(12)	76.46±39.86(11)	4.75	0.04*
<i>C. nigrodigitatus</i>	93.00±110.14(16)	47.58±40.20(12)	1.84	0.18
<i>O. niloticus</i>	22.37±35.05(8)	27.45±31.04(11)	0.11	0.74
<i>P. obscura</i>	22.23±17.51(8)	40.80±53.31(10)	0.85	0.37
<i>C. jaensis</i>	10.50±13.43(3)	15.00±23.38(2)	-	-

Intensity ± Standard Deviation (number of infected fishes) *: Significant ($P < 0.05$) -: no computable

The effect of the fish size classes on the relative abundance of monogeneans is shown in Table 8. The relative abundance was significantly ($p < 0.05$) affected by the size for *P.obscura*, *C. jaensis* and *C. petherici*, contrary to *C. nigrodigitatus* and *O. niloticus*.

Table 8. Relative abundance of monogenean infections on fish species according to size captured from River Nkam, Yabassi, Cameroon

Fish species	Size classes (mm)				F	p
	[100-200[	[200-300[	[300-400[	≥400		
<i>C. petherici</i>	22.14±29.72(7)	19.50±33.72(20)	46.85±41.51(13)	75.33±69.15(3)	2.78	0.05*
<i>C. nigrodigitatus</i>	57.87±82.26(16)	113±154.92(5)	45.33±44.78(6)	74±45.13(4)	0.62	0.60
<i>O. niloticus</i>	8.33±13.57(3)	29.62±37.68(13)	7.89±10.82(10)	-	1.75	0.19
<i>P.obscura</i>	12±12.02(11)	32.14±26.26(9)	27±0(1)	102.50±111.01(2)	4.41	0.01*
<i>C. jaensis</i>	0.09±0.30(13)	1.31±4.99(15)	21±29.69(2)	1±1.41 (1)	11.60	0,004*

Abundance ± Standard Deviation (number of examined fishes) *: Significant ($p < 0.05$) -: No infected

Overall, the size of fish size had no effect ($p > 0.05$) on the mean intensity of monogeneans (Table 9) except for *Parachanna obscura* which showed significantly ($F = 3.67$; $p = 0.03$) higher mean intensity in older and larger fish ($SL \geq 400$ mm) compared to other size classes.

Table 9. Mean intensity of monogeneans infections on fish species according to size captured from River Nkam, Yabassi, Cameroon

Fish species	Size classes (mm)				F	P
	[100-200[	[200-300[	[300-400[	≥400		
<i>C. petherici</i>	51.67±19.04(3)	48.75±38.17(8)	67.67±31.62(9)	75.33±69.15(3)	0.55	0.65
<i>C. nigrodigitatus</i>	66.14±89.96(14)	113.00±154.92(5)	54.40±43.48(5)	74.00±45.13(4)	0.41	0.74
<i>O. niloticus</i>	12.50±16.26(2)	35.00±38.9(11)	11.83±11.46(6)	/	1.23	0.31
<i>P.obscura</i>	14.67±11.69(9)	37.50±24.22(6)	27.00±00.00(1)	102.50±111.02(2)	3.67	0.03*
<i>C. jaensis</i>	-	-	-	-	-	-

Intensity± Standard Deviation (number of infected fishes) *: significant ($p < 0.05$) /: No infected -: No considered

Overall, the relative abundance of monogeneans according to fish (Table 10) was significantly ($p < 0.05$) influenced by weight of fish except for *O. niloticus* and *C. nigrodigitatus*.

Table 10. Relative abundance of monogenean infections on fish species according to weight captured from River Nkam, Yabassi, Cameroon

Fish species	Weight classes(g)				F	p
	[0-100[	[100-200[	[200-300[	≥300		
<i>C. petherici</i>	14.29±24.65(14)	33.63±38.42(24)	91±53.86(5)	9±0 (3)	4.86	0.006*
<i>C. nigrodigitatus</i>	69.05±104.49(20)	63.67±45.03(6)	49.50±16.26(2)	65.67±74.40(3)	0.03	0.99
<i>O.niloticus</i>	23.72±28.63(11)	18.10±36.66(10)	9.33±13.65(3)	11±0(1)	0.20	0.89
<i>P.obscura</i>	12±12.02(11)	28.50±26.76(6)	35±16.52(4)	181±0 (2)	26.81	0.0001*
<i>C. jaensis</i>	0.06±0.24(18)	0.13±0.35(8)	20.67±21(3)	1±1.41(2)	11.60	0.0001*

Abundance± Standard Deviation (number of examined fishes) *: significant ($p < 0.05$)

Though, weight of *P. obscura* significantly ($p < 0.05$) affected by the mean intensity of monogeneans infection, weight did not influence the mean intensity of monogeneans on the other fish species in this study (Table 11).

Table 11. Mean intensity of monogeneans infections on fish species according to weight captured from River Nkam, Yabassi, Cameroon

Fish species	Weight classes (g)				F	p
	[0-100[	[100-200[	[200-300[	≥300		
<i>C. petherici</i>	53.83±24.68(18)	71.50±50.39(12)	-	-	1.83	0.17
<i>C. nigrodigitatus</i>	/	/	76.72±99.99(18)	98.50±33.26(10)	0.12	0.94
<i>O. niloticus</i>	26.10±29.01(10)	30.17±44.52(6)	14.00±15.56(2)	11.00±00.00(1)	0.18	0.91
<i>P.obscura</i>	14.67±11.69(9)	34.20±25.53(5)	35.00±16.52(3)	181.0±00.00(1)	27.41	0.0001*
<i>C. jaensis</i>	-	-	-	-	-	-

Intensity ± Standard Deviation (number of infected fishes) *: significant (p < 0.05) /: No infected -: No considered

4 DISCUSSION

The parasitic fauna of fishes from the lower course of the Nkam River composed of five groups (monogeneans, nematodes, trematodes, cestodes, protozoa) had been observed in freshwater fishes worldwide. Indeed, monogeneans, crustaceans (copepods, leaches) have been identified in cultured common carp (*Cyprinus carpio*) (Farman *et al.*, 2015 [6]) as well as protozoa (ciliates, myxosporeans) and monogeneans in carp fingerlings of *Catla catla*, *Cirrhinus mrigala*, *Labeo rohita*, *Channa punctatus*, and *Cyprinus carpio* (Habib *et al.*, 2019 [28]) in Pakistan. Nematodes (*Contracaecum* spp., *Camallanus* spp., *Eustrongylides* spp.), trematode (*Clinostomum* spp.), cestodes (*Ligula intestinalis*, *Proteocephalus* spp.) in the body cavities and gastrointestinal tracts of *Oreochromis niloticus* (Nile Tilapia), *Clarias gariepinus* (African Catfish) and *Cyprinus carpio* (common carp) have been reported in Lake Lugo (Hayke) in Northeast Ethiopia (Amare *et al.*, 2014 [7]). Also, trematode (*Clinostomum* sp.), nematodes (*Cithariniella petterae*, *Procamallanus laeiconchus*, *Synodontisia thelastomoides*) and cestodes (*Stoeksia pujehuni* and *Lytocestus* sp.) have been detected on fishes *Synodontis schall* and *Synodontis nigrita* in South Benin (Dougnon *et al.*, 2012 [29]). In Cameroon, several species of monogeneans (Nack *et al.*, 2018 [10]; Nack *et al.*, 2020 [11]) and myxosporeans (Fonkwa *et al.*, 2020a [30]) have been identified in fishes from natural and controlled environments, as well as nematodes (*Eustrongylides* spp., *Contracaecum* spp.) in *Clarias gariepinus* and *Clarias jaensis* captured from River Nkam (Domwa, 2012 [31]).

The scarcity of acanthocephalans in the fishes examined in this study (done at the lower course of River Nkam) and that of Nack *et al.* (2022) [32] in the upper course of River Nkam is not clear. The unsuitability of the physicochemical characteristics of River Nkam for survival of intermediate hosts (arthropods) and natural defenses against acanthocephalans the fish species in the River have been suggested. Crustaceans (copepods) were absent in fishes from the lower course of the River Nkam contrary to the findings of Nack *et al.* (2022) [32] who outlined the infection of the fish *Labeobarbus batesii* by copepods in the upper course of the River at about the same period of the year as the present study. Copepods may be accidental parasites for *Labeobarbus batesii*. Variation of the water physicochemical characteristics between the upper and lower courses of the River Nkam was also suggested for the absence of copepods in the lower course of the River.

The infections on the five fish species of the lower course of River Nkam could be due to the fact that the parasites share the same physicochemical environment. The fishes *Chrysichthys nigrodigitatus*, *Parachanna obscura* and *Clarias jaensis* harboured the highest number of parasitic groups (five parasite taxa over 5 five) suggest that they offer more nutritional resources to parasites and suitable biotope for their survival contrary to *Ctenopoma petherici* and *Oreochromis niloticus* which were infected only by four (80%) parasite groups. Multiple and various co-infections were observed in fishes revealed that pathogenic effects are not caused by single parasite species infection which agrees with Sitjà-Bobadilla (2008) [33] who reported that polyparasitism is due to the lack of competition between parasites. Though few single infections were observed in this study, parasites infecting a fish species have different metabolic and nutritional pathways since competition would result in elimination (migrations) of some parasites due to host changes. As per the Gause's principle, two or more parasites taxa in a given biotope will coexistence if have different exploitation patterns for the resource. Also, competitive exclusion arises when there is an overlap of the ecological niches and when the resource supply is greater than the demand. The parasites identified in this study are phylogenetically distant (Different taxa) thus less competitive. The wide host range observed with monogeneans, nematodes, trematodes and myxosporeans (infection of all the five fish species (100%)) was associated to the metabolic pathways of the parasites which enabled them to adapt to various biotopes.

The present work carried out in a natural environment showed a high overall prevalence (72.85%) similar to the findings of Nack *et al.* (2020) [11] who recorded 85% of monogenean (adult *Quadriacanthus* sp) infection of *Clarias camerunensis* captured in Lep Mōōga stream of the River Nyong watershed (Southern Cameroon). However, low parasite prevalence in lower courses

of natural environments have been reported by Amare *et al.* (2014) [7], Ali (2009) [18] and Habib *et al.* (2019) [28]. Low prevalence and transmissibility of parasites usually observed in the natural tributary milieu is due to the balance established during the evolution of the host / parasite system (Euzet and Pariselle, 1996 [34]). While fluctuation of the prevalence from low to high values in natural environments are linked to geographical differences of and fish species. Contrary to the upper course of River Nkam, a low overall prevalence (48%) was rather noted in the upper course (Nack *et al.*, 2022 [32]). Pollution of the lower course of River Nkam with agricultural by products (organic waste) of local residents which provided favourable conditions for the proliferation of intermediate hosts and parasites as well as increase transmissibility of fish parasites played major roles in the high prevalence observed in the present study.

Activities that increase contact between fishes such as confinement of fish during breeding situation, harvesting of fish, high stocking density, muddy vase, low oxygenation and low depth of water usually cause increase in the prevalence of infections (Nack *et al.*, 2020 [21]; Fonkwa *et al.*, 2020 [30]). Farming practices can modify the water physico-chemical characteristics resulting in favorable conditions for disease outbreaks with massive fish deaths and important economic losses due to stress and weaning of the immune system of fishes (Boungou *et al.*, 2013 [35]). The feeding habit of fish species and amount of ingested food can enhance the encounter between them and intermediate hosts (Ali, 2009) [18].

Overall, low to moderate relative abundances and mean intensities of monogeneans infection were observed in the study. Low abundance of *Quadriacanthus* sp (monogenean) in *Clarias camerunensis* in the River Kellé (Nack *et al.*, 2020 [11]) and low overall mean intensity of monogeneans of fishes in the upper course of the River Nkam by Nack *et al.* (2022 [32]) have been reported.

The present study showed that sex of fishes did not influence the parasitological indices. Previous studies of monogenean infections of *Parachanna obscura* in Lake Ossa (Littoral- Cameroon) (Nack *et al.* 2018 [10]), *Oreochromis niloticus*, *Cichlidogyrus thurstonae*, *C. halli* and *C. tilapiae* from Melen fish station in Yaounde-Cameroon (Tombi *et al.*, 2004 [36]) did not observe any influence of sex on parasitological indices. No sex influence on the infestation rates *Dactylogyrus simplex* and *D. maillardi* on *Barbus martorelli* while in the Padda Dam (South Africa) (Tombi and Bilong, 2004 [37]) and monogeneans *Cichlidogyrus philander* on *Pseudocrenilabrus philander philander* (Le Roux *et al.*, 2011 [38])

However, the prevalence and mean intensity were significantly higher in females than in males of *Oreochromis niloticus* and *Ctenopoma petherici*. Female fish especially gravid ones need more nutrients for the reproduction purposes and have comparatively reduced immunity. This is contrary to [36] Tombi *et al.* (2004) had reported that prevalence and mean intensity of monogenean *Scutogyrus longicornis* is sex dependent with the parasites being significantly more in the male than female fishes.

Concerning the effect of the fish size classes on the indexes, two situations were reported. In the first situation, monogeneans were evenly distributed between almost all fish size classes. In the second situation, the abundance and mean intensity were size dependent. In fact, in *Parachanna obscura*, *Clarias jaensis* and *Ctenopoma petherici*, the abundance was remarkably affected by the size while in *Parachanna obscura*, the mean intensity was significantly higher in older/larger fish as compared to smaller/younger ones.

The effect of the fish size on the parasitological indices in the present study is similar to Nack *et al.* (2018) [10] and Boungou *et al.* (2008) [39] who reported that the size of *O. niloticus* in the dam of Loumbila (Ouagadougou) had no influence on the prevalence of monogenean gill parasites. The study also agrees with the finding of Tombi *et al.* (2004) [36] and Amare *et al.* (2014) [7] who observed that larger fishes were heavily parasitized than the smaller ones. Bigger and older fishes provide greater surfaces areas for the colonization and of accumulation of parasites (Cable *et al.*, 2002 [40], Bilong Bilong and Tombi, 2004 [41], Ibrahim, 2012 [42]). Also, some bigger fishes feed on the smaller ones as well as eat huge amount of food compared to smaller ones. Similar to the findings related to the size of the fish, the study showed significant increase parasitic prevalence (*C. petherici*, *P. obscura*, *Clarias jaensis*), relative abundance (*P. obscura*, *C. jaensis*, *C. petherici*) and mean intensity (*P. obscura*) with weights of the fish.

5 CONCLUSION

The parasitic fauna of fishes from the lower course of River Nkam was made up of five groups represented mostly by monogeneans as well as trematodes, myxosporeans, cestodes and nematodes. The overall prevalence of infection was high though the relative abundance and mean intensity of monogeneans infections ranged from low to average. Various influences of the parasitic prevalence, relative abundance and mean intensity due to fish species, sex, size and weight were observed in the study. The study provides relevant epidemiological data for the control of parasitic diseases of fishes in River Nkam and recommends quarantining and treatment of parasites before farming and harvesting purposes.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors have no conflicts of interest to declare.

REFERENCES

- [1] FAO (2016). The state of world fisheries and aquaculture. Contributing to food security and nutrition for all. 244p.
- [2] G. Fonkwa, Nack J, K.M. Kouam, E.M. Tomedi, J. Tchoumboue. Some epidemiological aspects of Myxosporean infections in *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) and *Hemichromis fasciatus* (Peters, 1857), two cultured Cichlid fishes in the West - Cameroon. *International Journal of Aquaculture and Fishery Sciences*. Vol.8, n°1 pp 001-009, 2022.
- [3] MINEPIA (Cameroon, Ministry of Livestock, Fisheries, and Animal Industries). 2018. Rapports d'études et de statistiques: Plan de développement durable de l'aquaculture au Cameroun. 61 p.
- [4] E.T.M. Tomedi, T.C. Tekounegning, E.T. Efole, M. Kenfack, J. Tchoumboue. Population structure, condition factor, length-weight and length age relationships of *Labeobarbus batesii* (Boulanger, 1903) in Mbo flood plain in Western Region of Cameroon. *International Journal of Aquaculture*, vol.4 n°19 pp113-117, 2014.
- [5] D. Nounagnon, G. Adam, E.J.E. Siko, C. Christophe, V. Florence, R. Tareck. Pattern and pathophysiological effects of myxosporean infection in the gills of Tilapia species (Teleostei: Cichlidae) from Bénin. *International Journal of Multidisciplinary and Current Research*, vol.4 pp 1229-1238, 2016.
- [6] U.D. Farman, F.K. Muhammad, K. Rasool, U. Safir. Prevalence of Parasites in Fresh Water Pond Fishes from District DI Khan, Pakistan. *The Journal of Zoology Studies*. vol.2 n°2 pp 47-50, 2015.
- [7] Amare A, Alemayehu A, Aylate A. Prevalence of Internal Parasitic Helminthes Infected *Oreochromis niloticus*, *Clarias gariepinus* and *Cyprinus carpio* in Lake Lugo (Hayke), Northeast Ethiopia. *Journal of Aquaculture Resource and Development*. Vol. 5 pp1-5, 2014.
- [8] M. Longshaw, P.A. Freak, A.D. Nunn, I.G. Cowx, S.W. Feist. The influence of Parasitism on fish population success. *Fisheries Management and Ecology*.vol.17 pp 246-434, 2010.
- [9] E.M. Hessen, M.L. Zamzame. *Myxobolus* sp. a possible new opportunistic parasite in immuno compromised patients in Ismailia. *Journal of the Egyptian Society of Parasitology*. Vol. 34 pp 925-930, 2004.
- [10] J. Nack, Massende, M.D.F. Messu. Distribution spatiale de deux monogènes du genre *Protoancylodiscoides* Paperna, 1969 (Dactylogyridea, Ancyrocephalidae) parasites branchiaux de *Chrysichthys auratus* (Geoffroy Saint-Hilaire, 1808) (Siluriformes, Claroteidae) dans le Lac Ossa (Littoral -Cameroun). *Journal of Applied Biosciences*. Vol.121 pp 12157-12167, 2018.
- [11] J. Nack, B.E.D. Bassock, J. Mbondo, B.C.F. Bilong. Parasitism of *Clarias camerunensis* Lönnberg, 1895 (Siluriformes, Clariidae) by monogeneans in a dense tropical humid forest (Southern Cameroon-Africa) gives more arguments for fish quarantine in breeding using native species. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. vol.29, n°3 pp 456-464, 2020.
- [12] F.G.B. Lekeufack, K.C. Mala, D.B. Feudjio, A. Fomena. Prevalence and mean intensity of *Myxobolus* spp. parasitizing *Oreochromis niloticus* in Cameroon. *International Journal of Biology*. vol. 11 n°2 pp 35-46, 2019.
- [13] G. Fonkwa, K.M. Kouam, T. Tchuinkam, E.M. Tomedi, J. Tchoumboue. *Myxobolus* (Myxosporea: Myxobolidae) Polyinfection patterns in *Oreochromis niloticus* in Adamawa - Cameroon. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*. vol. 9 n°2 pp 123-130, 2021.
- [14] P.M. Akombo, J.I. Atilé, I.A. Adikwu, P.A. Araoye. Morphometric measurements and growth patterns of four species of the genus *Synodontis* (Cuvier, 1816) from lower Benue River, Makurdi, Nigeria. *International Journal of Biological Research*. Vol.1 n°4 pp 059-065, 2013.
- [15] E.M. Mbakane, W.J. Luus-Powel, M.M. Matla, J. Theron. Three dactylogyrids (Dactylogyridae bychowsky 1933: Monogenea) from selected cyprinid species of the Nwanedi-Luphephe Dams in the Limpopo Province, *South Africa*. *Journal of the South African Veterinary Association*. vol.81 pp 186-187, 2010.
- [16] Olaosebikan B.D., Raji A. Field guide to Nigerian freshwater fishes, 2nd edn. Federal College of Freshwater Fisheries Technology. New Bussa Nigeria. 47p.
- [17] Stiassny MLG, Teugels GG, Hopkins CD. 2007. Poissons d'eaux douces et saumâtres de la Basse Guinée, Ouest de l'Afrique Centrale. Collection faune et flore tropicales, IRD (éd.), Paris I: 797p, 2004.
- [18] B.A.Z Ali. Prevalence and Densities of *Contracaecum* sp. Larvae in *Liza abu* (Heckel, 1843) from Different Iraqi Water Bodies. *Journal of King Abdulaziz University: Marine Science*. vol. 20 pp 3-17, 2009.
- [19] Noga EJ. 2010. Fish disease: Diagnosis and treatment. 2nd ed. *Wiley-Blackwell Publication*, USA.
- [20] Assefa A, Abunna F. Maintenance of Fish Health in Aquaculture: Review of Epidemiological Approaches for Prevention and Control of Infectious Disease of Fish. *Veterinary Medicine International* 2018, (Article ID 5432497): 10. DOI: 10.1155/2018/5432497.pp: 1 – 10, 2018.

- [21] M.Y. Manbe, A.K. Mohammed, I. Abdulfatai, U. Muaz, K. Hussaini. Prevalence of protozoan parasites in some freshwater fishes of Dangana Lake Lapai, Niger State Nigeria. *International Journal of Veterinary Sciences and Animal Husbandry*. vol. 5 n°2 pp 13-16, 2020.
- [22] Yanong R.P.E. Nematode (roundworm) infection in fish 1st edition University of Florida, IFAS Cooperatives Extension, pp 1-10, 2002.
- [23] Chandra K.J. Fish Parasitology. *Lima Printing Press*, Mymensingh. 176p, 2004.
- [24] Pouder DB, Curtis EW, Yanong RPE. Common freshwater fish parasites pictorial guide. Digenean trematodes (FA112) and nematodes (FA113), 2005.
- [25] A.O. Bush, K.D. Lafferty, J.M. Lotz, AW Shostak. Parasitology meets ecology on its own terms. *The Journal of Parasitology*. vol. 83, pp 575 – 583, 1997.
- [26] ET Valtonen, JC Holmes, M Koskivaara. Eutrophication, Pollution and Fragmentation: Effects on Parasite Communities in Roach (*Rutilus rutilus*) and Perch (*Perca fluviatilis*) in Four Lakes in Central Finland. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 54, pp 572 –585, 1997.
- [27] B.C.F. Bilong et T. Njine. Dynamique des populations de trois monogènes parasites de *Hemichromis fasciatus* Peters, 1858 dans le lac municipal de Yaoundé, et intérêt possible en pisciculture intensive. *Annale Faculté des sciences, Université de Yaoundé I., Série Sciences Naturelles et Vie*, vol. 34, n°2 pp 2954 -303, 1998.
- [28] S.S. Habib, S. Nazi, A. Sadeeq, M.Z. Iqbal, M. Ali, R. Hanifi, M.A. Maliki, N. Khan and A. Mushtaq. Prevalence of ectoparasites in carp fingerlings of Chashma Lake in District Mianwali Punjab Province, Pakistan. *International Journal of Biosciences*, vol.14, n°5 pp 468-474, 2019.
- [29] J. Dougnon, M. Elie, D.D. Florian, H. Jédirfort, L. Philippe, S. Nestor. Cutaneous and Gastrointestinal Helminth Parasites of the Fish *Synodontis schall* and *Synodontis nigrita* (Siluriformes: Mochokidae) from the Lower Ouémé Valley in South Benin. *Research Journal of Biological Sciences*, vol.78 pp 320-326, 2012.
- [30] G. Fonkwa, K.M. Kouam, E.M. Tomedi, J. Tchoumboue. Epidemiology of myxosporean infections, in economically important and dietary freshwater fishes in the sudano-guinean zone of Cameroon. *International Journal of Oceanography and aquaculture*, vol.4 n°2, 1-15, 2020.
- [31] M. Domwa. Prévalence et intensité d’infestation de *Clarias jaensis* (Boulenger, 1909) et *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) par *Eustrongylides* et *Contraecaecum* dans la plaine des Mbô au Cameroun. Mémoire de Master of Science en Biotechnologie et production Animale. FASA, Université de Dschang, Cameroun. 82 p, 2012.
- [32] J. Nack, G. Fonkwa, N.J.P. Fanda, E.M. Tomedi, J. Tchoumboue. Inventaire et profil épidémiologique des parasites de cinq espèces de poissons à potentiel piscicole dans le cours supérieur du fleuve Nkam (Littoral Cameroun). *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, vol.32, n°1pp 40-56. 2022.
- [33] A. Sitjà-Bobadilla. Fish immune response to myxozoan parasites. *Parasite*, vol.15, pp 420 – 425, 2008.
- [34] L. Euzet and A. Pariselle Le parasitisme des poissons siluroïdes: un danger pour l’aquaculture? *Aquatic Living resources*, vol. 9 pp 145 – 151,1996.
- [35] M. Bounkou, Y. Sinaré, K. Mano, G.B. Kabré. Parasitic Copepods (Arthropoda, Crustacea, Copepoda) from fishes in Burkina Faso, Africa. *International Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol.2 pp 58-64, 2013.
- [36] J. Tombi, J.F. Akoumba, C.F. Bilong Bilong. The Monogenean Community on the Gills of *Oreochromis niloticus* from Melen Fish Station in Yaoundé, Cameroon. *International Journal of Modern Biological Research*, vol.2 pp 16-23, 2004.
- [37] J. Tombi, B.C.F. Bilong. Distribution of gill parasites of the freshwater fish *Barbus martorelli* Roman, 1971 (Teleostei: Cyprinidae) and tendency to inverse intensity evolution Between Myxosporidia and Monogenea as a function of the host age. *Revue d’Elevage et Médecine Vétérinaire des Pays tropicaux*, vol. 57 n°1-2 pp 71-76, 2004.
- [38] L.E. Le Roux, A. Avenant-Oldewage, F.C. Walt van der. Aspects of the ecology of *Cichlidogyrus philander* collected from *Pseudocrenilabrus Philander philander* from the Padda Dam, Gauteng, South Africa. *African Zoology*, vol.46 pp 103-116, 2011.
- [39] M. Bounkou, G. B. Kabre, A. Marques, L. Sawadogo. Dynamics of population of Five Parasitic Monogeneans of *Oreochromis niloticus* Linné, 1757 in the Dam of Loumbila and possible Interest in intensive pisciculture. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, vol. 11, n°10 pp 1317-1323, 2008.
- [40] J. Cable, R.C. Tinsley and P.D. Harris. Survival and embryo development of *Gyrodactylus gasterostei* (Monogenea: Gyrodactylidae). *Parasitology*, vol. 124 pp 53-68, 2002.
- [41] B.C.F. Bilong, et J. Tombi. Hétérogénéité du système branchial de *Barbus martorelli* (Poisson Cyprinidae) et modèle de croissance. *Journal of Cameroon Academy of Science*, vol.4 n°3 pp 211-218, 2004.
- [42] M.M. Ibrahim. Variation in parasite infracommunities of *Tilapia zillii* in relation to some biotic and abiotic factors. *International Journal of Zoological Resources*, vol. 8 n°2, 59-70, 2012.

Agro-morphological Evaluation and Genetic Variability Analysis of 11 Sesame Lines Under Sudano-Sahelian Conditions

Sidibé Hamadou¹, Konaté Moussa N'golo², Konaté Moumouni¹, Ouédraogo Daouda¹, Akounda Badjibassa², and Sawadogo Mahamadou³

¹Laboratoire de génétique et de biotechnologies végétale, Département de production végétale, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), BP 10 Koudougou 01, Koudougou, Burkina Faso,

²Laboratoire Sciences de la Vie et de la Terre (LASVT), Ecole Doctorale Sciences et Technologies, Université Norbert ZONGO, BP 376 Koudougou 01, Koudougou, Burkina Faso

³Laboratoire Biosciences, Ecole Doctorale Sciences et Technologies, Université Joseph KI-ZERBO, BP 7021 Ouagadougou 03, 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: Sesame (*Sesamum indicum* L.) is a vital oilseed crop extensively cultivated in tropical and subtropical regions. This study aimed to assess the agro-morphological performance and genetic variability of 11 sesame lines under the Sudano-Sahelian conditions of Burkina Faso. Conducted over three years at the INERA/Saria's experimental station, 12 phenological and agronomic traits were evaluated using a randomized block design with three replicates. Results revealed significant differences among lines for most traits, including flowering time (DFLS), capsule length (HFCI), and yield components. Heritability values were high for parameters such as plant height at maturity (62.24%) and height of the first capsule insertion (79.31%), indicating their strong genetic influence. Yield variability was substantial, with the Wollega line achieving the highest mean yield of 1612.82 kg/ha. This analysis provides critical insights into the genetic potential and adaptation of sesame lines, laying the groundwork for future breeding programs to enhance productivity and resilience in semi-arid regions.

KEYWORDS: sesame, lines, performance, yield, Burkina Faso, diversity, heritability.

1 INTRODUCTION

Sesame (*Sesamum indicum* L.) is the most widely used oilseed plant by humans, according to [1]. It belongs to the order Lamiales, the family Pedaliaceae, and the genus *Sesamum* [2]. Sesame is primarily cultivated in the tropical and subtropical regions of Asia, Africa, and South America [3]. Global production of sesame seeds has gradually increased from 2 million tons per year in the 1970s to 3.7 million tons per year in 2010, and by 2014, it reached 6.3 million tons. Burkina Faso, like other countries, is not lagging behind. The area planted with sesame increased from 120,750 hectares in 2011 to 400,255 hectares in 2015, and production rose from 84,759 tons to 235,079 tons [4]. In Burkina Faso, as elsewhere, sesame is cultivated for its seeds, which have high nutritional value and multiple uses. In fact, sesame seeds contain large amounts of oil (46 to 52%), protein (25%), vitamins (B, E), and minerals (Ca, P, Mg) [5]. It is also an excellent rotation crop and a good soil improver due to its roots, and its cake constitutes an excellent fertilizer. Despite the very important role of sesame in creating added value and sources of income for rural and urban populations in Burkina Faso, yields are decreasing each year in various production systems. It has become more necessary than ever to explore ways and means to improve the available local lines. This study, conducted over three consecutive years in the Central-West region of Burkina Faso, aimed to evaluate the agronomic morpho-physiological performance of 11 sesame lines of diverse origins and to determine the heritability of each studied parameter for each line.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 STUDY AREA

The trials were conducted at the INERA/Saria experimental station during the 2021, 2022, and 2023 agricultural campaigns. It is located between latitude 12° 16' North and longitude 2° 9' West, at an altitude of 300 m. The climate of Saria is Sudano-Sahelian type, and the soils are primarily ferruginous tropical soils, either leached or non-leached, derived from granite bedrock.

2.2 PLANT MATERIAL

Eleven sesame lines of diverse origins were selected for this study. The selected lines were chosen based on their varying characteristics, including yield potential, growth habits, and adaptability to local conditions. The origin and cycle of the lines are presented in Table 1.

Table 1. Origins and cycles of sesames lines

Lines	Origin	Cycles(days)
Banamba-2	MALI	110
Namsubani	MALI	100
GMP-3	BURKINA FASO	95
KDG-3	BURKINA FASO	91
SMK -2	BURKINA FASO	90
SMK-3	BURKINA FASO	90
SMK-8	BURKINA FASO	90
SMK-9	BURKINA FASO	90
SMK-12	BURKINA FASO	90
S-42	INDIA	88 to 90
Wollega	ETHIOPIA	115

2.3 EXPERIMENTAL DESIGN

The experimental design used was a completely randomized Fisher block with three (03) replications. The planting was done in four (04) rows spaced 4 m apart, with a distance of 60 cm between the rows and 30 cm between the plant clusters. Two (02) weeks after sowing, 2 plants were removed from each cluster.

2.4 DATA COLLECTION

A total of twelve (12) agro-morphological parameters were measured. The phenological parameters measured were: the date of the first leaf stage (DFLS), the date of 50% flowering (FLO50), the number of nodes before the first capsule (NN), the average internode length (Len), the height of the first capsule insertion (HFCl), and the plants height at maturity (HPM). The agronomic parameters measured were the number of branches per plant (BN), the average capsules length (CL), the number of capsules per plant (NCP), the number of seeds per capsule (NSC), the weight of 1000 seeds (SW1000), and the average yield per line (YIELD).

2.5 STATISTICAL ANALYSIS

The collected data were analysed using R software [6]. Lines were characterized through one-way analysis of variance (ANOVA), with pairwise comparisons conducted using Student–Newman–Keuls (SNK) mean structuring tests. A significance level of 5% was applied to compare the parameters across groups. To visually assess similarities and differences between lines based on agronomic parameters, a cluster heatmap was generated. Furthermore, genotypic and phenotypic variances (GV and PV), genotypic and phenotypic coefficients of variation (GCV and PCV), broad-sense heritability (H^2), and expected genetic gain (GA) were calculated according to the formulas provided by [7], [8] and [9] as summarized in Table 2.

Table 2. Formulas and meaning of Genetic Parameters for Estimating Variability and Selection Potential

Parameters	Formulas	Meaning of terms
Genotypic Variance (VG) Phenotypic Variance (VP) Broad-sense heritability (H ²)	VG = (MSG – MSE) /r VP= VG + (MSE/r) = MSG/r H ² (%) = (VG/VP) *100	MSG: Mean square of genotypes MSE: Mean square error r: number of replications
Genotypic coefficient of variation (GCV) Phenotypic coefficient of variation (PCV)	GCV (%) = (√VG/X) *100 PCV (%) = (√VP/X) *100	√VG : Standard deviation of genotypic variance √VP : Standard deviation of phenotypic variance
Expected genetic gain (GA)	GA = H ² *√VP*I	I : constant. With Selection coefficient of 5%, I est 2.06
Expected genetic gain relative to the mean of the trait [GAx (%)]	GAx (% mean trait) = (GA/X)*100	X : mean of the trait

3 RESULTS

3.1 ANOVA RESULTS

The ANOVA results of phenological and agronomic parameters are shown on Table 3 and Table 4 respectively. A highly significant difference (P<0.0001) was noted between the lines for all the phenological parameters observed. The date of first leaf stage DFLS varied from 35 to 40 Day after sowing (DAS). The earlier line for DFLS and Flo50 was SMK-8 line with 35,11±2,09 DAS and 47,78±4,09 DAS respectively. For the number of nodes before the first capsule (NN), the Banamba-2 and Wollega lines recorded the highest mean values, with 6.36±0.38 nodes and 6.73±0.57 nodes respectively. In addition, the Banamba-2 and GMP-3 lines had the best performances for the length of the internodes (Len) with 5.60±0.43cm and 5.99±0.66cm respectively. With regard to the HFCI parameter, Banamba-2 line recorded the highest average value (45.98±2.34cm), while Namsubani and Wollega lines performed best for the height of mature plants (HPM), with an average of at least 100 cm.

Table 3. Variation in mean values of phenological parameters

Lines	DFLS	Flo50	NN	Len	HFCI	HPM
Banamba2	37.89±2.8	51.22±4.89	6.36±1.14	5.59±1.29	45.98±7.02	97.13±8.78
GMP3	36.22±1.48	49.56±3.28	5.51±1.07	5.99±1.99	43.84±7.94	99.29±12.95
KDG3	35.33±2.18	48.44±4.72	5.68±0.88	4.82±1.25	35.77±5.86	91.4±11.09
Namsubani	35.89±2.37	49±4.82	5.67±1.1	5.18±1.83	42.51±8.13	101.96±15.11
S42	36±2.06	49.44±4.48	5.98±0.98	4.94±1.69	39.56±10.07	95.24±14.85
SMK12	35.67±2.4	48.67±5.43	5.69±1.2	4.17±1.28	34.93±8.21	93.77±13.86
SMK2	35.89±1.96	49.11±4.78	5.13±1.17	4.02±1.18	29.19±6.07	89.03±11.88
SMK3	35.89±2.57	49.89±5.25	5.43±1.08	4.41±1.3	30.81±7.12	81.39±12.73
SMK8	35.11±2.09	47.78±4.09	5.4±1.11	4.62±1.63	32.44±9.04	85.67±12.15
SMK9	36±1.94	48.67±3.57	5.35±1.09	4.77±1.26	32.17±6.82	87.56±10.79
Wollega	39.56±2.79	52.44±1.81	6.73±1.71	4.41±1.24	42.44±10.21	100.88±8.54

DFLS: date of the beginning of floral bud formation; FLO50: date of 50% flowering; NN: number of nodes before the first capsule; Len: average internode length; HFCI: height of insertion of the first capsule; HPM: height of plants at maturity

Table 4 shows the analysis of variance at the 5% threshold of the mean values of the yield components. A significant difference (P=0.012) was observed for the number of seeds per capsule (NSC); a highly significant difference (P=0.003) for the number of capsules per plant (NCP) and a very highly significant difference (P<0.0001) for the number of branches per plant (BN) and the length of capsules (CL). In addition, very highly significant difference was recorded for 1000 seeds weight and the average seeds yield. The Banamba-2 line recorded the highest mean value (4.20±1.31) for the number of branches per plant (BN) ; the KDG-3 line performed best for the number of capsules per plant (NCP) with 83.62±35.70 capsules ; for the number of seeds per capsule (NSC), lines KDG-3 and Wollega recorded the highest average values with at least 60 seeds ; however, a

minimum average value of 2 cm was observed for the length of the capsules (CL), depending on the line. ANOVA results showed that yield components were significant across lines. The results of the analysis of variance (at the 5% threshold) on 1000-seed weight showed a significant difference ($P=0.000$) between the lines. The Namsubani line had the highest mean value at $3.12\pm0.30g$. With regard to seed yield, a highly significant difference ($P<0.0001$) was observed between the lines. The Wollega line recorded the best performance with an average value of $1612.82\pm721.43Kg/ha$.

Table 4. Variation in average values of yield components

Lines	BN	NCP	NSC	CL	SW1000	YIELD
Banamba2	4.2±1.31	50.93±30.52	57.7±10.94	2.68±0.29	3.04±0.67	527.38±214.28
GMP3	3.2±1.26	48.69±16.74	59.26±4.44	2.72±0.26	2.97±0.49	461.44±199.76
KDG3	3.4±0.92	83.62±107.11	60.8±4.2	2.56±0.23	2.58±0.35	1310.4±1438.58
Namsubani	3.04±1.26	45.24±25.58	58.93±5.17	2.86±0.39	3.12±0.9	416.29±299.61
S42	3.07±1.06	39.13±13.34	57.09±15.64	2.65±0.39	2.52±0.37	344.74±174.32
SMK12	2.98±1.16	35.71±9.32	56.11±11.95	2.43±0.27	2.91±0.9	322.29±254.07
SMK2	2.42±0.88	37.42±18.32	52.7±11.07	2.5±0.26	2.46±0.39	494.82±323.19
SMK3	2.53±0.98	37.64±28.41	56.61±5.3	2.32±0.27	2.74±0.33	278.72±154.06
SMK8	2.78±1.18	42.04±26.49	53.62±8	2.44±0.29	2.62±0.59	706.37±851.51
SMK9	2.64±0.68	37.46±10.3	53.9±4.63	2.42±0.29	2.93±0.67	278.17±210.14
Wollega	3.24±1.32	61.36±44.93	66.79±3.65	2.59±0.24	2.44±0.68	1612.82±2164.28

BN: number of branches per plant; CL: length of the capsules; NCP: number of capsules per plant; NSC: number of seeds per capsule; SW1000: weight of 1000 seeds; YIELD: average yield per line.

The variations in average value of the agromorphological parameters measured for all sesames line over the years 2021, 2022, and 2023 are shown on Figure 1. Each panel shows the evolution of a specific parameter over the years. The values for DFLS remain relatively stable for most lines over the three years. Some variations are present, but the differences between lines are consistent. The trend is relatively stable for Flo50 values year by year for each line. The variations between lines are minimal, suggesting homogeneity in this parameter. Greater variations are observed between lines, especially for Namsubani (in dark green), which shows a marked increase in 2022 for BN parameter. However, most other lines have lower and more stable values over the years. NCP parameter shows high variability, particularly for GMP-3 (in yellow) in 2021, which has a significantly higher value. Aside from this peak for GMP-3, the other lines show lower and more stable values. Len and CL parameters show a similar trend for most lines, with a slight increase in length over the years. Namsubani seems to have a higher Len value in 2023. Variations are visible for SW1000 parameter between lines and years. SMK-12 (in light blue) shows a notable increase in 2023. Yield values show significant variations between years and lines. Some lines like GMP-3 and Namsubani have high yields value in 2021, while others have lower yields value.

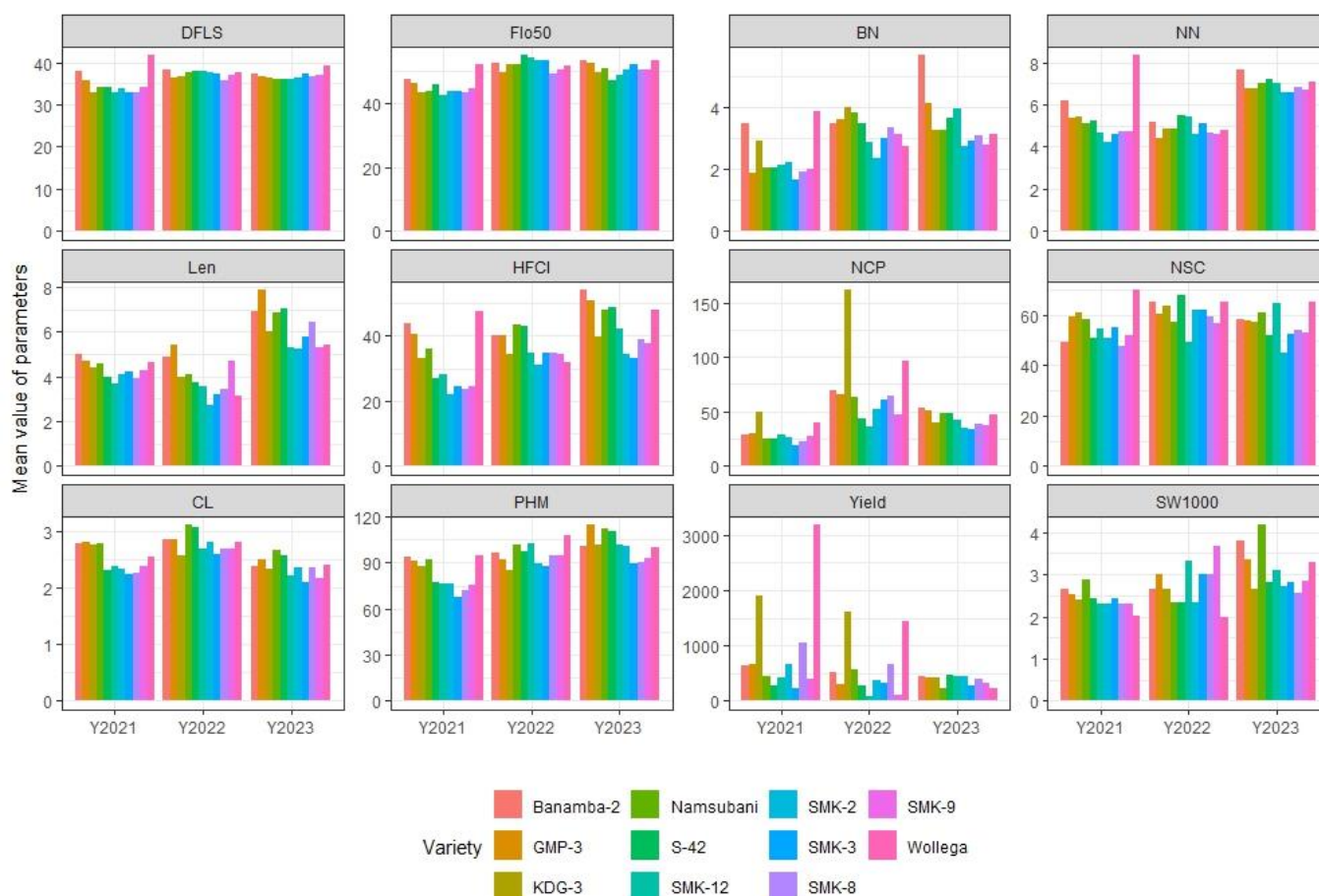


Fig. 1. Multi-Year Trends in Average Phenotypic Parameters Across lines

3.2 HEATMAP'S ANALYSIS

The heatmap presented on Figure 2 compares sesame lines based on different agronomic parameters. The heatmap allows for a visual comparison of differences and similarities between lines based on their agronomic performance. The colours represent the relative values of each parameter, with colour gradients enabling the quick identification of high or low values. The dendrogram on the left helps group lines into clusters based on their similarity, making it easier to identify lines with similar agronomic characteristics. It also allows us to see how different parameters influence the performance of each line by observing areas with similar or contrasting colours. The colour variations range from light (yellow, light orange) to dark (dark red). These colours indicate the intensity or value of each parameter for each line. Visualization of dark red areas indicate higher values for certain parameters in specific lines. Nansubani shows high values for some parameters, such as BN and HCl, represented by dark red zones. KDG-3 exhibits high values for the DFLS parameter. Light zones (light yellow, light orange) indicate lower values for certain parameters in specific lines. The lines SMK-8 and Wollega show lower values for many parameters. The light-yellow zones in the center indicate lines that have moderate values for several parameters. Dendrogram on the left shows four clusters. First cluster is composed by lines Nansubani, Banamba-2 SMK-2 and GMP-3. The second one contains S-42, SMK-12, SMK-9 and SMK-3. KDG-3 and Wollega appear to be more distinct from the other lines

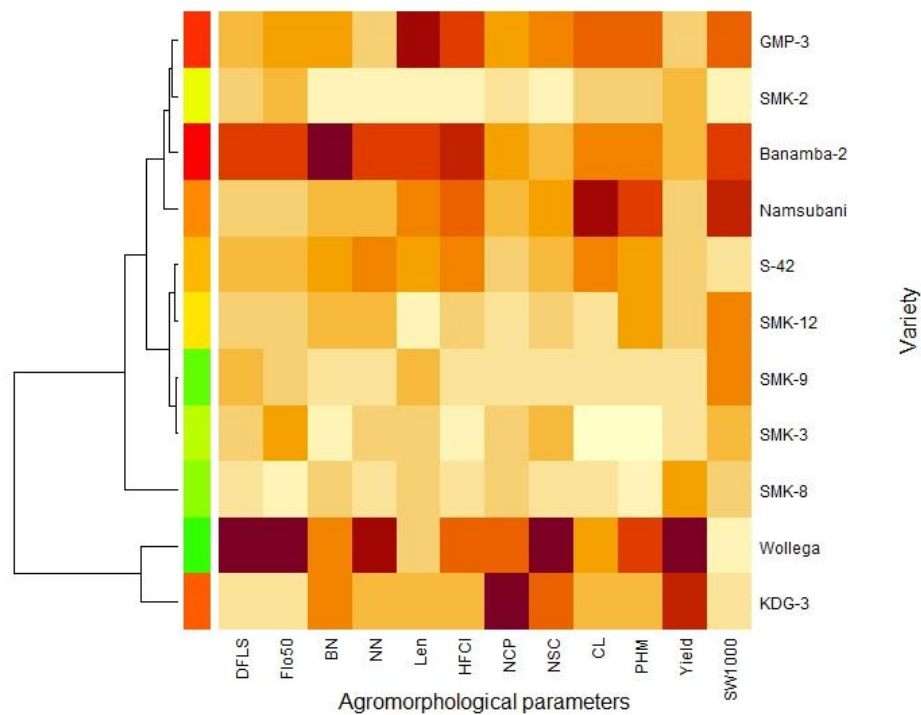


Fig. 2. Heatmap showing Correlation Matrix of Agromorphological Parameters by lines

3.3 GENETICS PARAMETERS ANALYSIS

The results of genetics parameters’ estimation for each parameter are available on Table 5. The Higher values of PCV (309.32 %) and GVC (95.99) were observed for YIELD parameter. High H² value (79.31) was recorded for HFCI, followed by DFLS (65.37), HPM (62.24) and Len (61.61). GA value ranged from -103.53 to 93362.62 respectively for Flo50 and YIELD.

Table 5. Genetic Parameters’ estimation of Agromorphological Traits in sesame lines

	Mean	Mean Square	PCV (%)	GCV (%)	H ² (%)	GA
DFLS	36.31	5.162**	3.70	4.83	65.37	300.20
Flo50	49.47	19.36	3.27	-	-21.84	-103.53
Nram	3.05	1.22	4.87	18.38	43.4	76.02
NN	5.72	1.34	3.41	8.19	33.00	55.44
Len	4.81	2.17	4.71	12.16	32.11	68.30
HFCI	37.24	63.8***	16.61	24.24	79.31	1656.21
NCP	47.21	1598	36.12	19.33	13.52	690.97
NSC	57.59	74.6	9.02	8.14	46.93	661.69
CI	2.56	0.09***	1.71	8.39	61.61	34.73
HPM	93.03	149.9**	11.93	9.75	62.24	1474.76
Yield	613.95	720139*	309.32	95.99	59.13	93362.92
P1000	2.76	0.3711	2.57	8.80	32.28	28.42

Mean: Average of the observed value for each trait; Mean Square: Measure of variability among the observed values; PCV (Phenotypic Coefficient of Variation): Phenotypic variability expressed as a percentage, reflecting observable variation in the traits; GCV (Genotypic Coefficient of Variation): Genetic variability expressed as a percentage, representing variation attributable to genetics; H² (Heritability): Broad-sense heritability expressed as a percentage, indicating the proportion of phenotypic variation due to genetic variation; GA (Genetic Advance): Expected genetic gain through selection.

4 DISCUSSION

Agro-morphological parameters between lines have varied during the study (Table 3). The expression of the trait between lines could be explained by the variation observed. Analysis of variance showed that date of 50% flowering (Flo50) ranges from 47.78 ± 1.36 to 52.44 ± 0.60 days before flowering could be explained by the genotypic effect of the lines [10]. In a previous study [11] have found between 38 and 65 days before flowering. Photoperiodism in certain sesame lines could be at the origin of the difference in the Flo50 parameter. Environmental factors may also have contributed to affecting the lines, as confirmed by studies of [12]. These writers have found that growth and flowering of sesame can be accelerated by temperature from 25 to 27 °C. The Flo50 parameter is therefore a determining factor in the plant's cycle. Thus plants with early flower have a short cycle and those with late have a long cycle.

Yield components variations were significant across lines (Table 4). The average values of parameter number of branches per plant (BN) varied from 2.42 ± 0.29 to 4.20 ± 0.44 , which explains the phenotypic variation of the lines evaluated. These results are similar to those of [13]. These authors carried out an agro-morpho-physiological evaluation of four lines and six lines of Sesame grown under natural field conditions. They counted an average of 3.63 branches for the S-42 line and an average of 3 to 4 branches for six mutant lines. For the parameter, number of capsules per plant (NCP), the average values varied from 35.71 ± 3.11 to 83.62 ± 35.70 capsules. The adaptability of these lines to climatic conditions may justify these results since, according to [12], low temperatures below 18°C retard growth and cause flower abscission and pollen sterility, while high temperatures of 40°C affect fecundity and reduce the number of capsules. This could also be explained by the distance between reproductive nodes and the number of capsules per axil [10].

With regard to seed yield, a highly significant difference ($P < 0.0001$) was observed between the lines. The Wollega line recorded the best performance with an average value of 1612.82 ± 721.43 Kg/ha. Mean values for 1000-seed weight (SW1000) ranged from 2.46 ± 0.13 to 3.12 ± 0.29 g. This confirms the range of variation in SW1000 defined by [12] and [14], which is 2 to 5 g. This variation could be explained by hydric stress, which can be favourable or unfavourable to sesame production. According to Son (2010), hydric stress influences yields and the biochemical composition of the seeds. Number of seeds per capsule varied from 52.70 ± 3.69 to 66.79 ± 1.22 seeds, which could be linked to climatic variations during the three (03) years of experimentation; this is explained by [15], who showed that hydric stress and limited availability of assimilates are the main factors that cause poor seed filling. hydric stress during seed filling affects seed composition. [16] explained that depending on the position in the development cycle and the intensity of the hydric stress, hydric stress influences yields and the biochemical composition of the seeds.

The evolution in the average values of different parameters for sesame lines over three years (2021, 2022 and 2023) were reported on Figure 1. The graph analysis showed that DFLS and Flo50 parameters across years for most lines remains stable, suggesting these lines may have stable responses to environmental triggers for flowering. Lines SMK-8 et KDG-3, with consistently earlier flowering, may have advantages in environments with limited growing seasons, as early flowering can allow for early seed setting. While BN and NN parameters show some variation, they are generally stable across years for most lines. These parameters are indicators of plant architecture, which can influence light capture, resource allocation, and, ultimately, yield [17]. Spikes or reductions in BN and NN observed for some lines might indicate differences in how those lines respond to environmental stressors like drought or nutrient deficiency. Lines with more branches (Banamba-2) or nodes (Banamba-2 and Wollega) may potentially produce more flowers and seeds but might also require more resources. Len, HFCL, and CL parameters measure aspects of the plant's reproductive structure [17]. Higher values for Len and CL suggest larger pods and capsules, which can translate to a greater potential for seed production. The variations observed here could reflect genetic differences among lines, as well as the effect of environmental conditions on reproductive growth [18]. HFCL indicates the plant's structural height, which could affect exposure to sunlight and plant competition; this parameter's variation might indicate certain lines like Banamba2, are better suited for specific planting densities or farming systems.

NCP and Yield are directly linked to productivity. Lines with consistently high yields or NCP across years could be valuable for farmers seeking stable production. NSC reflects the reproductive efficiency, as more seeds per capsule mean higher potential yield. SW1000, which measures seed size, is important for market preferences and crop value [19]. Lines with higher SW1000 values may produce larger seeds, which are often preferred in markets and may have better germination potential. The relatively stable values for NSC and SW1000 suggest that seed production and size are less affected by annual variations, making them reliable traits in these lines.

Parameters like NSC and SW1000 can be prioritized for seed quality, whereas parameters like NCP and yield are key for overall productivity. The stable performance of certain lines in DFLS and Flo50 could be leveraged to breed lines with predictable flowering times, essential for planning harvests and managing crop rotations.

The lines are organized in clusters based on similarities in agromorphological parameters, as indicated by the dendrogram on the left side (Figure 2). This grouping suggests that certain lines share similar traits, which could be valuable in selecting lines for specific breeding goals or agricultural conditions. GMP-3 and SMK-2 appear closely related in their parameter profiles, likely showing high values in similar traits. Conversely, KDG-3 and Wollega are in different clusters, indicating distinct agromorphological characteristics from the others lines. Parameters are also clustered, indicating which traits tend to vary together across the lines. Traits like Yield and SW1000 are clustered together, suggesting they may be related. This can inform breeding strategies, as improving one trait could impact the other. DFLS and Flo50 are also grouped, as they both measure flowering time. The clustering highlights that lines with early flowering may also reach 50% flowering faster.

According to Figure 2, some lines exhibit high values for key productivity parameters like Yield and NCP. Lines with dark shading in the Yield column, like SMK-12 and Banamba-2, may have high yield potential and could be promising candidates for regions where yield is a priority. SW1000 values are also notable, with lines showing darker colours in this column indicating larger seed weights, a desirable trait for market appeal and planting potential. Lines like SMK-9 appear to excel in this trait. Flowering and Maturity-related traits (DFLS and Flo50) exhibit variability among lines. Some lines flower earlier (lighter colours in DFLS and Flo50), which can be advantageous in environments with shorter growing seasons. For instance, Banamba-2 appears to have relatively early flowering based on the lighter colour in DFLS and Flo50, making it a potential candidate for areas prone to drought or early-season climate risks.

Structural and Growth Traits (Branch Number and Node Number) show variation across lines, which can impact plant architecture and resilience [20]. Lines with higher values in these traits, such as SMK-3 and SMK-8, may have denser structures, potentially enhancing light capture and yield but possibly increasing competition for resources if planting density is high. Lines grouped in the same cluster with desirable traits could be crossed to produce offspring with improved productivity. Conversely, lines from different clusters may be crossed to introduce new traits and enhance diversity. The clustering of parameters like Yield and SW1000 suggests potential correlations. Breeders could focus on these traits together to achieve lines that are both high-yielding and have larger seed sizes, improving both productivity and market value.

The table 5 provides essential information to identify traits with high improvement potential and to understand the factors influencing each trait. The Phenotypic Coefficient of Variation (PCV) and the Genotypic Coefficient of Variation (GCV) show different degrees of variability for each trait. High variability in some traits, such as NCP, Yield, and HFCl, indicates that these traits are influenced by multiple genetic and environmental factors. Generally, when PCV is higher than GCV, it means that the environment has a significant impact on the trait. This is observed in traits like Flo50 and NCP, where variability appears largely due to environmental factors, which limits direct selection.

Heritability (H^2) values vary from low to high for different traits. High heritability (>50%) indicates that variation is primarily due to genetic effects, which makes selection for these traits easier. HFCl (79.31%), CL (61.61%), and DFLS (65.37%) have high heritability, suggesting that selection gains for these traits will be reliable and less affected by the environment. In contrast, traits with low heritability, such as Flo50 (-21.84%) and NCP (13.52%), are largely influenced by the environment, making direct genetic selection less effective.

Genetic Advance (GA) represents the potential gain that could be achieved through selection for each trait. Traits with high GA, such as YIELD (93362.92), HFCl (1656.21), and HPM (Height of the Plant) (1474.76), offer significant improvement potential. This means that rigorous selection of these traits could lead to considerable improvement in future generations. On the other hand, traits with low GA, such as NN (55.44) and SW1000 (28.42), show limited genetic improvement potential, suggesting they may require finer environmental management or crop practices to maximize their performance. Traits with high heritability and GA values, such as HFCl, YIELD, and HPM, are ideal candidates for a selection program. Improvement of these traits is not only feasible but is also likely to yield quick results due to their strong genetic basis. Traits influenced by the environment, such as Flo50 and NCP, would require a combined approach involving both genetic selection and adapted crop management practices, or further research to understand genotype-environment interactions for optimal performance. DFLS (Days to Beginning of Flowering) and Len (Length) show moderate genetic variability but good selection potential, with relatively high heritability. Selecting for early-flowering lines could enhance adaptation to environments with shorter growing seasons. Yield shows very high variability, with extremely high PCV and GCV values, indicating significant improvement potential. However, yield is also influenced by the environment, so improving this trait may require efforts to stabilize its expression across different environments.

5 CONCLUSION

The results of this study highlight key traits that can be prioritized for rapid genetic improvement, including the height of the first capsule insertion (HFCl), plant height at maturity (HPM) and yield. These parameters, with high heritability and

significant genetic gain potential, offer solid opportunities to reliably enhance the overall performance of sesame lines. Conversely, other traits, such as the date of 50% flowering (Flo50) and the number of capsules per plant (NCP), show strong environmental influence, suggesting they require tailored agronomic management in addition to genetic selection. Thus, an integrated approach could optimize line productivity across various environments. These insights could guide breeding strategies and contribute to the development of more resilient and productive sesame lines, meeting the needs of Burkinabe farmers and strengthening sustainable agriculture in the region.

REFERENCES

- [1] S. Boureima et M. Diouf, « Besoins en eau, croissance et productivité du sésame (*Sesamum Indicum* L.) en zone semi-aride », *Agron. Afr.*, vol. 22, n° 2, p. 139-147, juill. 2011, doi: 10.4314/aga.v22i2.68362.
- [2] T. H. Thomas, « Oilseed crops. Edited by E. A. Weiss », *Plant Growth Regul.*, vol. 34, n° 3, p. 353-353, juill. 2001, doi: 10.1023/A:1013319111776.
- [3] B. Sene *et al.*, « Synthèse des connaissances et quelques acquis de recherche sur le sésame (*Sesamum Indicum* L.) au Sénégal », *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 12, p. 1469-1483, oct. 2018, doi: 10.4314/ijbcs.v12i3.32.
- [4] DGESS, « Annuaire statistique 2016 de la recherche scientifique », Ministère de l'agriculture et des aménagements hydrauliques (MAAH), Burkina Faso, 2016.
- [5] M. Diouf, S. Boureima, et T. A. Diop, « Responses de deux variétés de Sésame à l'inoculation avec des champignons mycorrhiziens arbusculaires candidats », *Agron. Afr.*, vol. 21, n° 1, Art. n° 1, sept. 2009, doi: 10.4314/aga.v21i1.46200.
- [6] R Core Team, *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. (2024). R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.R-project.org/>
- [7] H. W. Johnson, H. F. Robinson, et R. E. Comstock, « Estimates of Genetic and Environmental Variability in Soybeans¹ », *Agron. J.*, vol. 47, n° 7, p. 314-318, juill. 1955, doi: 10.2134/agronj1955.00021962004700070009x.
- [8] B. Mecha, S. Alamerew, A. Assefa, E. Assefa, et D. Dutamo, « Genetic Variability, Heritability and Genetic Advance for Yield and Yield Related Traits in Bread Wheat (*Triticum Aestivum* L.) Genotypes », 2016.
- [9] H. Zeinalzadeh-Tabrizi, « Assessment of heritability and genetic efficiency in advanced sesame inbred lines », *J. Anim. Plant Sci.*, vol. 34, p. 515-523, mars 2024, doi: 10.36899/JAPS.2024.2.0737.
- [10] A. Ashri, « Sesame Breeding », in *Plant Breeding Reviews*, John Wiley & Sons, Ltd, 1998, p. 179-228. doi: 10.1002/9780470650110.ch5.
- [11] A. M. Hamissou, A. Ibrahim, et H. Zangui, « Effet du sésame (*Sesamum indicum* L.) sur le développement de *Striga hermonthica* (Del.) Benth. », *J. Appl. Biosci.*, vol. 152, p. 15720-15726, août 2020, doi: 10.35759/JABs.152.10.
- [12] E. A. Weiss, *Castor, Sesame and Safflower*. Barnes & Noble, 1971.
- [13] B. Badiel *et al.*, « Agromorphophysiological and agronomic evaluation of four varieties and six descendants of sesame (*sesamum indicum*) grown under natural field conditions », vol. 16, n° 3, p. 657-665, 2016.
- [14] J. W. Pursglove, *Tropical Crops: Dicotyledons*. Longman, 1974.
- [15] A. Nongana, « Contribution à l'étude de l'élaboration du rendement chez le sésame (*Sesamum indicum* L.) : Mise en place de la production pour différentes densités et dates de semis », Université de Bobo, Bobo Dioulasso, Mémoire de fin d'études, 1996.
- [16] D. Son, « Effet du stress hydrique sur la croissance et la production du sésame (*Sesamum indicum* L.) », UPB/IDR, Bobo Dioulasso, Burkina Faso, Mémoire DEA, 2010. [En ligne]. Disponible sur: <https://beep.ird.fr/collect/upb/index/assoc/IDR-2010-SON-EFF/IDR-2010-SON-EFF.pdf>
- [17] J. B. Morris, « Characterization of sesame (*Sesamum indicum* L.) germplasm regenerated in Georgia, USA », *Genet. Resour. Crop Evol.*, vol. 56, n° 7, p. 925-936, nov. 2009, doi: 10.1007/s10722-009-9411-9.
- [18] D. M. Abebe, D. T. Mengistie, et A. A. Mekonen, « The influence of climate change on the sesame yield in North Gondar, North Ethiopia: Application Autoregressive Distributed Lag (ARDL) time series model », *BMC Plant Biol.*, vol. 24, n° 1, p. 506, juin 2024, doi: 10.1186/s12870-024-05203-4.
- [19] M. A. Baghery, S. K. Kazemitabar, A. Dehestani, et P. Mehrabanjoubani, « Sesame (*Sesamum indicum* L.) response to drought stress: susceptible and tolerant genotypes exhibit different physiological, biochemical, and molecular response patterns », *Physiol. Mol. Biol. Plants*, vol. 29, n° 9, p. 1353-1369, sept. 2023, doi: 10.1007/s12298-023-01372-y.
- [20] P. S. KADAM, M. G. CHAVAN, et V. N. GAME, « Effect of Plant Density on Growth, Yield and Quality of Sesame (*Sesamum indicum* L.) Varieties Grown in Lateritic Soils of Konkan », *J. Indian Soc. Coastal agric. Res.* 33(1), p. 29-33, 2015.

Schistosomose intestinale et grossesse: Un cas de rectorragies associées à *Schistosoma mansoni*

[Intestinal Schistosomiasis Due to *Schistosoma mansoni* During Pregnancy: A Rare Case Report]

Baganda Ntahuma Daniel¹, A. Nkonzi Karazo Pacifique¹, Vema Mihigo Destiné¹, Kesheni Bisimwa Alfred¹, and B. Kavira Malengera Céline²

¹Centre de recherche en Sciences Naturelles de Lwiro, RD Congo

²Université évangélique en Afrique et au centre de recherche en sciences naturelles de Lwiro, 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 article presents a rare case of intestinal schistosomiasis caused by *Schistosoma mansoni* in a pregnant woman, complicated by rectal bleeding and intrauterine growth restriction. Diagnosis was confirmed through stool analysis and placental smear. Despite antiparasitic treatment, the pregnancy resulted in a premature birth and neonatal death. The case highlights the need for prenatal schistosomiasis screening in endemic areas.

KEYWORDS: schistosomiasis, rectal bleeding, pregnancy, IUGR, antiparasitic treatment.

RESUME: Cet article rapporte un cas rare de schistosomose intestinale à *Schistosoma mansoni* chez une femme enceinte, compliquée de rectorragies et d'un retard de croissance intra-utérin. Le diagnostic a été confirmé par examen parasitologique et frottis placentaire. Malgré un traitement antiparasitaire, l'évolution a conduit à un accouchement prématuré et au décès néonatal. Ce cas souligne l'importance du dépistage prénatal de la schistosomose en zones endémiques.

MOTS-CLEFS: schistosomose, rectorragie, grossesse, RCIU, traitement antiparasitaire.

1 INTRODUCTION

La schistosomose est une maladie parasitaire causée par des vers plats du genre *Schistosoma*, principalement présente en Afrique et en Asie. Elle se transmet par contact avec des eaux douces infestées. Bien que la contamination urinaire et intestinale soit bien documentée, l'atteinte génitale féminine est rare et peu décrite, notamment dans le cas de *Schistosoma mansoni*.

L'article présentera un cas exceptionnel de schistosomose intestinale compliquée de rectorragies sur grossesse, observé au Centre Hospitalier de Lwiro (Sud-Kivu, RD Congo).

2 CADRE ET OBJECTIFS

Ce reportage se concentrera sur:

- L'analyse du cas clinique pour comprendre son unicité.
- L'exploration des impacts de *Schistosoma mansoni* sur la grossesse.

3 CAS CLINIQUE

- **Patiente:** 39 ans, enceinte de 24 semaines et 5 jours (G7P6Ev6), présentant une rectorragie d'une semaine.
- **Antécédents:** notion de rectorragies antérieures, absence de suivi de grossesse, enfants nés avec un faible poids.
- **Signes cliniques:** céphalée, nausées, douleurs abdominales.
- **Examens complémentaires:**
 - Examen parasitologique des selles: *Schistosoma mansoni* détecté.
 - Hémogramme: anémie régénérative (Hb: 9 g/dL), éosinophilie (70 %).
 - Échographie: grossesse évolutive de 20 semaines avec calcifications placentaires.
 - Frottis placentaire post-accouchement: œufs de *Schistosoma mansoni* détectés.
- **Prise en charge:**
 - Traitement par Praziquantel 2400 mg en dose unique.
 - Albendazole, Fefol (fer et acide folique), Papavérine et Amoxicilline.
 - Absence de suivi post-traitement.
- **Évolution:**
 - Accouchement à 38 semaines, par voie basse, d'un nouveau-né de 2000 gr (RCIU harmonieux).
 - Décès néonatal 30 minutes après la naissance.

4 DISCUSSION

- Ce cas illustre une possible contamination génitale ascendante par *Schistosoma mansoni*, bien que cette voie ne soit pas décrite dans la littérature.
- Les complications observées (RCIU, anémie, décès néonatal) sont compatibles avec les effets indirects de la schistosomose sur la grossesse.
- L'administration de Praziquantel reste controversée chez la femme enceinte, bien que recommandée pour limiter les complications.

5 CONCLUSION

La schistosomose peut être une cause méconnue de complications materno-fœtales. Ce cas souligne l'importance du dépistage et du traitement précoce chez les femmes en âge de procréer afin de limiter les risques obstétricaux.

6 PERSPECTIVES

- Études supplémentaires pour évaluer l'impact de *Schistosoma mansoni* sur la grossesse.
- Inclusion du dépistage systématique de la schistosomose dans les soins prénataux en zones endémiques.

REFERENCES

- [1] Feldmeier, H., Krantz, I. (1993). A synoptic inventory of needs for research on women's health related to genital schistosomiasis. *Acta Tropica*, 52 (4), 285-296.
- [2] Friedman, J.F., Mital, P., Kanzaria, H.K., Olds, G.R., Kurtis, J.D. (2007). Schistosomiasis and pregnancy. *Trends in Parasitology*, 23 (4), 159-164.
- [3] Hotez, P.J., Fenwick, A. (2009). Schistosomiasis in Africa: an emerging tragedy in our new global health decade. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 3 (9), e485.
- [4] Kjetland, E.F., Ndhlovu, P.D., Gomo, E., Mduluza, T., Midzi, N., Gwanzura, L., Mason, P.R., Sandvik, L., Friis, H., Gundersen, S.G. (2005). Association between genital schistosomiasis and HIV in rural Zimbabwean women. *AIDS*, 20 (4), 593-600.
- [5] Koukounari, A., Gabrielli, A.F., Toure, S., Bosque-Oliva, E., Zhang, Y., Sellin, B., Donnelly, C.A., Fenwick, A., Webster, J.P. (2007). *Schistosoma haematobium* infection and morbidity before and after large-scale administration of praziquantel in Burkina Faso. *The Journal of Infectious Diseases*, 196 (5), 659-669.

- [6] Lambertucci, J.R., Silva, L.C., do Amaral, R.S., de Souza, M.M., de Queiroz, L.C., Barbosa, M.M. (2007). Schistosomiasis mansoni: unusual manifestations in women. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 40 (5), 570-580.
- [7] Leutscher, P.D., Pedersen, M., Raharisolo, C., Ramarokoto, C.E., Hoffmann, S., Jensen, J.S., Christensen, N., Reimert, C.M. (2005). Increased prevalence of leukocytes and elevated cytokine levels in semen from *Schistosoma haematobium*-infected individuals. *The Journal of Infectious Diseases*, 191 (10), 1639-1647.
- [8] Norseth, H.M., Ndhlovu, P.D., Kleppa, E., Randrianasolo, B.S., Jourdan, P.M., Roald, B., Holmen, S.D., Gundersen, S.G., Kjetland, E.F. (2014). The colposcopic atlas of schistosomiasis in the lower female genital tract based on studies in Malawi, Zimbabwe, Madagascar and South Africa. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 8 (11), e3229.
- [9] Olds, G.R. (2003). Administration of praziquantel to pregnant and lactating women. *Acta Tropica*, 86 (2-3), 185-195.
- [10] Poggensee, G., Feldmeier, H. (2001). Female genital schistosomiasis: facts and hypotheses. *Acta Tropica*, 79 (3), 193-210.
- [11] Poggensee, G., Sahebali, S., Van Marck, E., Swai, B., Krantz, I., Feldmeier, H. (2001). Diagnosis of genital cervical schistosomiasis: comparison of cytological, histopathological and parasitological examination. *The Journal of Infectious Diseases*, 183 (4), 478-482.
- [12] Richter, J. (2003). The impact of chemotherapy on morbidity due to schistosomiasis. *Acta Tropica*, 86 (2-3), 161-183.
- [13] Secor, W.E. (2012). The effects of schistosomiasis on HIV/AIDS infection, progression and transmission. *The Journal of Infectious Diseases*, 206 (3), 353-360.
- [14] Steinauer, M.L., Mwangi, I.N., Maina, G.M., Kinuthia, J.M., Mutuku, M.W., Agola, E.L., Mungai, B.N., Karanja, D.M., Loker, E.S., Mkoji, G.M. (2008). Interactions between natural populations of human and rodent schistosomes in the Lake Victoria region of Kenya: a molecular epidemiological approach. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 2 (4), e222.
- [15] Stothard, J.R., Bustinduy, A.L., Montresor, A., Sousa-Figueiredo, J.C. (2014). Preventive chemotherapy for female genital schistosomiasis: a global perspective. *Tropical Medicine & International Health*, 19 (2), 135-140.
- [16] Swai, B., Poggensee, G., Mtweve, S., Krantz, I. (2006). Female genital schistosomiasis as an evidence of a neglected cause for reproductive ill-health: a retrospective histopathological study from Tanzania. *BMC Infectious Diseases*, 6, 134.
- [17] Ugbomoiko, U.S., Ofoezie, I.E., Okoye, I.C., Heukelbach, J. (2010). Factors associated with urinary schistosomiasis in two peri-urban communities in south-western Nigeria. *Annals of Tropical Medicine & Parasitology*, 104 (5), 409-419.
- [18] WHO (2002). Prevention and control of schistosomiasis and soil-transmitted helminthiasis. WHO Technical Report Series, 912, 1-57.
- [19] WHO (2010). Female genital schistosomiasis: a pocket atlas for clinical health-care professionals. World Health Organization.
- [20] Tine RC, Faye B, Sylla K. Effets de la bilharziose sur la grossesse: revue de la littérature. *Santé Publique*, 2021, 33 (2): 189-198.
- [21] Diop M, Sarr M. Conséquences de la schistosomose urogénitale sur la fertilité féminine. *Revue Africaine de Gynécologie et d'Obstétrique*, 2020, 27 (1): 45-52.
- [22] Koffi K, Kouadio J. Complications materno-fœtales de la schistosomose intestinale en Côte d'Ivoire. *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique*, 2019, 112 (4): 321-330.
- [23] Yapi Y, Touré I. Impact de la schistosomiase sur la santé périnatale: étude rétrospective en milieu hospitalier. *Médecine d'Afrique Noire*, 2022, 69 (1): 15-22.
- [24] Institut Pasteur. La schistosomiase et la grossesse: défis et perspectives thérapeutiques. Actes du Colloque de Parasitologie, Paris, 2023.
- [25] Université de Kinshasa. Facteurs de risque et prise en charge de la schistosomiase en milieu rural congolais. Thèse de doctorat en médecine, Faculté de Médecine, 2022.

Connected Learning Environment: The IoT-Driven Digital Future

Shalini Vermani

Associate Professor, Apeejay School of Management, India

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: Internet of Things (IoT) is a futuristic vision of the world where everything is linked by means of appropriate information and communication technology, to enable a new set of applications and services. IoT has changed the way we think and implement things in our life. For 21st-century learners, traditional institutions and classical teaching methods are no longer appealing. With the advent of IoT, future educational institutions will evolve into smart institutes, offering a new platform for teaching and learning for both educators and modern learners.

KEYWORDS: IoT, Fog Computing, Smart Devices.

1 INTRODUCTION

IoT is an emerging technology. In this, sensors are embodied in a wide range of networking products which take advantage of advancements in computing power, electronics miniaturization, and network interconnections to offer new capabilities to existing technologies such as making vehicles smart to monitor the heartbeat of the driver, advance navigation system, self-driven vehicles etc. The large-scale implementation of IoT devices promises to transform multiple aspects of life. For consumers, new IoT products like Internet-enabled appliances, home automation components, and energy management components transform the traditional house into a 'smart home', offering more security and energy efficiency. Personal IoT devices like wearable fitness and health monitoring devices and network enabled medical devices are transforming the way healthcare services are delivered. IoT systems like networked vehicles, intelligent traffic systems, and sensors embedded in roads and bridges helps in transforming the cities into 'smart cities', which help minimize congestion and energy consumption. IoT technology helps in transforming agriculture, industry, and energy production and distribution by increasing the availability of information along the value chain of production using networked sensors.

With the change in the time, humans evolved its way to live, with enhanced communication methods to high tech super intelligent machines, which not only changed the way of living but also opened doors for transforming the existing methods to adapt the new changes.

IoT helps us to introduce another level of that vision which is seen by many tech giants such as Google and Microsoft to motivate the world and transform it into the technical utopia for human beings. This technology not only brings solutions to our complex lives but also opened doors for many new unexplored opportunities. With IoT, traditional devices are modified and connected to the internet granting them the ability to communicate with each other, sharing information and handling the daily problems on their own without any human intervention. This technology has the most prominent examples such as smart homes, smart grids, connected cars and this list goes on.

Knowledge distribution has changed from the traditional gurukuls to the modern-day schools and institutes, now it is time to upgrade the knowledge systems and to transform the present-day institutions into '**Smart Institutions**'.

2 NEED FOR SMART INSTITUTIONS

In Smart Institutions, physical devices will communicate with each other without any human intervention which will result in faster and timely output. Smart Institutions will increase comfort, convenience and better management which is a step toward the improvement of quality of education and campus life.

The rapid evolution of technology and the increasing demand for digital literacy necessitate the transition toward IoT-based smart educational institutions. IoT enables real-time data collection and analysis, allowing educators to tailor instruction to individual student needs, monitor engagement, and optimize resource allocation. Automated systems can enhance campus safety, manage energy consumption, and streamline administrative tasks, freeing educators to focus on pedagogy. As traditional education models struggle to keep pace with global challenges, smart institutions leverage IoT to create sustainable, scalable, and future-ready ecosystems that prioritize accessibility and innovation. Embracing IoT in education is no longer optional—it is a strategic imperative to cultivate agile, inclusive, and innovative educational ecosystems.

This paper tries to find out more possibilities of Smart Institutions under IoT umbrella. The paper discusses the concept of Smart Institution with the incorporation of IoT devices having intelligence embedded sensors. These Smart Institutions will improve the speed and efficiency of data exchange. IoT encourages the communication of connected devices, because of this the physical devices will be continuously connected to each other and total transparency can be achieved with prominent efficiencies and greater quality. However, IoT also face some issues and challenges that need to be considered and properly addressed.

3 APPLICATION OF IOT IN SMART INSTITUTION

Applications of smart institutions encompass the integration of IoT and advanced technologies to transform traditional educational frameworks, leveraging interconnected systems to enhance efficiency, accessibility, and adaptability in addressing evolving learning demands. This section explores how these innovations redefine institutional operations.

3.1.1 SMART PARKING

With the help of the IoT, institutes soon going to have smart sensors installed right into their parking lots which will provide the spacing available, number of vehicles parked with their exact location & appropriate space to park the vehicle. At the time of any faculty or student arrives at the door of the institute, the sensors embedded into the door security system will communicate with the vehicle's system and check the databases for the registered entry, if it's a registered user in the database the doors will open automatically else the system will collect user details such as name address, contact details, facial image, vehicle registrations number, purpose of visit and issues a limited period visitor's card, the fog sensors in the parking lot will collect data from the vehicles parked to ascertain their location and lookup for an available space and this is then directed to the user's vehicle's screen with directions to move the vehicle into the empty slot, this helps into providing a convenient means for users to avoid searching for parking.

3.1.2 SMART NAVIGATION AND VIRTUAL ENVIRONMENT

The institutes will be equipped with the latest navigation and monitoring systems. these systems will be directly connected to the IoT. The network administrator will be responsible for controlling the virtual environment of the institute and they are liable for constructing a dynamic reception area where everything is digital such as virtual receptionist, digital map of the whole institute with important locations marked and these are also available on the guest's devices which will helps them in navigation as well as to access the public database of the institute

Under smart institutes, the flooring is made up of Nano lighting particles which are using pressure sensitive sensors. While any visitor arrives in the institute, he/she has to first fill up the required details at the reception area such as person to meet, reason for visit etc. and then the floor will light with the highlighted color shown at the screen of the reception and these lights are comprising a line starting from the reception and ends up to the target faculty, and as the visitor is progressing the lighting behind him disappears. In case of multiple visitors to multiple destinations, these lighting can vary from multiple single color to multiple color combinations.

3.1.3 SMART OFFICE

utilize interconnected devices and sensors to streamline institutional operations and data accessibility. Equipped with smart screens and centralized data servers, these offices enable real-time updates and on-demand access to critical information such as academic records, fee payments, placement statistics, attendance logs, and performance metrics. Faculty and staff can instantly retrieve relevant data via intuitive dashboards, reducing time spent on manual inquiries. Meanwhile, automated servers aggregate and analyze data, ensuring accuracy and enabling proactive decision-making. Smart screens can display live updates or broadcast announcements, fostering seamless communication. By integrating IoT, administrative workflows become more efficient, transparent, and responsive, enhancing productivity and service delivery across the institution.

3.1.4 AUTOMATIC ATTENDANCE SYSTEM

With IoT, there will be automatic attendance system. Attendance of faculty and staff will be captured by the facial scanners on the entry gate and attendance of students will be captured for each class.

For faculty and staff, sensors embedded on the gate identifies the person through facial recognition, the system then look up for the records into the server and on finding an appropriate match, the attendance will be automatically marked into the system.

For students, along with their biometric credentials, their specialization and timetable will also be uploaded on the server. There will be smart sensors in the doors of each class room. Sensors will detect the movement and smart doors will open automatically when anybody will stand in front of the door and close afterwards. The door will scan the person entering the classroom and will match its identity with the data stored in the database. Once the person is identified, the system will mark the presence of that student in that particular class.

In an automatic attendance system, if a student leaves the classroom before the scheduled end time, smart sensors at the door will detect their exit, scan their biometric credentials, and cross-reference their departure time with the timetable stored in the database. If the system identifies that the student exited the class earlier than the predefined duration, it will automatically delete or flag their attendance record to reflect their premature departure. This ensures attendance accuracy by aligning presence duration with scheduled class times, while administrators, teachers, and students can access real-time updates via the centralized platform to monitor attendance compliance.

3.1.5 SMART BOARDS AND DISPLAY

With the upcoming technology, the existing white boards will be replaced by smart boards. These boards will be equipped with live video streaming, writing and live communicating feature which will be controlled by using the multi touch enabled user screen which will scan the faculty and acquire the resources uploaded in advance by the faculty on the server. So, the faculty will automatically get access to his/her account. With this, the faculty, will be able to provide the students the information already uploaded on server or available online on a specific topic with interactive 5d video technology.

3.1.6 SMART LIBRARY

Libraries powered by IoT will be known as "Smart Libraries". In this, each book will have a chip which will contain unique id, title of the book, author, publisher etc. Doors of the library will open only after biometric authentication. Each person has to do biometric authentication for entering and exiting the library. These modern libraries will have sensors, when a student or faculty will take a book and move out of the library, sensors on the doors of the library will read the book information from the chip and persons information from his/her biometric. The book will then be issued to that person. With delay in return of the book by the student, the system will automatically calculate the fine and send the details to accounts department of the Institute. To return the book, the person will just have to place the book on the desired slot or shelf. The sensors will identify the book and will automatically update the status as book returned in the database.

3.1.7 AUTO EVALUATION

Online assignments will be given to the students. The system will not only check the submission status of the assignment but also check the plagiarism of the assignments and also evaluate and grade the assignments using the keywords and sample solution fed by the faculty into the servers.

3.1.8 SMART CANTEEN

The daily inventory will be recorded by the automatic system under smart canteens. The system will regularly check the inventory using barcodes on the food items. When the inventory of a particular item will reach below the minimum identified level, a re-order for the same will be placed automatically.

4 SECURITY ISSUES IN SMART INSTITUTIONS

IoT is still work in progress. There are some limitations in implementation of IoT and is prone to multiple security threats. Some of these threats are:

- **Data Confidentiality**

IoT processes a lot of data. Data retrieval and processing is the most concerned area of IoT environment, where 90% of the data is users' private data and should be kept confidential.

- **Data Authentication**

There is no way to authenticate the data being transmitted from an IoT device, so the security is compromised. For example, we have appliances connected with controlling component in smart classes, there is no way to authenticate the data source and anyone can fake the device into thinking people are present in the room or vice versa. Authentication issues are looking small but have a huge security risk.

- **Side Channel Attacks**

A side-channel attack is based on the information retrieved from the physical implementation of cryptosystem. This is due to brute force attack or weakness in the algorithms. Encryption and decryption algorithms always left with chances of side channel attacks. These attacks focus on how the information is presented rather than on the information itself. For example, vehicles' number plates data, camera footages and facial data can be accessed by side channel attacks.

- **Perceptions**

With introduction of IoT, many users are concerned about their data privacy and having fear that their data might get stolen from their smart appliances. With the concerned level of risks attached to IoT, many people will hesitate to purchase connected devices

- **Hacking**

Researchers with a motive to test IoT systems become able to hack connected devices. This leads to a possibility that the hackers could also replicate the same and hack these devices as well.

- **Unwanted Public Profile**

While using the connected devices from specific manufacturers users accept their terms of service. Most companies stated a term and condition that they will collect and offer the user's data to other companies for their own use like collecting the data related to driving habits from connected vehicles and share it with insurance companies to calculate user specific annual insurance premium.

- **Eavesdropping**

With IoT, huge amount of data flows and it becomes easy for the intruder to eavesdrop the data. In this way, hackers can eavesdrop the data transmitted between connected device and can trespass a user's privacy.

5 CONCLUSION

With the flow of time, technology is spreading more deeply into human lives. Technology has changed our lifestyle whether it is a smartphone in our pockets or a smart watch on our wrist or a fully automated smart home. IoT is still in its beta testing stage. It has its own flaws like data insecurities and exploitation because of unencrypted data flow. To overcome the limitations of IoT, continuous researches are going on all over the world. This digital transformation will reveal new insights that promise to change the future educational institutes and system. So, we can say that IoT will revolutionize the world and we will finally become one step closer to that educational institutes we think of from ages.

REFERENCES

- [1] Ahmed M. M., Hassanien E. E., Hassanien A. E (2024). A smart IoT-based monitoring system in poultry farms using chicken behavioural analysis, *Internet of Things*, Vol 25.
- [2] Alsaadi, Tubaishat, E. (2015). *Internet of Things: Features, Challenges, and Vulnerabilities*. *International Journal of Advanced Computer Science and Information Technology*.
- [3] Bandyopadhyay, Sen, D. (2011). *Internet of Things - Applications and Challenges in Technology and Standardization*, *International Journal of Wireless Personal Communication*.
- [4] Bonomi, F. (2013). *The Smart and Connected Vehicle and the Internet of Things*. Cisco. Available at https://tf.nist.gov/seminars/WSTS/PDFs/1-0_Cisco_FBonomi_ConnectedVehicles.pdf
- [5] Bonomi, Milito, Zhu, Addepalli, F. (2012). *Fog Computing and Its Role in the Internet of Things*. *Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing*.
- [6] Cavus N., Mrwebi S.E., Ibrahim I., Modupeola T., Albert Y. Reeves A.Y. (2022), *Internet of Things and Its Applications to Smart Campus: A Systematic Literature Review*, *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)* 16 (23): 17-35.
- [7] Dake D. K., Bada G. K. Ghana W., Dadzie A. E. (2023). *Internet of Things (IoT) Applications In Education: Benefits and Implementation Challenges in Ghanaian Tertiary Institutions*. *Journal of Information Technology Education: Research*.
- [8] Ghanam, Ferreira, Maurer, Y. (2012). *Emerging Issues & Challenges in Cloud Computing— A Hybrid Approach*. *Journal of Software Engineering and Applications*.
- [9] Khatoon, M. (2014). *FOG Computing and Its Role in Internet*. *International Journal & Magazine of Engineering, Technology, Management and Research*.
- [10] Kumar S., Tiwari P., Zymbler M. (2019). *Internet of Things is a Revolutionary Approach for Future*.
- [11] *Technology Enhancement: A Review*.
- [12] Kumar, Goudar, S. (2012). *Cloud Computing – Research Issues, Challenges, Architecture, Platforms and Applications: A Survey*. *International Journal of Future Computer and Communication*.
- [13] Lindsay, Woods, Corman, G. (2016). *Smart Homes and the Internet of Things*. Atlantic Council.
- [14] Niranjnamurthy, M., Kavitha, P.B., Kasana, P., Vishnu, S., N.,. (2016). *Research Study on Fog Computing for Secure Data Security*. *International Journal of Science Technology and Management*.
- [15] More, P. (2015). *Review of Implementing Fog Computing*. *International Journal of Research in Engineering and Technology*.
- [16] Patil, P. V. (2015). *Fog Computing*. *International Journal of Computer Applications* (0975 – 8887).
- [17] Saharan, Kumar, K. (2015). *Fog in Comparison to Cloud: A Survey*. *International Journal of Computer Applications* (0975 – 8887).
- [18] Stojmenovic, Wen, I. (2014). *The Fog Computing Paradigm: Scenarios and Security Issues*. *Federated Conference on Computer Science and Information Systems*.
- [19] Terzieva V., Ilchev S., Todorova K. (2022), *The Role of Internet of Things in Smart Education*. *IFAC PapersOnLine* 55-11, 108–113.
- [20] Thierer, A. (2014). *The Internet of Things and Wearable Technology*. *Mercatus Working Paper*. Available at <https://www.mercatus.org/system/files/Thierer-Wearable-Tech.pdf>
- [21] Vaquero, Merino, L. M. (2014). *Finding your Way in the Fog: Towards a Comprehensive Definition of Fog Computing*. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*.
- [22] Vouk, M. A. (2008). *Cloud Computing – Issues, Research and Implementations*. *Journal of Computing and Information Technology*.
- [23] Zanella, Vangelista, A. (2014). *Internet of Things for Smart Cities*. *IEEE Internet of Things Journal*.
- [24] Sicari et.al (2015). *Security, Privacy and Trust in Internet of Things: The Road Ahead*. *Computer Networks*, Elsevier publications.

Synthèse verte des Nanoparticules d'argent, leurs caractérisations et leurs applications: Une revue de synthèse

[Green synthesis of Silver Nanoparticles, their characterisations and their applications: A review]

Aminath Fidèle Yacoubou¹, Chakirath Folakè Arikè Salifou², Dougnon Victorien³, Baba-Moussa Lamine Saïd⁴, and Youssao Abdou Karim Issaka²

¹PhD en Biochimie, Biologie Moléculaire, Cellulaire et Microbiologie à l'Ecole Doctorale des Sciences de la Vie et de la Terre de l'université de Abomey-Calavi, Bénin

²Laboratoire de Biotechnologie Animale et Technologie des Viandes, Département de Production et Santé Animale
Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey Calavi, Abomey Calavi, Bénin

³Unité de Recherche en Microbiologie Appliquée et Pharmacologie des Substances Naturelles, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

⁴Laboratoire de Biologie et de Typage Moléculaire en Microbiologie, Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

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: Due to the emergence of nanoscience and technology, metallic silver nanoparticles (AgNPs) are used as antimicrobial agents and are synthesized following various protocols. Several methods (Physical and Chemical) are used to synthesize nanoparticles, but biological methods are preferred due to their environmental friendliness, cleanliness, safety, cost-effectiveness, ease and efficiency for high productivity and purity. Green synthesis of nanoparticles (NPs) is a promising new tool in the field of bio-nanotechnology. Intra- or extracellular biosynthesis of NPs can be achieved by a wide range of biological entities, including bacteria, fungi, yeast, algae, actinomycetes and plant extracts. Biosynthesized NPs are characterized using a variety of techniques, including UV-vis spectroscopy, X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), and Fourier transform infrared (FTIR) analysis and zeta potential analyses. NPs synthesized using the green approach can be used in the food industry, smart agriculture and wastewater treatment. They can be incorporated into various biotechnological fields as antimicrobial agents, antioxidants and phytopathogen control agents. This review will focus on the role of biosynthesized AgNPs for their antimicrobial application, leading to improved health, environment and prevention of infectious diseases.

KEYWORDS: Silver Nanoparticles, Plants, Microorganisms, Biotechnological application, Antimicrobial.

RESUME: En raison de l'émergence de la nanoscience et de la technologie, les nanoparticules d'argent métalliques (AgNP) sont utilisées comme agents antimicrobiens et sont synthétisées en suivant divers protocoles. Plusieurs méthodes (Physique et chimique) sont utilisées pour synthétiser les nanoparticules, mais les méthodes biologiques sont préférées en raison de leur caractère respectueux de l'environnement, propre, sûr, rentable, facile et efficace pour une productivité et une pureté élevées. La synthèse verte de nanoparticules (NPs) est un outil prometteur et nouveau dans le domaine de la bio nanotechnologie. La biosynthèse intra- ou extracellulaire des NP peut être réalisée par de nombreuses entités biologiques, notamment des

bactéries, des champignons, des levures, des algues, des actinomycètes et des extraits de plantes. La caractérisation des NP biosynthétisées sont effectuées à l'aide de différentes techniques telles que la spectroscopie UV-vis, diffraction des rayons X (DRX), microscopie électronique à balayage (MEB) et analyse infrarouge à transformée de Fourier (FTIR). Les analyses du potentiel zêta, etc. Les NP synthétisées par l'approche verte peuvent être utilisées dans les industries alimentaires, l'agriculture intelligente et le traitement des eaux usées. Elles peuvent être incorporées dans différents domaines biotechnologiques en tant qu'agents antimicrobiens, antioxydants, en tant que contrôle des phytopathogènes. Cette revue mettra l'accent sur le rôle des AgNPs biosynthétisées pour leur application antimicrobienne, ce qui permettra d'améliorer la santé, l'environnement et la prévention des maladies infectieuses, l'environnement et la prévention des maladies infectieuses.

MOTS-CLEFS: Nanoparticules d'argent, Plantes, Microorganismes, Application biotechnologique, Antimicrobien.

1 INTRODUCTION

Les concepts à l'origine de la nanotechnologie ont été évoqués pour la première fois par le physicien Richard Feynman dans son exposé intitulé "There's Plenty of Room at the Bottom" [1] dans lequel il décrivait la possibilité de synthèse par manipulation directe des atomes. Le terme nanotechnologie fait référence à la production, à la caractérisation et à la manipulation de matériaux de taille nanométrique (moins de 100 nanomètres (nm) de diamètre, 1 nm étant un millionième de millimètre) qui contiennent de nouvelles propriétés [2]. La synthèse des nanoparticules (NP) implique généralement de nombreuses méthodes physiques et chimiques. De nos jours, les synthèses biologiques sont privilégiées car elles sont sûres, propres, économiques et facilement transposables à grande échelle pour la synthèse de NP à grande échelle. Les NP trouvent d'importantes applications dans divers domaines tels que les dispositifs magnétiques, les photo catalyseurs, les dispositifs microélectroniques, les revêtements anticorrosion, le biomédical et les électro catalyseurs, ainsi que dans la métallurgie des poudres. Les applications biotechnologiques des NP se développent de jour en jour grâce à leur caractère innovant, leur biocompatibilité, leur activité anti-inflammatoire et antimicrobienne, leur libération efficace de médicaments, leur bio-activité, leur biodisponibilité, leur ciblage tumoral et leur bio-absorption [3], [4]. En raison de ces caractéristiques, elles sont des candidats appropriés pour diverses applications commerciales et domestiques, qui incluent la catalyse, l'imagerie, les applications médicales, la recherche énergétique et les applications environnementales [5]. D'autre part, les NP peuvent être utilisées dans les domaines industriel et électronique comme catalyseurs et conducteurs dans les transistors et les appareils de détection du cancer [6]. Récemment, les NP magnétiques ont été utilisées dans des domaines multidisciplinaires tels que le traitement du cancer, l'administration de médicaments, la détection des tumeurs, l'imagerie par résonance magnétique et les procédés de séparation et l'emballage alimentaire [6]. Les activités biologiques des NP magnétiques pourraient être attribuées à leur petite taille, à leurs propriétés magnétiques, à leur biocompatibilité élevée et à la facilité de modification de leur surface [7]. La synthèse verte de NP à partir de différentes entités biologiques permet de surmonter de nombreux effets destructeurs des techniques physiques et chimiques. Celles-ci incluent la biosynthèse de NP à pH, pression et température modérés, sans substances toxiques ou dangereuses, et sans ajout d'agents réducteurs, coiffants et stabilisants externes [8]. Récemment, plusieurs études publiées ont énuméré différentes formes de nanoparticules métalliques, d'oxydes métalliques et de dioxydes, notamment les nanoparticules d'argent (Ag); les nanoparticules de cuivre (Cu); les nanoparticules d'oxyde de cuivre (CuO) [4]; les nanoparticules de zinc (Zn), d'oxyde de de zinc (ZnO); les nanoparticules d'or (Au) [21], les nanoparticules enrobées de polymère; les nanoparticules d'oxyde de fer (FeO); les nanoparticules de dioxyde de titane (TiO₂) [9]. Chacune de ces nanoparticules possède ses propres caractéristiques et applications.

Cet article présente une synthèse bibliographique des nanoparticules, de leurs propriétés, de leurs méthodes de synthèse, de leur application, et des risques liés à leurs utilisation dans l'industrie alimentaire.

2 GENERALITES

2.1 TERMINOLOGIE

Nanomètre: Un nanomètre (nm) correspond à un millionième de millimètre, soit environ un quatre-vingts millièmes de la largeur d'un cheveu humain [10].

Echelle nanométrique: échelle de longueur s'étendant approximativement de 1 à 100 nanomètres.

Nanoparticule: Les nanoparticules sont des particules de matière dont le diamètre varie généralement de 1 à 100 nm et qui possèdent des propriétés physicochimiques nettement différentes, par exemple des propriétés colloïdales, par rapport à celles

des microparticules ou des macro-particules [11], [5]. En termes simples, les nanoparticules sont des particules dont les dimensions et les tolérances sont comprises entre 1 et 100 nm. Les nanoparticules peuvent être de formes, de tailles et de structures différentes. Elles peuvent être sphériques, cylindriques, coniques, tubulaires, à noyau creux, en spirale, etc., ou irrégulières [12].

Nanotechnologie: La nanotechnologie est une science interdisciplinaire qui intègre plusieurs disciplines, notamment la biologie, l'ingénierie chimique, la mécanique et l'électronique, pour comprendre, manipuler et construire des dispositifs, et des systèmes dotés de fonctionnalités et de qualités remarquables aux niveaux atomique, moléculaire, supramoléculaire [13].

Nanomatériaux: Les nanomatériaux (NM) peuvent être définis comme « un matériau naturel, accessoire ou manufacturé contenant des particules, à l'état libre ou sous forme d'agrégat ou d'agglomérat et où, pour 50 % ou plus des particules dans la distribution granulométrique, une ou plusieurs dimensions externes sont comprises entre 1 et 100 nm » [14].

2.2 HISTOIRE DE LA NANOTECHNOLOGIE

2.2.1 ANTIQUITE

Les nanoparticules ont été utilisées par les Romains au IV^e siècle après J.-C., qui ont démontré l'un des exemples les plus intéressants de nanotechnologie du monde antique: la coupe de Lycurgue. Cette coupe, de la collection du British Museum, représente l'une des réalisations les plus remarquables de l'industrie du verre antique. C'est le plus ancien exemple célèbre de verre dichroïque. Le verre dichroïque décrit un type de verre, qui change de couleur dans certaines conditions d'éclairage. Cela signifie que la coupe de Lycurgue a deux couleurs différentes: le verre apparaît vert en lumière directe et rouge-violet lorsque la lumière brille à travers le verre (Figure 1).



Fig. 1. La coupe de Lycurgue

Le verre apparaît vert en lumière réfléchie (A) et rouge-violet en lumière transmise (B). Reproduit avec l'autorisation de la référence [15]

En 1990, les scientifiques ont analysé la coupe à l'aide d'une microscopie électronique à transmission (MET) pour expliquer le phénomène de dichroïsme. Le dichroïsme observé (deux couleurs) est dû à la présence d'alliage de nanoparticules argent-or (Ag-Au), de 50 à 100 nm de diamètre. Un effet de dichroïsme similaire est observé dans les vitraux des églises de la fin du Moyen Âge, qui brillent d'une couleur rouge et jaune lumineuse en raison de la fusion des nanoparticules d'Ag et d'Or dans le verre. La Figure 2 montre un exemple de l'effet de ces nanoparticules de différentes tailles sur les vitraux [16].

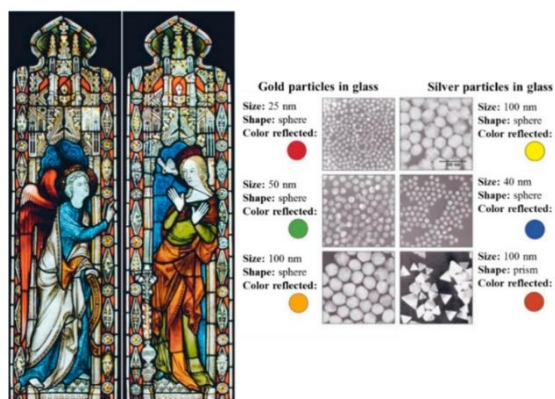


Fig. 2. Effet des nanoparticules sur les couleurs des vitraux [16]

Au cours des IX^e et XVII^e siècles, les glaçures céramiques brillantes et scintillantes utilisées dans le monde islamique, puis plus tard en Europe, contenaient de l'argent ou du cuivre (Cu) ou d'autres nanoparticules. Les Italiens ont également utilisé des nanoparticules dans la création de poteries de la Renaissance au XVI^e siècle. Au cours des XIII^e et XVIII^e siècles, les techniques ottomanes étaient utilisées pour produire des lames de sabre « Damas ». Cette technique consistait à utiliser des nanofils de cémentite et des nanotubes de carbone pour fournir résistance, résilience et capacité à conserver un bord tranchant. Ces couleurs et propriétés matérielles ont été produites intentionnellement pendant des centaines d'années. Les artistes et les forgerons médiévaux ont produits ces œuvres pendant des centaines d'années, sans connaître la cause des effets surprenants observés (couleurs et propriétés matériels possibles grâce aux nanomatériaux).

2.2.2 EPOQUE MODERNE

Bien que nous soyons conscients depuis longtemps de l'existence des entités de taille « nano » et que de nombreux chercheurs aient eu affaire à elles, la naissance historique de la nanotechnologie est généralement attribuée à Feynman. Les nanotechnologies ont connu des progrès depuis les premières idées de Feynman jusqu'en 1981, lorsque les physiciens Gerd Binnig et Heinrich Rohrer ont inventé un nouveau type de microscope au laboratoire de recherche IBM de Zurich, le microscope à effet tunnel (STM) [17]. Le STM utilise une pointe acérée qui, lorsqu'une tension est appliquée près d'une surface conductrice, les électrons « forment un tunnel » à travers l'espace vide de l'atome. En 1983, le groupe a publié la première image STM de la surface reconstruite de Si (111) -7 × 7, qui peut aujourd'hui être imagée de manière routinière comme le montre la Figure 3 [16].

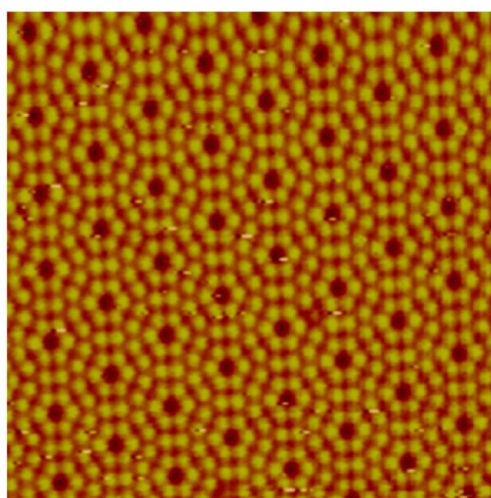


Fig. 3. Image STM de la surface reconstruite Si (111) -7 × 7 montrant la résolution à l'échelle atomique de la couche supérieure d'atomes de silicium [16]

L'invention du STM a été un événement clé de l'évolution de la nanotechnologie. Il a notamment été utilisé pour manipuler 35 atomes de xénon individuels par [18]. Le STM a aussi conduit au développement de deux instruments de choix des chercheurs en nanotechnologie de nos jours que sont: le Microscope à Force Atomique, et le Microscope à Sonde à Balayage [16].

Des recherches sur le carbone, ont permis la découverte de l'existence du carbone sous forme de sphères très stable (buckyballs) par [19], et aussi sous forme de nanotubes [20].

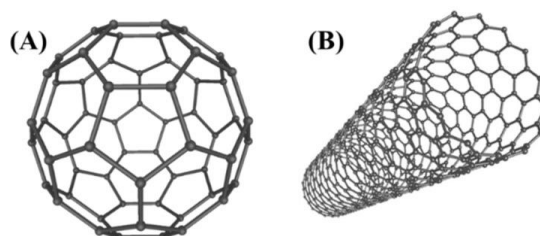


Fig. 4. Schéma d'un buckyball C60 (Fullerène) (A) et d'un nanotube de carbone (B) [16]

Depuis, la nanoscience a progressé dans d'autres domaines scientifiques comme l'informatique, la biologie et l'ingénierie. Au début du 21e siècle, l'intérêt pour les domaines des nanosciences et des nanotechnologies s'est accru. Récemment, un certain nombre d'études ont mis en évidence l'énorme potentiel des nanotechnologies en biomédecine pour le diagnostic et le traitement de nombreuses maladies humaines [21].

2.3 CLASSIFICATION

En fonction de leur composition, les nanoparticules sont généralement classées en trois classes: organiques, à base de carbone et inorganiques [12].

2.3.1 NP ORGANIQUES

Cette classe comprend des nanoparticules constituées de protéines, de glucides, de lipides, de polymères ou de tout autre composé organique [22]. Ces NP sont généralement non toxiques, biodégradables. Les NP organiques sont sensibles aux rayonnements thermiques et électromagnétiques tels que la chaleur et la lumière. De plus, elles sont souvent formées par des interactions intermoléculaires non covalentes, ce qui les rend plus labiles par nature et offre une voie d'élimination hors du corps.

Aujourd'hui, les NP organiques sont principalement utilisées dans le domaine biomédical pour l'administration ciblée de médicaments [23] et la thérapie contre le cancer [24].

Les exemples les plus marquants de cette classe sont les dendrimères, les liposomes, les micelles et les complexes protéiques tels que la ferritine (illustrés à la Figure 5).

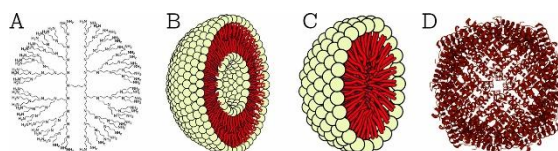


Fig. 5. Types de NP organiques. A Dendrimères; B liposomes; C micelles; et D ferritine [12]

2.3.2 NP A BASE DE CARBONE

Cette classe comprend des NP qui sont constituées uniquement d'atomes de carbone. Les NP à base de carbone réunissent les propriétés distinctives des liaisons carbones hybridées sp² avec les propriétés physicochimiques inhabituelles à l'échelle nanométrique.

Les nanoparticules à base de carbone sont utilisées dans une large gamme d'applications telles que l'administration de médicaments, le stockage d'énergie, la bio-imagerie, les dispositifs photovoltaïques et les applications de détection environnementale pour surveiller l'écologie microbienne ou détecter des agents pathogènes microbiens.

Les exemples célèbres de la classe des NP à base de carbone, sont les fullerènes, les NP de noir de carbone et les points quantiques de carbone (illustrés dans la Figure 6). Les fullerènes sont des molécules de carbone caractérisées par une structure symétrique en cage fermée d'un nombre donnée d'atomes de carbone. Les NP de noir de carbone sont des agrégats en forme de raisin de particules sphériques hautement fusionnées. Les points quantiques de carbone sont constitués de NP de carbone discrètes et quasi sphériques de tailles inférieures à 10 nm.

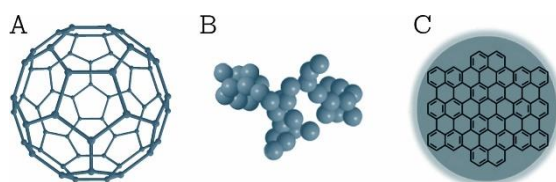


Fig. 6. Différents types de nanoparticules à base de carbone. A Fullerène C60; B nanoparticules de noir de carbone; et C points quantiques de carbone [12]

2.3.3 NP INORGANIQUES

Les nanoparticules inorganiques sont les NPs qui ne sont constituées ni de carbone ni de matériaux organiques. Les exemples typiques de cette classe sont les nanoparticules métalliques, céramiques et semi-conductrices.

Les nanoparticules métalliques sont constituées uniquement de précurseurs métalliques comme l'Argent et l'Or. Les NPs métalliques sont de plus en plus utilisés dans de nombreuses applications physiques, chimiques, biologiques, biomédicales et pharmaceutiques.

Les nanoparticules céramiques sont constituées de carbonates, de carbures, de phosphates et d'oxydes de métaux et de métalloïdes, tels que le titane et le calcium. Elles sont principalement utilisées dans les applications biomédicales en raison de leur grande stabilité et de leur capacité de charge élevée.

Les nanoparticules semi-conductrices sont constituées de matériaux semi-conducteurs, qui possèdent des propriétés entre les métaux et les non-métaux. Ces nanoparticules sont des matériaux importants dans la photocatalyse, l'optique et les dispositifs électroniques [12].

2.4 PROPRIETES

Les NP peuvent être utilisées dans une longue liste d'applications en raison de leurs propriétés physiques et chimiques uniques qui n'existent pas dans leurs plus grandes dimensions de mêmes matériaux.

2.4.1 PROPRIETES MECANIQUES

Les propriétés mécaniques désignent les caractéristiques mécaniques d'un matériau dans différentes conditions, environnements et diverses forces externes. Comme pour les matériaux traditionnels, les propriétés mécaniques des nanomatériaux se composent généralement de dix parties: résistance, fragilité, dureté, ténacité, résistance à la fatigue, plasticité, élasticité, ductilité, rigidité et limite d'élasticité. En raison des effets de surface et quantiques, les NP présentent des propriétés mécaniques différentes de celles des matériaux massifs [25].

Diverses forces d'interaction entre les NP ou entre les NP et leur surface, sont à l'origine de l'émergence de nouvelles propriétés mécaniques. Il existe différentes théories sur comment les forces d'interaction entre NP leur confèrent de nouvelles propriétés mécaniques [12].

2.4.2 PROPRIETES THERMIQUES

Les principaux composants des propriétés thermiques d'un matériau sont la conductivité thermique, le pouvoir thermoélectrique, la capacité thermique et la stabilité thermique. Le transfert de chaleur dans les NP dépend principalement de la conduction d'énergie due aux électrons ainsi qu'aux photons et aux effets de diffusion qui les accompagnent. La taille des NP a un impact direct sur sa conductivité électrique et thermique [26].

2.4.3 PROPRIETES MAGNETIQUES

Les propriétés magnétiques des matériaux changent à l'échelle nanométrique. Plusieurs matériaux deviennent magnétiques sous forme de nanoparticules en raison d'une distribution électronique inégale.

Dans les matériaux en vrac, les paramètres clés pour déterminer les propriétés magnétiques sont la composition, la structure cristallographique, l'anisotropie magnétique et les défauts de lacunes. Cependant, à l'échelle nanométrique, deux paramètres plus importants sont fortement impliqués, à savoir la taille et la forme.

Lorsque la taille des NP diminue, l'énergie d'anisotropie magnétique, qui est l'énergie qui maintient le moment magnétique dans une orientation particulière, par nanoparticule diminue.

Le deuxième paramètre clé pour déterminer les propriétés magnétiques des NP est la forme. En comparaison avec le paramètre de taille, il existe beaucoup moins de recherches sur l'effet de la forme sur les propriétés magnétiques des NP ayant le même volume [27].

2.4.4 PROPRIETES ELECTRONIQUES ET OPTIQUES

Les nanoparticules métalliques et semi-conductrices possèdent une absorption linéaire intéressante, une émission de photoluminescence et des propriétés optiques non linéaires en raison du confinement quantique et de l'effet de résonance plasmique de surface localisée (LSPR). En général, les propriétés optiques des NP dépendent de la taille, de la forme et de l'environnement diélectrique des nanoparticules [12], [28].

2.4.5 PROPRIETES CATALYTIQUES

La nano catalyse, c'est-à-dire l'utilisation de nanoparticules comme catalyseurs, est un domaine en évolution rapide au sein de la catalyse chimique. Des propriétés catalytiques considérablement améliorées ou nouvelles, telles que la réactivité et la sélectivité, ont été rapportées pour les catalyseurs à base de nanoparticules par rapport à leurs analogues en vrac. Les propriétés catalytiques des nanoparticules dépendent de la taille, de la forme, de la composition, de l'espacement interarticulaire, de l'état d'oxydation et du support des nanoparticules [29].

La dépendance de l'activité catalytique sur la taille des NP est bien étudiée. La relation est inverse, c'est-à-dire que plus les NP sont petites, plus elles sont actives sur le plan catalytique. Les chercheurs ont observé que les plus petites NP fournissaient les densités de courant normalisées les plus élevées [12].

Il est également connu que la forme affecte la réactivité et la sélectivité des NP.

En ce qui concerne la composition, plusieurs études ont montré que l'utilisation d'alliages dans les NP peut améliorer l'activité catalytique en raison de l'effet d'alliage provoquant des changements dans les propriétés électroniques du catalyseur, diminuant les effets d'empoisonnement et fournissant des sélectivités distinctes [29].

En plus des réactivités catalytiques améliorées, le support joue également un rôle important dans la stabilisation des NP, c'est-à-dire la stabilisation des NP contre le grossissement, la stabilisation des oxydes métalliques à la surface des NP et la stabilisation des espèces de réactions intermédiaires [29].

2.5 CARACTERISATION

Les propriétés des NP déterminent leurs applications potentielles. Par conséquent, différentes méthodes et techniques sont utilisées pour l'analyse et la caractérisation des diverses propriétés physico-chimiques des NP.

2.5.1 MORPHOLOGIQUE ET TOPOGRAPHIQUE

Les caractéristiques morphologiques et topographiques des NP présentent un grand intérêt car elles influencent la plupart des propriétés des NP décrites ci-dessus. Ces caractéristiques comprennent la taille, la forme, la dispersion, la localisation, l'agglomération/agrégation, la morphologie de surface, la surface et la porosité des nanoparticules.

La microscopie électronique [12], la diffusion dynamique de la lumière (DLS) [30] également appelée spectroscopie de corrélation de photons (PCS) [31], l'analyse de suivi des nanoparticules (NTA) [32], la méthode Brunauer-Emmett-Teller (BET) [5], et la méthode Barrett-Joyner-Halenda (BJH) [33] sont autant de méthode de caractérisation morphologique et topographique.

2.5.2 STRUCTURAL ET CHIMIQUE

La caractérisation de la structure et de la composition des NP revêt d'une grande importance du fait de la grande influence de ces paramètres sur les propriétés physicochimiques.

Les techniques citées dans la suite de cette section, sont couramment utilisées pour l'analyse de la composition, de la phase, de la cristallinité, de la fonctionnalisation, de l'état chimique (oxydation), de la charge de surface, de la polarité, de la liaison et des propriétés électrochimiques des NP: l'analyse par diffraction des rayons X (DRX) [34], la spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie (EDX) [35], l'imagerie annulaire à champ sombre à grand angle (HAADF) [36], la technique de spectroscopie de photoélectrons à rayons X (XPS) [5], la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) [37], [38], la technique de l'analyse du potentiel zêta [39], la Voltamétrie cyclique (CV) [40], [41], [42], et la spectroscopie Raman [5].

2.5.3 OPTIQUE, ELECTRONIQUE ET ELECTRIQUE

Outre la spectroscopie Raman et la spectroscopie SERS, d'autres techniques peuvent également être utilisées pour étudier et caractériser les propriétés optiques des nanoparticules. Ces techniques fournissent des informations sur les propriétés d'absorption, de réflectance, de fluorescence, de luminescence, d'état électronique, de bande interdite, de photo activité et de conductance électrique des nanoparticules: la spectroscopie ultraviolette-visible (UV-vis) [12], la spectroscopie de photoluminescence (PL) [43], la spectroscopie de réflectance diffuse UV-vis (DRS) [44], et l'ellipso métrie spectroscopique [5].

2.5.4 MAGNETIQUE

Les propriétés magnétiques des nanoparticules sont d'une grande importance, car elles leur confèrent potentiellement de grands avantages dans les domaines de la catalyse, de l'électronique et des applications médicales.

Plusieurs techniques ont été développées pour la détection et la quantification de petits moments magnétiques dans les nanoparticules: la microscopie à force magnétique (MFM) [45], la magnétométrie par échantillon vibrant (VSM) [46], la magnétométrie à interférence quantique supraconductrice (SQUID) [12], et la spectroscopie de résonance de spin électronique (ESR) [47].

2.5.5 THERMIQUE

Plusieurs techniques peuvent être utilisées pour caractériser les propriétés thermiques des NP, telles que les points de fusion, les points de cristallisation et de transition de phase structurelle, la capacité thermique, la conductivité thermique et la stabilité thermique et oxydative: la calorimétrie différentielle à balayage (DSC), l'analyse thermique différentielle (ATD), l'analyse thermogravimétrique (ATG) [48], la méthode du fil chaud transitoire (THW) [12].

2.5.6 MECANIQUE

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour caractériser les propriétés mécaniques des NP, telles que les résistances à la traction et à la compression, l'élasticité, la viscoélasticité, la dureté et la rigidité: la tensiométrie, la méthode des essais d'indentation instrumentés, l'analyse mécanique dynamique (DMA) [12].

2.6 MECANISMES ANTIBACTERIENS

Le mécanisme exact des nanoparticules pour les espèces bactériennes n'a pas encore été entièrement élucidé, mais leur fonction est principalement due à l'induction d'un stress oxydatif dû à la formation de radicaux libres [49].

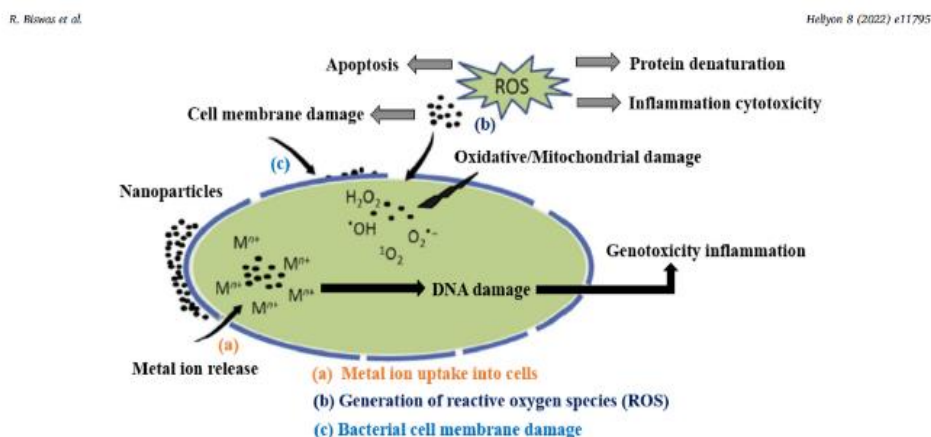


Figure 3. Schematic diagram of nanoparticle toxicity and antibacterial mechanisms. ROS – reactive oxygen species. Adapted from (López-Rubio et al., 2019; Naidu et al., 2015; Pathakoti et al., 2017).

Fig. 7. Schéma de la toxicité des nanoparticules et des mécanismes antibactériens [50]

Néanmoins, on sait que les nanoparticules pénètrent à travers les trous et les creux présents sur la membrane cellulaire et endommagent ainsi la cellule. Les nanoparticules métalliques se fixent alors à la membrane cellulaire bactérienne et libèrent des ions métalliques qui modifient la perméabilité de la membrane cellulaire, provoquant la mort de la cellule bactérienne [51].

La destruction de la paroi cellulaire et l'extrusion du contenu présent dans le cytoplasme sont illustrées dans la Figure 8.

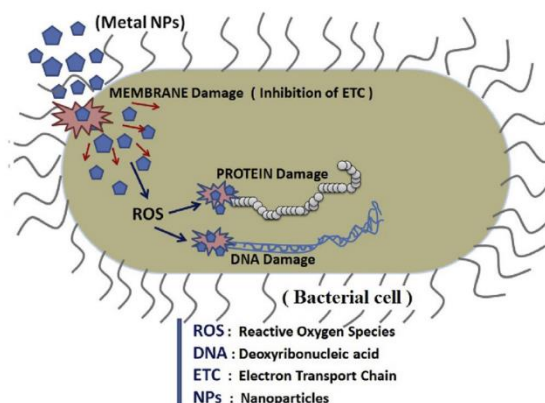


Fig. 8. L'interaction des nanoparticules métalliques avec les cellules bactériennes est illustrée dans la figure ci-dessus. Les ROS sont le principal facteur responsable des dommages cellulaires [49]

L'absorption d'ions métalliques dans les cellules, l'épuisement des cellules, la perturbation de la réplication de l'ADN, la libération d'ions métalliques et la génération de ROS, ainsi que l'accumulation et la dissolution de NP dans la membrane bactérienne, sont le mécanisme probable du fonctionnement des nanoparticules en tant qu'agent antibactérien, comme le montre la Figure 9 [49].

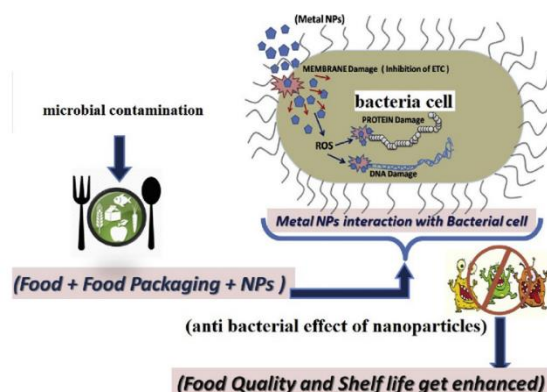


Fig. 9. Mécanisme proposé de l'activité antibactérienne des nanoparticules contre les cellules bactériennes pathogènes [49]

3 SYNTHÈSE DES NANOPARTICULES

3.1 APPROCHES DE SYNTHÈSE

Diverses méthodes peuvent être utilisées pour synthétiser des nanoparticules. Toutefois ces méthodes peuvent être regroupées en deux grandes approches: l'approche descendante « top-down » et l'approche ascendante « Bottom-up ». Ces approches se divisent en plusieurs sous-classes en fonction de l'opération, des conditions de réaction et des protocoles adoptés [5].

3.1.1 APPROCHE DESCENDANTE

L'approche descendante « top-down » est plus utilisée pour le traitement des matériaux inorganiques par des méthodes traditionnelles telles que le broyage, le tamisage et les réactions chimiques [52]. Cette méthode utilise une approche destructive. On part d'une molécule plus grosse, qui se décompose en unités plus petites, puis ces unités sont converties en NP adaptées (Khan, et al., 2019).

3.1.2 APPROCHE ASCENDANTE

L'approche ascendante « Bottom-up » est utilisée en sens inverse car les NP sont formées à partir de substances relativement plus simples. Cette approche est également appelée approche de construction. Des exemples de ce cas sont les techniques de sédimentation et de réduction. Cela comprend le sol-gel, la synthèse verte, le filage et la synthèse biochimique [53].

3.2 MÉTHODES DE SYNTHÈSE

Les propriétés physiques, chimiques et biologiques distinctives des nanoparticules les rendent idéales pour une variété d'applications dans diverses industries et secteurs biomédicaux [54]. Diverses méthodes chimiques, physiques et biologiques sont actuellement accessibles pour créer diverses variétés de nanoparticules [55].

3.2.1 MÉTHODES PHYSIQUES

Les nanoparticules sont traditionnellement produites à l'aide de méthodes physiques, qui utilisent l'énergie thermique, le rayonnement à haute énergie et la pression mécanique pour provoquer la condensation, l'évaporation, l'abrasion ou la fusion des matériaux. Les méthodes physiques sont supérieures aux approches chimiques en termes d'absence de contamination par solvant dans les films minces et d'homogénéité de la distribution des nanoparticules. Les méthodes physiques utilisent une approche descendante, sont sans solvant et produisent des nanoparticules monodisperses cohérentes.

L'ablation laser [56], la pyrolyse laser, le dépôt physique en phase vapeur, le broyage à billes à haute énergie [57] et la condensation de gaz inerte [58] font partie des méthodes physiques couramment utilisées pour générer des nanoparticules [55].

3.2.2 METHODES CHIMIQUES

La méthode chimique utilise des agents réducteurs organiques et inorganiques pour la synthèse des nanoparticules. Les agents réducteurs réduisent les ions, ce qui entraîne la formation de métal et son agglomération en amas oligomériques. Des particules colloïdales métalliques se forment à la suite de ces amas. Il est essentiel d'utiliser des agents protecteurs lors de la préparation de nanoparticules métalliques afin d'empêcher les nanoparticules de s'agglutiner et donc de stabiliser les nanoparticules dispersives [55].

Les méthodes chimiques utilisées pour créer des nanoparticules comprennent entre autres la synthèse hydrothermale, la méthode sol-gel, la synthèse par plasma et par vapeurs chimiques. Ces méthodes sont classées comme synthèse ascendante de nanoparticules.

3.2.3 METHODES BIOLOGIQUES

Bien que les méthodes chimiques et physiques soient plus couramment utilisées pour la synthèse des nanoparticules, leurs applications sont limitées en raison de l'utilisation de composés et de rendements toxiques. Les méthodes chimiques et physiques présentent certains inconvénients, notamment un temps de synthèse long, des coûts de production plus élevés, une purification difficile, ainsi que le rejet de sous-produits dangereux et nocifs. Les techniques de synthèse chimique peuvent également contribuer à l'apparition d'espèces chimiques dangereuses qui ont été adsorbées, ce qui peut entraîner des conséquences négatives dans les applications médicales [55].

En raison de la simplicité et de la polyvalence des procédures, le développement de méthodes de production biogénétique respectueuses de l'environnement devient de plus en plus populaire. La technique de biosynthèse des nanoparticules suit une méthode ascendante qui implique une réaction primaire (oxydation/réduction) [57].

Les méthodes biologiques de synthèse des nanoparticules peuvent être généralement classées en différentes catégories: Synthèse basée sur des biomolécules, Synthèse basée sur des micro-organismes et Synthèse basée sur des plantes.

Synthèse biologique de nanoparticules à l'aide de biomolécules: Les biomolécules sont des nanostructures sophistiquées, programmées par des informations de séquence et adaptées par l'évolution. Les virus, les diatomées, l'ADN, l'ARN et les protéines sont tous des outils puissants qui sont utilisés comme modèle (matrice) pour la synthèse de nanoparticules. Les filaments d'actine ont l'avantage de servir de modèle pour la formation de nanofils. L'ADN est considéré comme un modèle biomoléculaire admirable et un candidat prometteur avec une forte affinité pour les ions de métaux de transition. Les groupes fonctionnels d'acides aminés trouvés dans l'enzyme moléculaire pourraient fonctionner comme agent réducteur pour la synthèse de nanoparticules métalliques, tandis que la chaîne polypeptidique restante pourrait aider à stabiliser les nanoparticules [59].

Synthèse biologique de nanoparticules à l'aide de micro-organismes: c'est une méthode de chimie verte qui combine la nanotechnologie et la biotechnologie microbienne. Les microbes sont de petits organismes qui incluent les bactéries, les champignons et les virus. La synthèse microbienne de nanoparticules combine plusieurs disciplines, dont la biotechnologie, la microbiologie et la nanotechnologie, pour former un nouveau domaine connu sous le nom de nanobiotechnologie [60]. Les bactéries, les virus, les champignons, les algues, les levures et les actinomycètes sont tous couramment utilisés comme bioréacteurs dans la synthèse de nanoparticules [61].

Synthèse biologique de nanoparticules à partir de plantes: L'utilisation de plantes pour la synthèse de nanoparticules présente l'avantage d'être pratique, facile à manipuler et de contenir une variété de métabolites qui peuvent favoriser la réduction. Les propriétés médicinales des plantes sont connues depuis le début de la civilisation humaine. Les résultats de l'efficacité médicale des plantes ont déjà été testés par des ethno pharmacologues, des botanistes, des microbiologistes et des chimistes avec des produits naturels [55]. De nombreuses biomolécules naturelles des plantes jouent un rôle crucial dans la bio réduction, la formation, le coiffage et la stabilisation des nanoparticules [62]. Les plantes, en particulier, sécrètent des biomolécules fonctionnellement actives, réduisant les ions métalliques, rendant la synthèse de nanoparticules biologiques biocompatible. Les plantes sont utilisées pour fabriquer des nanoparticules car elles sont spontanées, peu coûteuses et ont un processus de biosynthèse en une seule étape [63]. Un certain nombre de plantes et leurs différentes parties (feuilles, racines, graines, écorces, fleurs, fruits) sont utilisées pour la biosynthèse de nanoparticules. De nombreux extraits de plantes différents ont été utilisés comme précurseurs dans la création de nanoparticules (NP) avec des applications potentielles [64], [65], [66], [67]. La synthèse biologique des nanoparticules à partir des plantes est aussi appelée **synthèse verte des nanoparticules**. La synthèse verte est un domaine émergent dans le domaine de la bio nanotechnologie et offre des avantages économiques et environnementaux en tant qu'alternative aux méthodes chimiques et physiques. Dans cette méthode, des réactifs sûrs, non toxiques et respectueux de l'environnement sont utilisés [68].

La procédure expérimentale pour la synthèse de NP à partir de biomasse végétale est illustrée dans la Figure 10.

Le pH du milieu solvant, la température, la concentration de sel, et le temps de réaction de réduction sont autant de facteurs qui peuvent influencer la synthèse des nanoparticules métalliques [62].

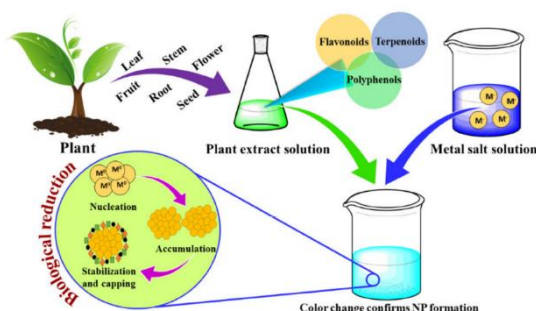


Fig. 10. Représentation schématique de la biosynthèse de nanoparticules médiée par les plantes [69]

4 APPLICATIONS

En raison de leurs propriétés physicochimiques uniques ou améliorées mentionnées plus haut, les NP sont utilisées dans une large gamme d'applications dans différents domaines. Nous présentons ici quelques domaines d'application des nanoparticules.

4.1 MEDECINE ET PHARMACIE

La recherche sur l'utilisation des nanoparticules dans la médecine pour le traitement du cancer a connu des progrès significatifs. En effet, il a été montré que les NP métalliques et semi-conductrices, en raison de leurs propriétés améliorées de diffusion et d'absorption de la lumière (effet LSPR), ont un énorme potentiel pour le diagnostic et le traitement du cancer. Par exemple, l'excellente capacité d'absorption de la lumière et sa reconversion en chaleur localisée, et les propriétés optiques uniques des NP Au, en font un excellent candidat pour la thérapie photo thermique sélective du cancer (mort des cellules cancéreuses par la chaleur générée dans le tissu tumoral) [70], [71], et pour la thérapie photo dynamique du cancer (l'utilisation d'un médicament activé par la lumière pour tuer les cellules cancéreuses) [72].

Des études sur les NP à base de Gd ont également montré de grandes capacités dans l'inhibition de la croissance tumorale [73], l'inhibition des métastases [74] et l'amélioration du contraste de résonance magnétique spécifique à la tumeur [75].

Par ailleurs des études ont également montré que les nanoparticules de ZnO et de Fe₃O₄ pouvaient être utilisées efficacement pour l'administration ciblée de médicaments et la destruction sélective de cellules tumorales [76], [77], [78]

Hormis le traitement du cancer, les nanoparticules ont montré du succès dans différentes applications médicales telles que l'imagerie cellulaire [79], ou dans les biocapteurs pour l'ADN, les glucides, les protéines et les ions de métaux lourds [80], [81], la détermination des niveaux de glucose sanguin [82] et pour les diagnostics médicaux pour détecter les bactéries [83] et les virus [84].

Dans le même temps, en raison de leurs activités antimicrobiennes et antibactériennes, les NP telles que TiO₂, ZnO, CuO et BiVO₄ sont de plus en plus utilisées dans divers produits médicaux tels que les cathéters [85], [86].

4.2 AGRICULTURE

Les nanoparticules sont principalement utilisées sous deux formes en agriculture, comme nanofertilisants et nanopesticides. Les nanoparticules ont le potentiel d'être bénéfiques pour le secteur agricole en fournissant de nouvelles solutions aux problèmes agricoles et environnementaux actuels. En effet, bien que l'application des engrais chimiques augmente la productivité des cultures, leur impact environnemental est accru par la quantité excessive nécessaire à appliquer pour obtenir des résultats [87].

En revanche, les nanofertilisants sont des composés qui sont appliqués en plus petites quantités que les engrais chimiques classiques mais qui ont pourtant une meilleure efficacité [88]. La différence d'efficacité vient du fait qu'ils sont capables de

libérer les nutriments, juste au moment et à l'endroit où les plantes en ont besoin. De cette façon, ils limitent la pollution atmosphérique et des eaux par les engrais [89].

Plusieurs nanoparticules ont été utilisées dans le développement d'engrais, notamment les nanoparticules de dioxyde de silicium (SiO₂), d'oxyde de Zinc (ZnO), d'oxyde de cuivre (CuO), de fer (Fe) et de magnésium (Mg). Ces nanofertilisants permettent aux plantes de mieux fixer l'azote, d'améliorer la germination des graines, de mieux résister au stress dû à la sécheresse, d'augmenter le poids des graines et d'augmenter la capacité de photosynthèse [90], [91].

Plusieurs nanofertilisants ont prouvé leurs activités antimicrobiennes, insecticides et nématicides, ce qui en font une alternative prometteuse aux pesticides chimiques et une alternative potentiellement moins chère aux biopesticides [69].

Par exemple, des études ont montré une puissante activité antimicrobienne des nanofertilisants de dioxyde de titane (TiO₂) contre *Xanthomonas perforans*, l'agent responsable de la maladie des taches de la tomate [92], une activité insecticide des nanofertilisants d'oxyde de cuivre (CuO) contre *Spodoptera littoralis*, connu sous le nom de ver africain du cotonnier [93], et une activité nématicide des nanofertilisants d'argent (Ag) contre *Meloidogyne spp.*, les nématodes à galles [94].

4.3 INDUSTRIE ALIMENTAIRE

Les NP, malgré les préoccupations toxicologiques, ont des applications importantes dans plusieurs processus liés à l'industrie alimentaire tels que la production, la conservation et l'emballage des aliments.

4.3.1 PRODUCTION DES ALIMENTS

L'intégration des NP dans les processus de production des aliments est de plus en plus grandissante. En termes de production alimentaire, l'utilisation des NP s'est beaucoup plus accentué sur l'amélioration de la qualité des aliments.

La contamination microbienne est la cause principale d'intoxication alimentaire qui constitue un problème de santé publique. De nouveaux nano-antimicrobiens ont montré des effets prometteurs sur la prévention de la détérioration des aliments, prolongeant ainsi leur durée de conservation. Un certain nombre de nanomatériaux métalliques et d'oxydes métalliques ont depuis longtemps été considérés efficaces en tant que antimicrobiens [95]. Les propriétés physicochimiques intrinsèques de ces nanomatériaux, permettent la formation excessive d'espèces réactives de l'oxygène (ROS), conduisant à un stress oxydatif et à des dommages cellulaires ultérieurs [96], [97]. La figure représente les mécanismes possibles de toxicité des nanomatériaux métalliques.

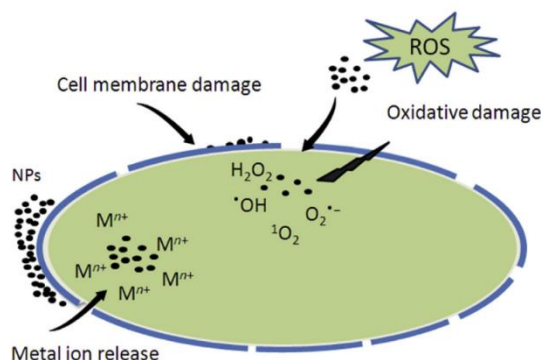


Fig. 11. Représentation schématique des mécanismes possibles de toxicité impliqués dans les nanomatériaux contenant du métal: (1) absorption d'ions métalliques dans les cellules, (2) génération d'espèces réactives de l'oxygène et (3) dommages à la membrane cellulaire bactérienne [98]

Des nanomatériaux moins réactifs pour provoquer un stress oxydatif sont aussi développés pour agir comme transporteurs d'antioxydants. Selon [99], les nanoparticules polymères conviennent à l'encapsulation de composés bioactifs (par exemple, des flavonoïdes et des vitamines) et à leur libération dans des environnements acides (c'est-à-dire, l'estomac). Aussi, des nanoparticules d'acide gallique SiO₂ en tant que nouveaux nano antioxydants sont développées et testées en fonction de leur capacité de piégeage des radicaux 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle [100].

Les NP sont aussi utilisés pour améliorer les propriétés physiques, telles que la couleur, la saveur des aliments. Certains produits à base de nanomatériaux ont actuellement été approuvés pour une utilisation comme additifs colorants alimentaires,

qui jouent un rôle essentiel dans l'attrait psychologique des produits de consommation. C'est le cas par exemple du TiO₂ qui a été approuvé par la FDA américaine comme additif colorant alimentaire [95].

Les arômes sont très importants dans la production des aliments, car ils permettent une perception sensorielle du goût et de l'odorat pour améliorer l'expérience culinaire globale. Par exemple, les techniques d'encapsulation ont été utilisées pour retenir et libérer de manière contrôlée les arômes [101].

4.3.2 EMBALLAGES ET PRESERVATION DES ALIMENTS

Les emballages alimentaires basés sur la nanotechnologie peuvent être divisés en trois catégories: la première est le système d'emballage amélioré, la deuxième est le système d'emballage actif et la troisième est le système d'emballage intelligent [49].

Les NP ont permis de modifier les matériaux d'emballage des aliments en améliorant entre autres leur barrière mécanique et leur efficacité antimicrobienne. Les systèmes de conservation des aliments avec emballage antimicrobien offrent des propriétés de barrière avancées aux aliments [102]. L'activité antimicrobienne photo catalytique des nanoparticules de TiO₂ en fait un matériau intéressant pour l'emballage alimentaire [103]. De plus, elles sont également utilisées dans les capteurs pour détecter les composés organiques volatils [104]. Les nanoparticules d'argent sont également prometteuses dans l'emballage alimentaire en raison de leur activité antimicrobienne. Elles jouent un rôle important dans la réduction du risque d'agents pathogènes et la prolongation de la durée de conservation des aliments [69].

La nanotechnologie offre une sécurité alimentaire en termes d'emballage pour assurer une durée de conservation plus longue des produits alimentaires en évitant la perte de nutriments [98]. Par exemple, le chlorure de polyvinyle dopé aux NP d'Ag a été évalué pour l'emballage de viande hachée à température de réfrigérateur (4 °C); les résultats ont montré que les AgNP ont contribué de manière significative à ralentir la croissance bactérienne, augmentant la durée de conservation de la viande hachée de 2 à 7 jours [105].

Les propriétés antioxydantes des nanomatériaux, ont permis quelques applications comme agents anti-brunissement dans l'emballage des fruits. L'utilisation d'emballage actif recouvert de nano-ZnO a permis de conserver l'apparence initiale des pommes « Fuji » fraîchement coupés, d'éviter l'indice de brunissement, et d'améliorer les propriétés de durée de conservation [95].

Outre les avantages mentionnés ci-dessus, les nanomatériaux ont également été constamment développés pour améliorer les propriétés physiques et mécaniques des emballages en termes de résistance à la traction, de rigidité, de perméabilité aux gaz, de résistance à l'eau, de résistance aux flammes, etc [95].

4.3.3 COMPLEMENTS ALIMENTAIRES

Les applications potentielles de la nanotechnologie dans les aliments fonctionnels et la conception de compléments nutritionnels et de produits nutraceutiques contenant des ingrédients et des additifs de taille nanométrique tels que des vitamines, des antimicrobiens, des antioxydants et des conservateurs sont actuellement disponibles pour améliorer le goût, l'absorption et la biodisponibilité [106].

La nano encapsulation est le processus d'emballage de matériaux à l'échelle nanométrique à l'aide de nano capsules, et elle fournit une fonctionnalité du produit final qui comprend la libération contrôlée du noyau. Ainsi, les formes encapsulées d'ingrédients présentent plusieurs avantages, notamment une durée de conservation plus longue, une stabilité améliorée, la distribution consécutive de plusieurs ingrédients actifs et une libération contrôlée déclenchée par le pH [98].

L'utilisation de nanomatériaux comme systèmes de distribution pour améliorer la biodisponibilité de composés bioactifs en tant que compléments nutritionnels a été examinée dans certaines études [107].

Des ingrédients fonctionnels tels que des vitamines, des antioxydants, des probiotiques, des caroténoïdes, des conservateurs, des acides gras oméga, des protéines, des peptides et des lipides ainsi que des glucides sont incorporés dans un système de nano distribution.

La nano encapsulation est un domaine majeur de la nanotechnologie, qui est utilisée efficacement pour administrer des ingrédients et des additifs alimentaires sensibles. Les ingrédients et additifs alimentaires nano encapsulés sont utilisés dans une gamme de produits alimentaires tels que l'administration de microbes probiotiques vivants pour une fonction métabolique

saine [69]. Les probiotiques nano encapsulés peuvent être délivrés de manière sélective à certaines parties du tractus gastro-intestinal, où ils ont la capacité de moduler les réponses immunitaires [98].

5 RISQUES LIÉS À L'UTILISATION DES NANOPARTICULES DANS L'INDUSTRIE ALIMENTAIRE

Les diverses applications des nanoparticules et de la nanotechnologie offrent de nombreux avantages pour la qualité et la sécurité des aliments. De la ferme à l'assiette, la nanotechnologie a prouvé son impact à chaque étape de la fabrication des aliments, améliorant la durée de conservation, la nutrition, le contrôle de la qualité et l'emballage intelligent.

Cependant, les applications non réglementées des nanoparticules peuvent présenter des risques pour la santé humaine et l'environnement [69]. Lorsque les nanoparticules pénètrent dans le corps, elles entrent en contact avec diverses entités biologiques telles que les protéines, les lipides et les enzymes présents dans le liquide biologique. Ces biomolécules interagissent avec la surface des nanoparticules pour former une couche complexe appelée « couronne », sur les nanoparticules. La force de la couronne, faible ou forte, est déterminée par les propriétés physiques et chimiques des particules. Cette couronne protéique est responsable de divers effets toxiques [49].

La nano toxicité des NP est principalement médiée par la surproduction de ROS, ce qui entraîne l'induction d'un stress oxydatif et empêche ainsi les cellules de maintenir des fonctions physiologiques normales régulées par la redox. Ainsi, la nano toxicité peut entraîner des dommages à l'ADN, une signalisation cellulaire dérégulée, une modification de la motilité cellulaire, une cytotoxicité, une apoptose et l'initiation du cancer [96].

La libération massive de NP dans l'environnement par diverses industries entraîne la production de nanodéchets et s'avère dangereuse pour les organismes vivants et constitue une menace pour l'équilibre des écosystèmes. Ces NP peuvent persister dans l'air, le sol, l'eau ou les systèmes biologiques [108].

Les NP entraînent des conséquences néfastes sur la santé humaine et animale. Les NP peuvent pénétrer dans le corps humain ou animal par la peau, par voie orale ou par les voies respiratoires, puis se déplacer vers d'autres parties du corps. L'utilisation de NP a intensifié le risque de diverses maladies chez l'homme telles que le diabète, le cancer, l'asthme bronchique, les allergies, l'inflammation, etc [109]. Il a été constaté que l'exposition aux NP active les cytokines et les chimiokines pro-inflammatoires avec recrutement de cellules inflammatoires, ce qui affecte l'homéostasie du système immunitaire et peut conduire à des maladies auto-immunes, allergiques ou néoplasiques [108].

La nano encapsulation et les additifs alimentaires, favorisent le contact direct des NP avec les organes internes du corps humains, et peuvent s'accumuler. Une étude sur le TiO₂ contenu dans les chewing-gums enrobés de sucre a révélé que plus de 93 % du TiO₂ présent dans les chewing-gums est de taille nanométrique, et peut facilement être libéré, être avalé avec la salive et s'accumuler progressivement dans l'organisme [95]. Aussi, la consommation d'aliments contenant du E551, expose à une accumulation progressive dans l'organisme de NP de SiO₂ [110]. De plus, la nano encapsulation permet également le contact direct des nanomatériaux avec l'homme par ingestion orale.

Les revêtements comestibles à l'échelle nanométrique, qui sont apparus comme une alternative intéressante pour préserver la qualité des aliments, prolonger la durée de conservation et prévenir la détérioration microbienne, favorisent l'exposition directe des humains aux nanomatériaux [95].

L'utilisation des emballages alimentaires à base de NP, expose aussi directement les humains à la nano toxicité. En effet, des études ont montré la possibilité de migration des NP vers les aliments, qui seront ensuite consommés par les Hommes. Par exemple, les nanoparticules d'argent et d'oxyde de zinc peuvent migrer dans les aliments lorsqu'ils sont utilisés comme matériaux d'emballage, et des ions argent d'un niveau détectable ont été infiltrés dans les exsudats de viande (mais pas dans la viande elle-même); il a également été signalé que les ions métalliques d'argent et de zinc se sont infiltrés dans la substance alimentaire (jus d'orange), ce qui peut accélérer la dégradation de l'acide ascorbique [98]. La solubilité des nano-métaux augmente avec l'augmentation de la température et la diminution du pH, ce qui entraîne une accélération de la migration dans le système d'emballage [111]. L'utilisation des nanotechnologies n'a pas encore été étudiée en profondeur dans le contexte de sa toxicité. Le nombre de tests sur la migration des NP vers les aliments est encore largement limité et des recherches supplémentaires sont nécessaires avant d'appliquer largement ces matériaux. Il revêt d'une importance capitale qu'une évaluation des risques des applications des nanotechnologies dans le secteur alimentaire soit effectuée. Le grand défi consiste à associer les nanoparticules au système alimentaire. Par conséquent, des études supplémentaires doivent être menées pour évaluer la toxicité potentielle des nanomatériaux ou des nanostructures destinés à être utilisés dans les sciences alimentaires et les industries connexes.

6 CONCLUSION

Des études récentes ont accordé une grande attention aux nanotechnologies et aux nanoparticules. Les nanoparticules sont utilisées dans une variété d'applications. Dans l'industrie alimentaire, elles sont utilisées dans la production, le stockage et l'emballage des aliments, ainsi que dans la production des compléments alimentaires. Les nanoparticules sont des agents antibactériens prometteurs en raison de leur large activité contre les cellules bactériennes à Gram positif et à Gram négatif. Plusieurs techniques sont utilisées pour leur production mais la synthèse verte (technique biologique) demeure la plus attrayante. Malgré l'importance prouvée des nanoparticules, des risques sanitaires peuvent être associés à leur utilisation pour l'homme. Ce domaine mérite d'être davantage investigué.

REFERENCES

- [1] R. P. Feynman, « Plenty of Room at the Bottom », 1959.
- [2] K. Ramachandraiah, S. G. Han, et K. B. Chin, « Nanotechnology in Meat Processing and Packaging: Potential Applications — A Review », *Asian-Australas Journal of Animal Science*, vol. 28, n° 2, p. 290-302, 2015, doi: 10.5713/ajas.14.0607.
- [3] I. Dulinska-Molak *et al.*, « The influence of carbon-encapsulated iron nanoparticles on elastic modulus of living human mesenchymal stem cells examined by atomic force microscopy », *Micron*, vol. 108, p. 41-48, mai 2018, doi: 10.1016/j.micron.2018.02.006.
- [4] A. S. Elfeky *et al.*, « Multifunctional cellulose nanocrystal /metal oxide hybrid, photo-degradation, antibacterial and larvicidal activities », *Carbohydrate Polymers*, vol. 230, p. 115711, févr. 2020, doi: 10.1016/j.carbpol.2019.115711.
- [5] I. Khan, K. Saeed, et I. Khan, « Nanoparticles: Properties, applications and toxicities », *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 12, n° 7, p. 908-931, nov. 2019, doi: 10.1016/j.arabjc.2017.05.011.
- [6] S. S. Salem et A. Fouda, « Green Synthesis of Metallic Nanoparticles and Their Prospective Biotechnological Applications: an Overview », *Biol Trace Elem Res*, vol. 199, n° 1, p. 344-370, janv. 2021, doi: 10.1007/s12011-020-02138-3.
- [7] M. Emam *et al.*, « Green synthesis of silver nanoparticles from *Caesalpinia gilliesii* (Hook) leaves: antimicrobial activity and in vitro cytotoxic effect against BJ-1 and MCF-7 cells », *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, vol. 7, n° 8, p. 226-233, 2017, Consulté le: 16 novembre 2024.
[En ligne]. Disponible sur: https://japsonline.com/abstract.php?article_id=2395&sts=2.
- [8] S. A. David, K. M. Ponvel, M. A. Fathima, S. Anita, J. Ashli, et A. Athilakshmi, « Biosynthesis of silver nanoparticles by *Momordica charantia* leaf extract: Characterization and their antimicrobial activities », *J. Nat. Prod. Plant Resour*, vol. 4, n° 6, p. 1-8, 2014, Consulté le: 17 novembre 2024.
[En ligne]. Disponible sur: <https://www.academia.edu/download/59913016/JNPPR-2014-4-6-1-820190702-69414-dqrg87.pdf>
- [9] T. Guo *et al.*, « The Recent Advances of Magnetic Nanoparticles in Medicine », *Journal of Nanomaterials*, vol. 2018, n° 1, p. 7805147, 2018, doi: 10.1155/2018/7805147.
- [10] F. Parveen, B. Sannakki, M. V. Mandke, et H. M. Pathan, « Copper nanoparticles: Synthesis methods and its light harvesting performance », *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 144, p. 371-382, janv. 2016. doi: 10.1016/j.solmat.2015.08.033.
- [11] L. Nahar et S. D. Sarker, « Chapter 7 - Nanotechnology and oral health », in *Advances in Nanotechnology-Based Drug Delivery Systems*, A. Das Talukdar, S. Dey Sarker, et J. K. Patra, Éd., in Nanotechnology in Biomedicine., Elsevier, 2022, p. 155-176. doi: 10.1016/B978-0-323-88450-1.00014-4.
- [12] N. Joudeh et D. Linke, « Nanoparticle classification, physicochemical properties, characterization, and applications: a comprehensive review for biologists », *Journal of Nanobiotechnology*, vol. 20, n° 1, p. 262, juin 2022. doi: 10.1186/s12951-022-01477-8.
- [13] E. Villena de Francisco et R. M. García-Esteva, « Nanotechnology in the agrofood industry », *Journal of Food Engineering*, vol. 238, p. 1-11, déc. 2018, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2018.05.024.
- [14] M. G. M. Berges, R. J. Aitken, S. A. K. Read, K. Savolainen, M. Luotamo, et T. Brock, « Chapter 8 - Risk Assessment and Risk Management », in *Handbook of Nanosafety*, U. Vogel, K. Savolainen, Q. Wu, M. van Tongeren, D. Brouwer, et M. Berges, Éd., San Diego: Academic Press, 2014, p. 279-326. doi: 10.1016/B978-0-12-416604-2.00008-1.
- [15] « drinking-cup | British Museum ». Consulté le: 29 janvier 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.britishmuseum.org/collection/object/H_1958-1202-1.
- [16] S. Bayda, M. Adeel, T. Tuccinardi, M. Cordani, et F. Rizzolio, « The History of Nanoscience and Nanotechnology: From Chemical–Physical Applications to Nanomedicine », *Molecules*, vol. 25, n° 1, p. 112, déc. 2019. doi: 10.3390/molecules25010112.

- [17] G. Binnig, H. Rohrer, Ch. Gerber, et E. Weibel, « Tunneling through a controllable vacuum gap », *Applied Physics Letters*, vol. 40, n° 2, p. 178-180, janv. 1982, doi: 10.1063/1.92999.
- [18] D. M. Eigler et E. K. Schweizer, « Positioning single atoms with a scanning tunnelling microscope », *Nature*, vol. 344, n° 6266, p. 524-526, avr. 1990, doi: 10.1038/344524a0.
- [19] H. W. Kroto, J. R. Heath, S. C. O'Brien, R. F. Curl, et R. E. Smalley, « C60: Buckminsterfullerene », *Nature*, vol. 318, n° 6042, p. 162-163, nov. 1985, doi: 10.1038/318162a0.
- [20] S. Iijima, « Helical microtubules of graphitic carbon », *Nature*, vol. 354, n° 6348, p. 56-58, nov. 1991, doi: 10.1038/354056a0.
- [21] C. Kinnear, T. L. Moore, L. Rodriguez-Lorenzo, B. Rothen-Rutishauser, et A. Petri-Fink, « Form Follows Function: Nanoparticle Shape and Its Implications for Nanomedicine », *Chem Rev*, vol. 117, n° 17, p. 11476-11521, sept. 2017, doi: 10.1021/acs.chemrev.7b00194.
- [22] K. Pan et Q. Zhong, « Organic Nanoparticles in Foods: Fabrication, Characterization, and Utilization », *Annu Rev Food Sci Technol*, vol. 7, p. 245-266, 2016, doi: 10.1146/annurev-food-041715-033215.
- [23] S. Anu Mary Ealia et M. P. Saravanakumar, « A review on the classification, characterisation, synthesis of nanoparticles and their application », *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 263, n° 3, p. 032019, nov. 2017, doi: 10.1088/1757-899X/263/3/032019.
- [24] M. Gujrati, A. Malamas, T. Shin, E. Jin, Y. Sun, et Z.-R. Lu, « Multifunctional cationic lipid-based nanoparticles facilitate endosomal escape and reduction-triggered cytosolic siRNA release », *Mol Pharm*, vol. 11, n° 8, p. 2734-2744, août 2014, doi: 10.1021/mp400787s.
- [25] Q. Wu, W. Miao, Y. Zhang, H. Gao, et D. Hui, « Mechanical properties of nanomaterials: A review », *Nanotechnology Reviews*, vol. 9, n° 1, p. 259-273, janv. 2020, doi: 10.1515/ntrev-2020-0021.
- [26] R. A. Andrievski, « Review of thermal stability of nanomaterials », *Journal of Materials Science*, vol. 49, n° 4, p. 1449-1460, févr. 2014, doi: 10.1007/s10853-013-7836-1.
- [27] A. G. Kolhatkar, A. C. Jamison, D. Litvinov, R. C. Willson, et T. R. Lee, « Tuning the magnetic properties of nanoparticles », *Int J Mol Sci*, vol. 14, n° 8, p. 15977-16009, juill. 2013, doi: 10.3390/ijms140815977.
- [28] P. Kumbhakar, S. S. Ray, et A. L. Stepanov, « Optical Properties of Nanoparticles and Nanocomposites », *Journal of Nanomaterials*, vol. 2014, n° 1, p. 181365, 2014, doi: 10.1155/2014/181365.
- [29] B. R. Cuenya, « Synthesis and catalytic properties of metal nanoparticles: Size, shape, support, composition, and oxidation state effects », *Thin Solid Films*, vol. 518, n° 12, p. 3127-3150, avr. 2010, doi: 10.1016/j.tsf.2010.01.018.
- [30] Z. Li, Y. Wang, J. Shen, W. Liu, et X. Sun, « The measurement system of nanoparticle size distribution from dynamic light scattering data », *Optics and Lasers in Engineering*, vol. 56, p. 94-98, mai 2014, doi: 10.1016/j.optlaseng.2013.12.004.
- [31] N. Raval, R. Maheshwari, D. Kalyane, S. R. Youngren-Ortiz, M. B. Chougule, et R. K. Tekade, « Chapter 10 - Importance of Physicochemical Characterization of Nanoparticles in Pharmaceutical Product Development », in *Basic Fundamentals of Drug Delivery*, R. K. Tekade, Éd., in *Advances in Pharmaceutical Product Development and Research.*, Academic Press, 2019, p. 369-400. doi: 10.1016/B978-0-12-817909-3.00010-8.
- [32] J. Gross, S. Sayle, A. R. Karow, U. Bakowsky, et P. Garidel, « Nanoparticle tracking analysis of particle size and concentration detection in suspensions of polymer and protein samples: Influence of experimental and data evaluation parameters », *Eur J Pharm Biopharm*, vol. 104, p. 30-41, juill. 2016, doi: 10.1016/j.ejpb.2016.04.013.
- [33] R. Bardestani, G. S. Patience, et S. Kaliaguine, « Experimental methods in chemical engineering: specific surface area and pore size distribution measurements—BET, BJH, and DFT », *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, vol. 97, n° 11, p. 2781-2791, 2019, doi: 10.1002/cjce.23632.
- [34] J. Epp, « 4 - X-ray diffraction (XRD) techniques for materials characterization », in *Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods*, G. Hübschen, I. Altpeter, R. Tschuncky, et H.-G. Herrmann, Éd., Woodhead Publishing, 2016, p. 81-124. doi: 10.1016/B978-0-08-100040-3.00004-3.
- [35] R. Groarke, R. K. Vijayaraghavan, D. Powell, A. Rennie, et D. Brabazon, « 18 - Powder characterization—methods, standards, and state of the art », in *Fundamentals of Laser Powder Bed Fusion of Metals*, I. Yadroitsev, I. Yadroitsava, A. du Plessis, et E. MacDonald, Éd., in *Additive Manufacturing Materials and Technologies.*, Elsevier, 2021, p. 491-527. doi: 10.1016/B978-0-12-824090-8.00006-8.
- [36] S. Utsunomiya et R. C. Ewing, « Application of high-angle annular dark field scanning transmission electron microscopy, scanning transmission electron microscopy-energy dispersive X-ray spectrometry, and energy-filtered transmission electron microscopy to the characterization of nanoparticles in the environment », *Environ Sci Technol*, vol. 37, n° 4, p. 786-791, févr. 2003, doi: 10.1021/es026053t.
- [37] M. Deepty et al., « XRD, EDX, FTIR and ESR spectroscopic studies of co-precipitated Mn-substituted Zn-ferrite nanoparticles », *Ceramics International*, vol. 45, n° 6, p. 8037-8044, avr. 2019, doi: 10.1016/j.ceramint.2019.01.029.
- [38] J. Manor, E. S. Feldblum, M. T. Zanni, et I. T. Arkin, « Environment Polarity in Proteins Mapped Noninvasively by FTIR Spectroscopy », *J Phys Chem Lett*, vol. 3, n° 7, p. 939-944, mars 2012, doi: 10.1021/jz300150v.

- [39] A. Kumar et C. K. Dixit, « 3 - Methods for characterization of nanoparticles », in *Advances in Nanomedicine for the Delivery of Therapeutic Nucleic Acids*, S. Nimesh, R. Chandra, et N. Gupta, Éd., Woodhead Publishing, 2017, p. 43-58. doi: 10.1016/B978-0-08-100557-6.00003-1.
- [40] P. Chooto, « Cyclic Voltammetry and Its Applications », in *Voltammetry*, IntechOpen, 2019. doi: 10.5772/intechopen.83451.
- [41] E. N. Saw, V. Grasmik, C. Rurainsky, M. Epple, et K. Tschulik, « Electrochemistry at single bimetallic nanoparticles – using nano impacts for sizing and compositional analysis of individual AgAu alloy nanoparticles », *Faraday Discuss.*, vol. 193, n° 0, p. 327-338, déc. 2016, doi: 10.1039/C6FD00112B.
- [42] A. Testolin *et al.*, « Cyclic Voltammetry Characterization of Au, Pd, and AuPd Nanoparticles Supported on Different Carbon Nanofibers », *Surfaces*, vol. 2, n° 1, p. 205-215, mars 2019, doi: 10.3390/surfaces2010016.
- [43] S. Patel, P. Patel, S. B. Undre, S. R. Pandya, M. Singh, et S. Bakshi, « DNA binding and dispersion activities of titanium dioxide nanoparticles with UV/vis spectrophotometry, fluorescence spectroscopy and physicochemical analysis at physiological temperature », *Journal of Molecular Liquids*, vol. 213, p. 304-311, janv. 2016, doi: 10.1016/j.molliq.2015.11.002.
- [44] P. Zhang, R. Y. Hong, Q. Chen, et W. G. Feng, « On the electrical conductivity and photocatalytic activity of aluminum-doped zinc oxide », *Powder Technology*, vol. 253, p. 360-367, févr. 2014, doi: 10.1016/j.powtec.2013.12.001.
- [45] J. Claxton, N. Joudeh, A. Røyne, D. Linke, et P. Mikheenko, « Sequential Magnetic Mapping of Bacteria Loaded with Pd-Fe Nanoparticles », in *2020 IEEE 10th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP)*, nov. 2020, p. 1-5. doi: 10.1109/NAP51477.2020.9309619.
- [46] B.R.Kirupakar, Dr.B.A.Vishwanath, M. P. Sree, et Deenadayalan, « Vibrating Sample Magnetometer and Its Application In Characterisation Of Magnetic Property Of The Anti Cancer Drug Magnetic Microspheres », *International Journal of Pharmaceutics and Drug Analysis*, p. 227-233, mai 2016.
- [47] Y. Flores-Arias, G. Vázquez-Victorio, R. Ortega-Zempoalteca, U. Acevedo-Salas, S. Ammar, et R. Valenzuela, « Magnetic phase transitions in ferrite nanoparticles characterized by electron spin resonance », *Journal of Applied Physics*, vol. 117, n° 17, p. 17A503, avr. 2015, doi: 10.1063/1.4916935.
- [48] L. Ajroudi, N. Mliki, L. Bessais, V. Madigou, S. Villain, et Ch. Leroux, « Magnetic, electric and thermal properties of cobalt ferrite nanoparticles », *Materials Research Bulletin*, vol. 59, p. 49-58, nov. 2014, doi: 10.1016/j.materresbull.2014.06.029.
- [49] P. Kumar, P. Mahajan, R. Kaur, et S. Gautam, « Nanotechnology and its challenges in the food sector: a review », *Materials Today Chemistry*, vol. 17, p. 100332, sept. 2020, doi: 10.1016/j.mtchem.2020.100332.
- [50] R. Biswas, M. Alam, A. Sarkar, M. I. Haque, Md. M. Hasan, et M. Hoque, « Application of nanotechnology in food: processing, preservation, packaging and safety assessment », *Heliyon*, vol. 8, n° 11, p. e11795, nov. 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e11795.
- [51] A. Sirelkhatim *et al.*, « Review on Zinc Oxide Nanoparticles: Antibacterial Activity and Toxicity Mechanism », *Nano-Micro Lett.*, vol. 7, n° 3, p. 219-242, juill. 2015, doi: 10.1007/s40820-015-0040-x.
- [52] A. Cockburn *et al.*, « Approaches to the safety assessment of engineered nanomaterials (ENM) in food », *Food and Chemical Toxicology*, vol. 50, n° 6, p. 2224-2242, juin 2012, doi: 10.1016/j.fct.2011.12.029.
- [53] S. Iravani, « Green synthesis of metal nanoparticles using plants », *Green Chem.*, vol. 13, n° 10, p. 2638-2650, janv. 2011, doi: 10.1039/C1GC15386B.
- [54] S. Some *et al.*, « Biosynthesis of silver nanoparticles and their versatile antimicrobial properties », *Mater. Res. Express*, vol. 6, n° 1, p. 012001, oct. 2018, doi: 10.1088/2053-1591/aae23e.
- [55] S. Kumari *et al.*, « A comprehensive review on various techniques used for synthesizing nanoparticles », *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 27, p. 1739-1763, nov. 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2023.09.291.
- [56] M. Kim, S. Osone, T. Kim, H. Higashi, et T. Seto, « Synthesis of Nanoparticles by Laser Ablation: A Review », *KONA Powder and Particle Journal*, vol. 34, p. 80-90, 2017, doi: 10.14356/kona.2017009.
- [57] C. Dhand *et al.*, « Methods and strategies for the synthesis of diverse nanoparticles and their applications: a comprehensive overview », *RSC Adv.*, vol. 5, n° 127, p. 105003-105037, déc. 2015, doi: 10.1039/C5RA19388E.
- [58] C. Suryanarayana et B. Prabhu, « 2 - Synthesis of Nanostructured Materials by Inert-Gas Condensation Methods », in *Nanostructured Materials (Second Edition)*, C. C. Koch, Éd., Norwich, NY: William Andrew Publishing, 2007, p. 47-90. doi: 10.1016/B978-081551534-0.50004-X.
- [59] R. Raval, R. H. Rangnekar, et K. Raval, « Optimization of Chitosan Nanoparticles Synthesis and Its Applications in Fatty Acid Absorption », in *Materials, Energy and Environment Engineering*, R. Mohan B., G. Srinikethan, et B. C. Meikap, Éd., Singapore: Springer, 2017, p. 253-256. doi: 10.1007/978-981-10-2675-1_30.
- [60] A. Roychoudhury, « Yeast-mediated Green Synthesis of Nanoparticles for Biological Applications », *Indian Journal of Pharmaceutical and Biological Research*, vol. 8, n° 03, Art. n° 03, sept. 2020, doi: 10.30750/ijpbr.8.3.4.

- [61] A. Fariq, T. Khan, et A. Yasmin, « Microbial synthesis of nanoparticles and their potential applications in biomedicine », *Journal of Applied Biomedicine*, vol. 15, n° 4, p. 241-248, nov. 2017, doi: 10.1016/j.jab.2017.03.004.
- [62] P. Kuppusamy, M. M. Yusoff, G. P. Maniam, et N. Govindan, « Biosynthesis of metallic nanoparticles using plant derivatives and their new avenues in pharmacological applications – An updated report », *Saudi Pharmaceutical Journal*, vol. 24, n° 4, p. 473-484, juill. 2016, doi: 10.1016/j.jsps.2014.11.013.
- [63] M. A. Sabri, A. Umer, H. G. Awan, M. F. Hassan, et A. Hasnain, « Selection of Suitable Biological Method for the Synthesis of Silver Nanoparticles », *Nanomaterials and Nanotechnology*, n° 6, p. 29, 2016.
- [64] A. Adhikari, K. Chhetri, D. Acharya, B. Pant, et A. Adhikari, « Green Synthesis of Iron Oxide Nanoparticles Using Psidium guajava L. Leaves Extract for Degradation of Organic Dyes and Anti-microbial Applications », *Catalysts*, vol. 12, n° 10, Art. n° 10, oct. 2022, doi: 10.3390/catal12101188.
- [65] R. Govindasamy *et al.*, « Green Synthesis and Characterization of Cobalt Oxide Nanoparticles Using Psidium guajava Leaves Extracts and Their Photocatalytic and Biological Activities », *Molecules*, vol. 27, n° 17, p. 5646, sept. 2022, doi: 10.3390/molecules27175646.
- [66] P. Karthik *et al.*, « Green synthesis of MnO₂ nanoparticles from *Psidium guajava* leaf extract: Morphological characterization, photocatalytic and DNA/BSA interaction studies », *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 258, p. 128869, févr. 2024, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.128869.
- [67] S. Nagaraja *et al.*, « Green Synthesis and Characterization of Silver Nanoparticles of *Psidium guajava* Leaf Extract and Evaluation for Its Antidiabetic Activity », *Molecules*, vol. 27, n° 14, p. 4336, juill. 2022, doi: 10.3390/molecules27144336.
- [68] A. Mtibe, T. H. Mokhothu, M. J. John, T. C. Mokhena, et M. J. Mochane, « Chapter 8 - Fabrication and Characterization of Various Engineered Nanomaterials », in *Handbook of Nanomaterials for Industrial Applications*, C. Mustansar Hussain, Éd., in Micro and Nano Technologies., Elsevier, 2018, p. 151-171. doi: 10.1016/B978-0-12-813351-4.00009-2.
- [69] P. Dikshit *et al.*, « Green Synthesis of Metallic Nanoparticles: Applications and Limitations », *Catalysts*, vol. 11, n° 8, p. 902-, 2021, doi: 10.3390/catal11080902.
- [70] X. Huang, P. K. Jain, I. H. El-Sayed, et M. A. El-Sayed, « Gold nanoparticles: interesting optical properties and recent applications in cancer diagnostics and therapy », *Nanomedicine (Lond)*, vol. 2, n° 5, p. 681-693, oct. 2007, doi: 10.2217/17435889.2.5.681.
- [71] I. H. El-Sayed, X. Huang, et M. A. El-Sayed, « Selective laser photo-thermal therapy of epithelial carcinoma using anti-EGFR antibody conjugated gold nanoparticles », *Cancer Lett*, vol. 239, n° 1, p. 129-135, juill. 2006, doi: 10.1016/j.canlet.2005.07.035.
- [72] N. Elahi, M. Kamali, et M. H. Baghersad, « Recent biomedical applications of gold nanoparticles: A review », *Talanta*, vol. 184, p. 537-556, juill. 2018, doi: 10.1016/j.talanta.2018.02.088.
- [73] C. Chen *et al.*, « Multihydroxylated [Gd@C82(OH)22] n nanoparticles: antineoplastic activity of high efficiency and low toxicity », *Nano Lett*, vol. 5, n° 10, p. 2050-2057, oct. 2005, doi: 10.1021/nl051624b.
- [74] H. Meng *et al.*, « Gadolinium metallofullerenol nanoparticles inhibit cancer metastasis through matrix metalloproteinase inhibition: imprisoning instead of poisoning cancer cells », *Nanomedicine*, vol. 8, n° 2, p. 136-146, févr. 2012, doi: 10.1016/j.nano.2011.08.019.
- [75] S. D. Swanson *et al.*, « Targeted gadolinium-loaded dendrimer nanoparticles for tumor-specific magnetic resonance contrast enhancement », *Int J Nanomedicine*, vol. 3, n° 2, p. 201-210, 2008.
- [76] J. W. Rasmussen, E. Martinez, P. Louka, et D. G. Wingett, « Zinc oxide nanoparticles for selective destruction of tumor cells and potential for drug delivery applications », *Expert Opin Drug Deliv*, vol. 7, n° 9, p. 1063-1077, sept. 2010, doi: 10.1517/17425247.2010.502560.
- [77] F. H. Chen, Q. Gao, et J. Z. Ni, « The grafting and release behavior of doxorubicin from Fe (3) O (4) @SiO (2) core-shell structure nanoparticles via an acid cleaving amide bond: the potential for magnetic targeting drug delivery », *Nanotechnology*, vol. 19, n° 16, p. 165103, avr. 2008, doi: 10.1088/0957-4484/19/16/165103.
- [78] B. Chertok *et al.*, « Iron oxide nanoparticles as a drug delivery vehicle for MRI monitored magnetic targeting of brain tumors », *Biomaterials*, vol. 29, n° 4, p. 487-496, févr. 2008, doi: 10.1016/j.biomaterials.2007.08.050.
- [79] E. Hutter et D. Maysinger, « Gold nanoparticles and quantum dots for bioimaging », *Microsc Res Tech*, vol. 74, n° 7, p. 592-604, juill. 2011, doi: 10.1002/jemt.20928.
- [80] K. Saha, S. S. Agasti, C. Kim, X. Li, et V. M. Rotello, « Gold nanoparticles in chemical and biological sensing », *Chem Rev*, vol. 112, n° 5, p. 2739-2779, mai 2012, doi: 10.1021/cr2001178.
- [81] S. Zeng, K.-T. Yong, I. Roy, X.-Q. Dinh, X. Yu, et F. Luan, « A Review on Functionalized Gold Nanoparticles for Biosensing Applications », *Plasmonics*, vol. 6, n° 3, p. 491-506, sept. 2011, doi: 10.1007/s11468-011-9228-1.
- [82] D. R. Bhumkar, H. M. Joshi, M. Sastry, et V. B. Pokharkar, « Chitosan reduced gold nanoparticles as novel carriers for transmucosal delivery of insulin », *Pharm Res*, vol. 24, n° 8, p. 1415-1426, août 2007, doi: 10.1007/s11095-007-9257-9.

- [83] R. L. Phillips, O. R. Miranda, C.-C. You, V. M. Rotello, et U. H. F. Bunz, « Rapid and efficient identification of bacteria using gold-nanoparticle-poly (para-phenyleneethynylene) constructs», *Angew Chem Int Ed Engl*, vol. 47, n° 14, p. 2590-2594, 2008, doi: 10.1002/anie.200703369.
- [84] B. A. Kairdolf, X. Qian, et S. Nie, « Bioconjugated Nanoparticles for Biosensing, in Vivo Imaging, and Medical Diagnostics», *Anal Chem*, vol. 89, n° 2, p. 1015-1031, janv. 2017, doi: 10.1021/acs.analchem.6b04873.
- [85] M. J. Hajipour *et al.*, « Antibacterial properties of nanoparticles», *Trends Biotechnol*, vol. 30, n° 10, p. 499-511, oct. 2012, doi: 10.1016/j.tibtech.2012.06.004.
- [86] H. R. Pant *et al.*, « Antibacterial and photocatalytic properties of Ag/TiO₂/ZnO nano-flowers prepared by facile one-pot hydrothermal process», *Ceramics International*, vol. 39, n° 2, p. 1503-1510, mars 2013, doi: 10.1016/j.ceramint.2012.07.097.
- [87] M. Usman *et al.*, « Nanotechnology in agriculture: Current status, challenges and future opportunities», *Sci Total Environ*, vol. 721, p. 137778, juin 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137778.
- [88] G. N. Rameshaiah, J. Pallavi, et S. Shabnam, « Nano fertilizers and nano sensors—an attempt for developing smart agriculture», *Int J Eng Res Gen Sci*, vol. 3, n° 1, p. 314-320, 2015.
- [89] E. Mastronardi, P. Tsae, X. Zhang, C. Monreal, et M. C. DeRosa, « Strategic Role of Nanotechnology in Fertilizers: Potential and Limitations », M. Rai, C. Ribeiro, L. Mattoso, et N. Duran, Éd., Cham: Springer International Publishing, 2015, p. 25-67. doi: 10.1007/978-3-319-14024-7_2.
- [90] M. Delfani, M. Baradarn Firouzabadi, N. Farrokhi, et H. Makarian, « Some Physiological Responses of Black-Eyed Pea to Iron and Magnesium Nanofertilizers », *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 45, n° 4, p. 530-540, févr. 2014, doi: 10.1080/00103624.2013.863911.
- [91] C. O. Dimkpa, P. S. Bindraban, J. Fugice, S. Agyin-Birikorang, U. Singh, et D. Hellums, « Composite micronutrient nanoparticles and salts decrease drought stress in soybean», *Agronomy for Sustainable Development*, vol. 37, n° 1, p. 5, 2017, doi: 10.1007/s13593-016-0412-8.
- [92] M. L. Paret, G. E. Vallad, D. R. Averett, J. B. Jones, et S. M. Olson, « Photocatalysis: effect of light-activated nanoscale formulations of TiO₂ on *Xanthomonas perforans* and control of bacterial spot of tomato », *Phytopathology*, vol. 103, n° 3, p. 228-236, mars 2013, doi: 10.1094/PHYTO-08-12-0183-R.
- [93] H. A. Ayoub, M. Khairy, S. Elsaid, F. A. Rashwan, et H. F. Abdel-Hafez, « Pesticidal Activity of Nanostructured Metal Oxides for Generation of Alternative Pesticide Formulations», *J Agric Food Chem*, vol. 66, n° 22, p. 5491-5498, juin 2018, doi: 10.1021/acs.jafc.8b01600.
- [94] W. A. Cromwell, J. Yang, J. L. Starr, et Y.-K. Jo, « Nematicidal Effects of Silver Nanoparticles on Root-knot Nematode in Bermudagrass», *J Nematol*, vol. 46, n° 3, p. 261-266, sept. 2014.
- [95] X. He et H.-M. Hwang, « Nanotechnology in food science: Functionality, applicability, and safety assessment», *Journal of Food and Drug Analysis*, vol. 24, n° 4, p. 671-681, oct. 2016, doi: 10.1016/j.jfda.2016.06.001.
- [96] P. P. Fu, Q. Xia, H.-M. Hwang, P. C. Ray, et H. Yu, « Mechanisms of nanotoxicity: Generation of reactive oxygen species», *Journal of Food and Drug Analysis*, vol. 22, n° 1, p. 64-75, mars 2014, doi: 10.1016/j.jfda.2014.01.005.
- [97] H. Wu, J.-J. Yin, W. G. Wamer, M. Zeng, et Y. M. Lo, « Reactive oxygen species-related activities of nano-iron metal and nano-iron oxides», *Journal of Food and Drug Analysis*, vol. 22, n° 1, p. 86-94, mars 2014, doi: 10.1016/j.jfda.2014.01.007.
- [98] K. Pathakoti, M. Manubolu, et H.-M. Hwang, « Nanostructures: Current uses and future applications in food science», *Journal of Food and Drug Analysis*, vol. 25, n° 2, p. 245-253, avr. 2017, doi: 10.1016/j.jfda.2017.02.004.
- [99] H. Pool *et al.*, « Antioxidant Effects of Quercetin and Catechin Encapsulated into PLGA Nanoparticles», *Journal of Nanomaterials*, vol. 2012, n° 1, p. 145380, janv. 2012, doi: 10.1155/2012/145380.
- [100] Y. Deligiannakis, G. A. Sotiriou, et S. E. Pratsinis, « Antioxidant and Antiradical SiO₂ Nanoparticles Covalently Functionalized with Gallic Acid», *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 4, n° 12, p. 6609-6617, déc. 2012, doi: 10.1021/am301751s.
- [101] K. Nakagawa, « Nano- and Microencapsulation of Flavor in Food Systems», in *Nano- and Microencapsulation for Foods*, John Wiley & Sons, Ltd, 2014, p. 249-271. doi: 10.1002/9781118292327.ch10.
- [102] Z. Assefa, « Development and Characterization of Antimicrobial Packaging Films », *J Food Process Technol*, vol. 04, n° 06, 2013, doi: 10.4172/2157-7110.1000235.
- [103] S. H. Othman, N. R. Abd Salam, N. Zainal, R. Kadir Basha, et R. A. Talib, « Antimicrobial Activity of TiO₂ Nanoparticle-Coated Film for Potential Food Packaging Applications», *International Journal of Photoenergy*, vol. 2014, p. 1-6, 2014, doi: 10.1155/2014/945930.
- [104] S. Cui, L. Yang, J. Wang, et X. Wang, « Fabrication of a sensitive gas sensor based on PPy/TiO₂ nanocomposites films by layer-by-layer self-assembly and its application in food storage», *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 233, p. 337-346, oct. 2016, doi: 10.1016/j.snb.2016.04.093.

- [105] S. S. Mahdi, R. Vadood, et R. Nourdahr, « Study on the Antimicrobial Effect of Nanosilver Tray Packaging of Minced Beef at Refrigerator Temperature », 2012.
- [106] J. Momin, C. Jayakumar, et J. Prajapati, « Potential of Nanotechnology in Functional Foods », *Emir. J. Food Agric*, vol. 25, n° 1, p. 10, 2013, doi: 10.9755/ejfa.v25i1.9368.
- [107] L. Salvia-Trujillo, O. Martín-Belloso, et D. J. McClements, « Excipient Nanoemulsions for Improving Oral Bioavailability of Bioactives », *Nanomaterials*, vol. 6, n° 1, Art. n° 1, janv. 2016, doi: 10.3390/nano6010017.
- [108] R. Roy, S. Kumar, A. Tripathi, M. Das, et P. D. Dwivedi, « Interactive threats of nanoparticles to the biological system », *Immunol Lett*, vol. 158, n° 1-2, p. 79-87, 2014, doi: 10.1016/j.imlet.2013.11.019.
- [109] R. K. Pandey et V. K. Prajapati, « Molecular and immunological toxic effects of nanoparticles », *Int J Biol Macromol*, vol. 107, n° Pt A, p. 1278-1293, févr. 2018, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.09.110.
- [110] J. Athinarayanan, V. S. Periasamy, M. A. Alsaif, A. A. Al-Warthan, et A. A. Alshatwi, « Presence of nanosilica (E551) in commercial food products: TNF-mediated oxidative stress and altered cell cycle progression in human lung fibroblast cells », *Cell Biol Toxicol*, vol. 30, n° 2, p. 89-100, avr. 2014, doi: 10.1007/s10565-014-9271-8.
- [111] J.-Y. Huang, X. Li, et W. Zhou, « Safety assessment of nanocomposite for food packaging application », *Trends in Food Science & Technology*, vol. 45, n° 2, p. 187-199, oct. 2015, doi: 10.1016/j.tifs.2015.07.002.

Élaboration et caractérisation thermo-physique de nouveaux matériaux locaux composites, isolants thermiques et biosourcés

[Development and thermo-physical characterization of new local composite, thermal insulation and bio-sourced materials]

Adam Sayoudi Bouzou¹, Idrissa Gaye¹, Mouhamadou Thiam², Ndéye Thiam², Issa Diagne³, and Mamadou Wade²

¹ED2DS, Université Iba Der Thiam (UIDT), Thiès, Senegal

²Département Électromécanique, École Polytechnique de Thiès (EPT), Thiès, Senegal

³Département de Physique, Université Cheick Anta Diop (UCAD), 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: In the African context, where agricultural by-products and natural resources are often underutilized or considered waste or invasive species, this study aims to valorize locally available raw materials through the development of fully bio-based insulating composite materials. The materials were produced using typha, rice husk, residues from threshing millet ears, and cassava starch, through a simple and reproducible process accessible even at an artisanal scale. A total of 25 formulations were created by combining one to three of these raw materials with a natural binder. The resulting composites were characterized. The bulk density of the materials ranged from 198.64 to 361.02 kg/m³, while their thermal conductivity varied between 0.07 and 0.17 W/m·K. These results highlight the strong potential of these bio-based composites for use as thermal insulation in sustainable building applications.

KEYWORDS: materials, bio-sourced, insulation, sustainable development, valorization.

RESUME: Dans un contexte africain où les ressources naturelles issues de l'agriculture sont souvent sous-exploitées, ce travail s'inscrit dans une démarche de valorisation de matières premières locales fréquemment considérées comme des déchets ou des envahissants. L'étude porte sur l'élaboration et la caractérisation thermo physique de nouveaux matériaux composites isolants, entièrement biosourcés. Ces matériaux ont été fabriqués à partir de typha, balle de riz, résidus issus du battage d'épis de mil et amidon de manioc, à l'aide d'un procédé simple et reproductible, accessible même à l'échelle artisanale. Vingt-cinq formulations ont été réalisées en combinant une à trois de ces matières premières avec un liant. Les matériaux obtenus ont été caractérisés. Les résultats montrent une masse volumique variant entre 198,64 et 361,02 kg/m³ et une conductivité thermique comprise entre 0,07 et 0,17 W/m·K. Ces performances indiquent un bon potentiel d'application dans l'isolation thermique des bâtiments durables.

MOTS-CLEFS: matériaux, biosourcés, isolant, développement durable, valorisation.

1 INTRODUCTION

Les enjeux du développement durable demeurent une préoccupation majeure, pour l'atteinte de certains Objectifs de Développement Durable dans le contexte africain, il est essentiel de valoriser les innombrables matières premières naturelles,

souvent issues de l'agriculture, disponibles localement. Ces ressources, fréquemment perçues comme des déchets ou des espèces envahissantes, présentent pourtant un fort potentiel de valorisation.

Ce travail vise à élaborer et à caractériser sur le plan thermo physique plusieurs matériaux composites isolants, entièrement biosourcés, à partir de ressources locales telles que le typha, la balle de riz, les résidus issus du battage d'épis de mil et l'amidon de manioc. L'objectif est de développer des matériaux légers, à propriétés isolantes, pouvant être utilisés dans le bâtiment ou d'autres domaines de la construction. Le procédé de fabrication doit rester simple, accessible et facilement reproductible, y compris à l'échelle artisanale.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 MATIÈRES PREMIÈRES

La figure 1 donne une présentation des matières premières utilisées

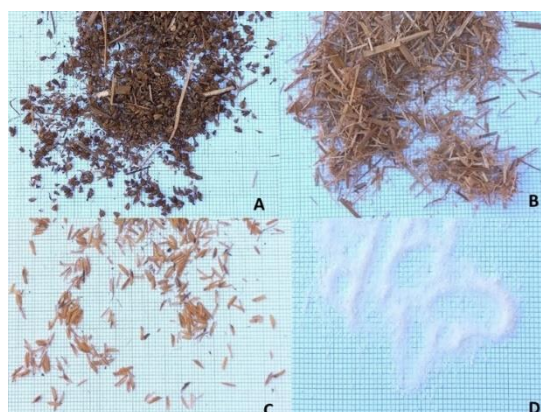


Fig. 1. (A) Résidus issus de battage d'épis de mil; (B) Typha broyé; (C) Balle de riz; (D) Tapioca broyé

- Les résidus issus de battage d'épis de mil proviennent de deux sources: une partie de la zone de Niayes et l'autre partie du bassin arachidier. Ils sont composés de glumes, de glumelles, de tiges broyées et de traces de feuilles d'arbres, de sable et d'argile.
- Le typha australis (partie non immergé) se présente sous forme de tige (comptant un épi) et des feuilles, dont les dimensions peuvent dépasser 2 m de hauteur et 2 cm de largeur, après avoir été cueilli et séché, il est broyé et tamisé. Ce typha provient de la Vallée du Fleuve Sénégal
- La balle de riz provient essentiellement de la Vallée du Fleuve Sénégal (VFS) et la Casamance. La balle de riz n'a subi aucun traitement préalable;
- L'amidon se présente sous forme de granulats de couleur blanche.

2.2 ÉLABORATION DES NOUVEAUX MATÉRIAUX COMPOSITES

L'élaboration des nouveaux matériaux composites est faite à l'échelle artisanale. Le séchage est fait à l'air libre sous le soleil et le compactage manuel avec des moyens rudimentaires (planche de bois et marteau). Selon les proportions du mélange, les constituants sont pesés judicieusement à l'aide d'une balance électronique de précision et par la suite collecté dans le récipient devant accueillir le mélange. Le malaxage est fait manuellement, jusqu'à ce que le mélange soit plus ou moins homogène. Il s'en suit l'étape de moulage et compactage. Le moule a été spécialement conçu pour permettre et faciliter le compactage manuellement et le démoulage. Enfin, le démoulage se fait instantanément juste après le compactage.

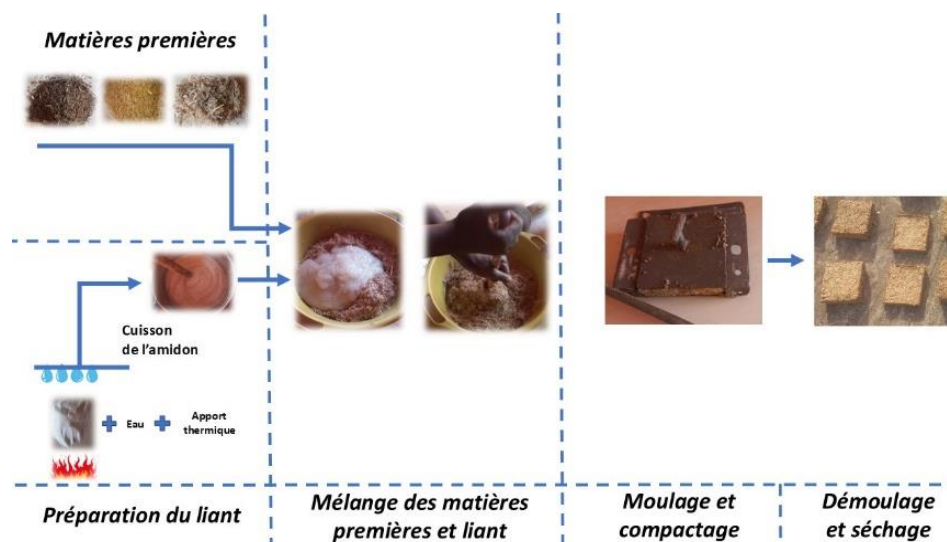


Fig. 2. Illustration du procédé

Le procédé est constitué de plusieurs étapes:

La préparation du liant, c'est un mélange eau-amidon chauffé;

La préparation du moule et des éprouvettes, ils sont faits avec des cornières et tôle en acier. Ils ont été conçus de sorte à faciliter le compactage manuellement et le démoulage immédiat.;

Pour chaque formulation, une série composée de deux éprouvettes est réalisée.

Le Ratio amidon/eau (A/E) varie de 0,13 à 0,33 [1], [2], [3], [4], [5]. Pour ce travail, le ratio est fixé à 0,2. Ce ratio peut évoluer légèrement en fonction de la charge à cause de leur caractère absorbant pour faciliter le malaxage lors de la mise en œuvre. La teneur en amidon minimale est de 25 % pour une bonne cohésion. Toutefois, cette teneur est liée au procédé de compactage manuel. Elle est maximale à 50 % pour tenir compte de certaines réalités d'ordre économique et surtout d'ordre caractéristique.

Les tableaux ci-dessous donnent les différents mélanges effectués

Ce premier groupe de formulations comprend quatre (4) éprouvettes qui sont chacun composé de typha et liant à base d'amidon avec des pourcentages variables représentés dans le tableau suivant:

Tableau 1. Composition amidon et typha

Formulation	T (%)	A (%)
F0(T)	75	25
F1(T)	71,42	28,57
F2(T)	59,52	40,47
F3(T)	50	50

NB: Pour suite, la teneur en amidon est gardée constante à 28,57 % de la masse total du mélange.

Tableau 2. Composition amidon et résidus issus de battage d'épis de mil

Formulation	A (%)	RIBEM (%)
F4(RIBEM)	28,57	71,42

Tableau 3. Composition amidon et balle de riz

Formulation	A (%)	BR (%)
F5(BR)	28,57	71,42

Tableau 4. Composition amidon, typha et résidus issus de battage d'épis de mil

Formulation	A (%)	T (%)	RIBEM (%)
F6(T, RIBEM)	28,57	59,52	11,9
F7(T, RIBEM)		47,62	23,81
F8(T, RIBEM)		40,47	40,47
F9(T, RIBEM)		23,81	47,62
F10(T, RIBEM)		11,9	59,52

Tableau 5. Composition amidon, typha et balle de riz

Formulation	A (%)	T (%)	BR (%)
F11(T, BR)	28,57	59,52	11,9
F12(T, BR)		47,62	23,81
F13(T, BR)		40,47	40,47
F14(T, BR)		23,81	47,62
F15(T, BR)		11,9	59,52

Tableau 6. Composition amidon, résidus issus de battage d'épis de mil et balle de riz

Formulation	A (%)	RIBEM (%)	BR (%)
F16(RIBEM, BR)	28,57	59,52	11,9
F17(RIBEM, BR)		47,62	23,81
F18(RIBEM, BR)		40,47	40,47
F19(RIBEM, BR)		23,81	47,62
F20(RIBEM, BR)		11,9	59,52

Tableau 7. Composition amidon, typha, balle de riz et résidus issus de battage d'épis de mil

Formulation	A (%)	T (%)	BR (%)	RIBEM (%)
F21(T, RIBEM, BR)	28,57	23,81	23,81	23,81
F22(T, RIBEM, BR)		47,61	11,9	11,9
F23(T, RIBEM, BR)		11,9	47,61	11,9
F24(T, RIBEM, BR)		11,9	11,9	47,61

2.3 MÉTHODES DE CARACTÉRISATION UTILISÉES

Les éprouvettes sont séchées au soleil avec un suivi et retournement régulier. Elles ont été conservées au laboratoire où la température variait entre 22 et 26 °C et l'humidité entre 40 et 46 %.

La caractérisation physique a consisté à la détermination de la masse volumique apparente en utilisant la méthode géométrique. Ainsi les matériels utilisés sont: balance de précision; bécher gradué; pied à coulisse; règle graduée.



Fig. 3. Caractérisation physique

Nous avons utilisé la méthode du fil chaud asymétrique [7]. Cette méthode est bien appropriée pour les matériaux biosourcés.

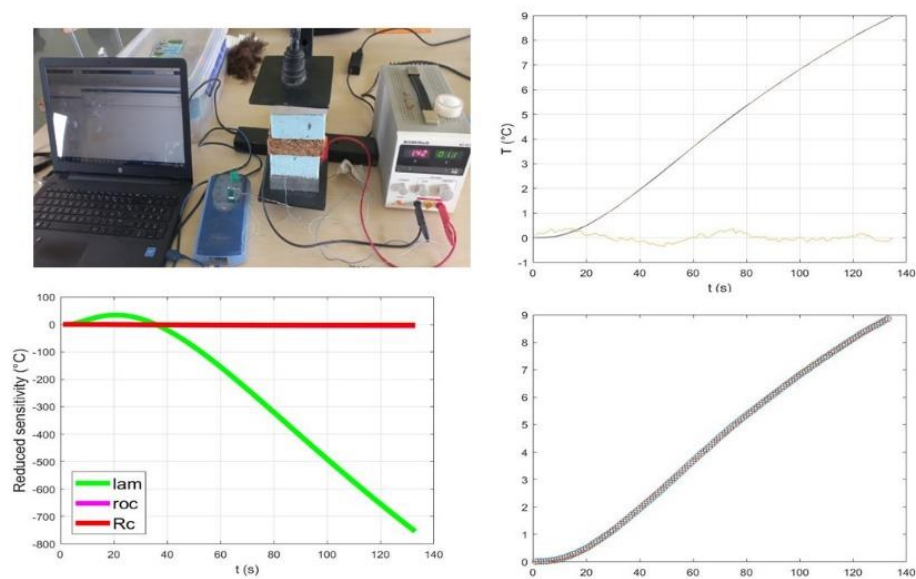


Fig. 4. Caractérisation thermique

3 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Le séchage est obtenu par exposition au soleil environ 4 à 7 jours selon le temps qu'il fait. Pendant le séchage, les éprouvettes perdent environ 60 % de leur masse initiale. Il se produit aussi le phénomène de retrait. Selon la composition, ce phénomène est plus prononcé sur certains éprouvettes que d'autres. C'est le cas des éprouvettes contenant le typha comme rapporté par [6], [7]. Ce retrait est accentué avec la teneur en amidon, car en effet plusieurs auteurs utilisant amidon comme liant ont rapporté remarquer des retraits après séchage [1], [4], [5]. La seconde remarque est la friabilité, constat aussi fait par [8] et [9]. En effet, tous les éprouvettes contenant de la balle de riz présentent ce caractère qui varie en fonction de la teneur en balle de riz. Aucun développement de moisissure n'a été remarqué.

3.1 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

Les moyennes des masses volumiques des différentes matières premières sont consignées dans le tableau suivant:

Tableau 8. Masses volumiques des différentes matières premières

Matières premières	ρ (kg/m ³) en vrac	ρ (kg/m ³) broyé	ρ (kg/m ³) tassé
Typha	-	55	116,41
Résidus issus de battage d'épis de mil	60,14	-	-
Balle de riz	115,06	-	-
Amidon (tapioca)	586,1	697,95	-

On peut remarquer que parmi les matières premières présentées, le typha broyé présente la plus faible masse volumique (55 kg/m³), tandis que l'amidon (tapioca) broyé à la plus grande masse volumique (697,95 kg/m³). La faible masse volumique de typha est due à sa structure alvéolaire avec un tissu spongieux favorisant l'emprisonnement de l'air. Les RIBEM, avec leurs constituants divers et variés et leurs géométries respectives, prennent beaucoup volumes en laissant trop de vide, ce qui explique leur faible masse volumique. Pour la balle de riz en vrac, la masse volumique est de 115,06 kg/m³, valeur comprise dans la plage [98 kg/m³ - 150 kg/m³] rapportée par d'autres auteurs [10], [11], [12].

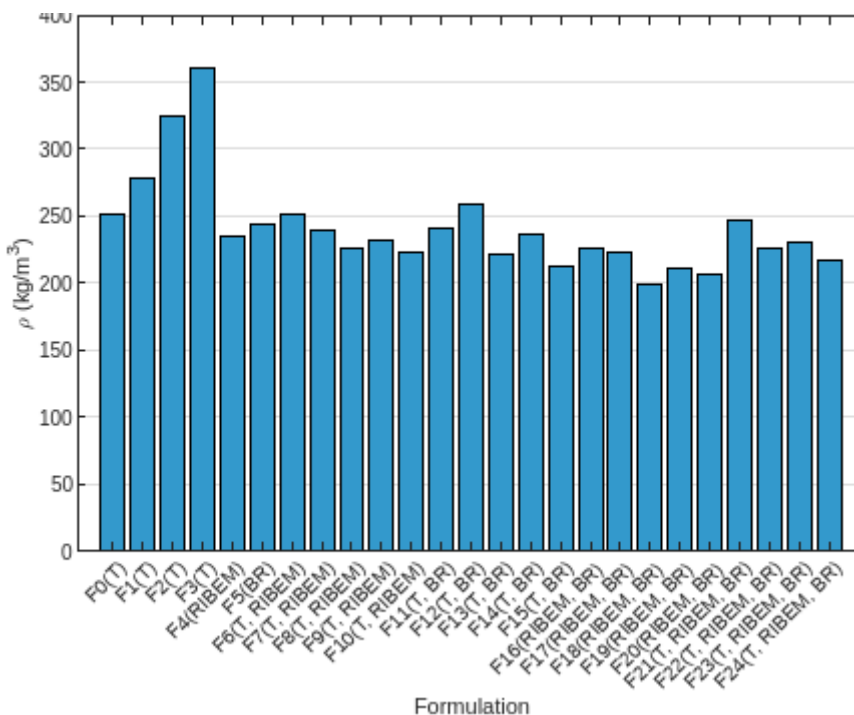


Fig. 5. Variation de la masse volumique suivant les formulations

En analyse les résultats de la figure 5 ci-dessus représentant l'histogramme de la variation de la masse volumique apparente, nous pouvons premièrement remarquer que, la masse volumique apparente du composite amidon typha augmente de façon linéaire avec la teneur en amidon. C'est l'observation faite avec les quatre premières formulations F0, F1, F2, F3, composées d'amidon et de typha. Ce qui est logique vu leur différente masse volumique apparente initiale. Il faut noter aussi que plusieurs auteurs ayant utilisés l'amidon comme liant ont notifié cette augmentation de la masse volumique apparente, c'est le cas de [1]; [13]; [3] et [5]. Par ricochet, nous avons remarqué aussi l'accroissement des propriétés mécaniques.

Avec la même teneur en amidon de 28,57 %, la composition amidon et typha présente la masse volumique apparente la plus élevée 278,35 kg/m³ qui celle de la formulation F1, suivi de celle de la composition amidon et balle de riz constituant F5 qui est de 222,77 kg/m³ et enfin la composition amidon et résidus issus de battage d'épis de mil F5 de 201,38 kg/m³.

Par rapport au différentes masses volumiques, on peut constater que l'élément prédominant dans la composition a tendance à imposer sa masse volumique, sauf dans le cas où il y a les deux ou trois charges à pourcentage égale dans le composite où parfois la masse volumique se retrouve soudainement inférieur aux autres masses volumiques.

Globalement la masse volumique apparente des éprouvettes varie entre 294,55 et 198,64 kg/m³ que l'on peut qualifier de faible variation, ceux valeur sont aussi à l'image des masses volumiques initiales des matières premières.

3.2 PROPRIÉTÉS THERMIQUES

Tableau 9. Composition amidon et typha

Formulation	A (%)	T (%)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
E0(T)	25	75	276,57	0,07
E1(T)	28,57	71,42	278,35	0,08
E2(T)	40,47	59,52	285,57	0,12
E3(T)	50	50	294,55	0,12

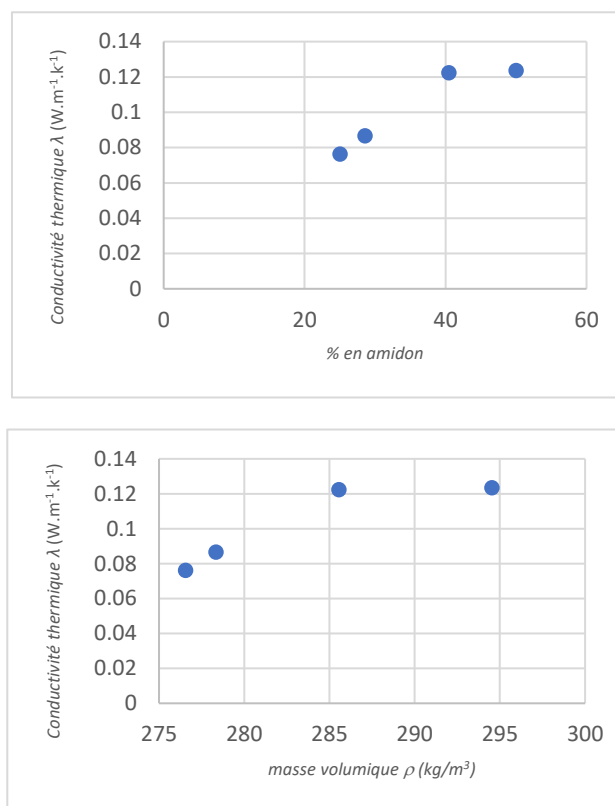


Fig. 6. Variations de la conductivité thermique, en fonction du taux d'amidon (gauche) et en fonction de la masse volumique (droit)

La teneur en amidon joue un rôle très important pour agglomérer les charges et assurer une bonne adhérence à l'interface fibres et/ou agrégats-matrice. Cela améliore la tenue mécanique, par contre il s'est avéré que plus la proportion en amidon augmente, plus la conductivité thermique et la masse volumique augmentent. Les formulations F0 (T) et F1 (T) présentent les meilleures performances. Les variations de façon globale, vont de 0,07 à 0,12 W/mK pour la conductivité thermique et de 250,73 à 361,02 kg/m³ pour la masse volumique avec une teneur en amidon allant de 25 à 50 %.

On peut retenir également que nos résultats ont des points communs avec ceux trouvés par Dieye et al. [14], travaillant sur les panneaux typha-gomme arabique. Il y a d'autres composites biosourcés dont les propriétés sont semblables à ceux de la présente étude: le composite amidon chanvre [15], [3], amidon fibres de surface des palmiers dattiers [16], amidon pulpe de betterave [5] qui à tout égard, présentent des propriétés voisines au composite amidon typha.

Par contre, pour ce qui est de la masse volumique, les valeurs obtenues dans notre cas sont pour la plupart supérieures à celles du composite chanvre amidon [1], [17], [18]. Pour [4], au vu de la nature des charges dans cette étude (fibres de bois, ouate de cellulose et granules de papier), la masse volumique obtenue est nettement supérieure à celle de la présente étude. Pour la conductivité thermique, elle est légèrement supérieure avec un petit chevauchement par rapport à la présente étude.

Nous avons vu les différentes propriétés qu'il est possible d'obtenir en faisant varier le taux d'amidon ainsi que les deux formulations présentant les meilleures propriétés. Dans la suite de ce travail, nous avons choisi de continuer les formulations avec 28,57 % d'amidon, afin d'évaluer et de comparer les propriétés physiques, thermiques pour les autres matières premières.

Tableau 10. Composition avec 25 % d'amidon

Formulation	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
Typha F1(T)	278,35	0,08
Résidus issus de battage d'épis de mil F4(RIBEM)	201,38	0,10
Balle de riz F5(BR)	222,77	0,13

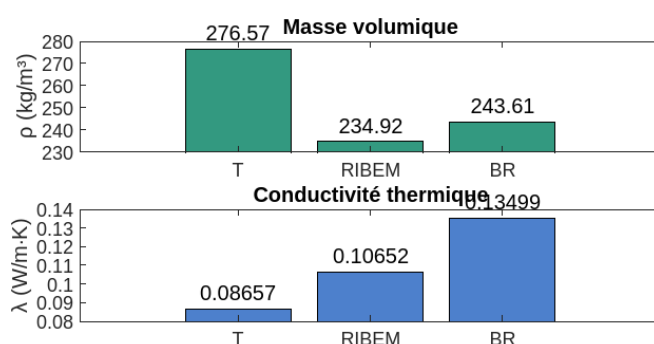


Fig. 7. Variations des différentes propriétés des composites matière première et 28,57 % d'amidon

Parmi les composites obtenus avec 28,57 % d'amidon, celui à base de typha sort du lot et présente la conductivité thermique la plus intéressante pour dire la plus faible (0,08 W/mK). Cela s'explique par l'aptitudes naturelle d'isolation thermique que possède le typha en lien avec sa structure alvéolaire et spongieuse.

Concernant la masse volumique du composite à base de typha, il faut noter qu'en présence d'eau ou d'humidité importante, le typha broyé a tendance à se ramollir et les fibres se collent entre elles en laissant un moindre vide et une partie de l'air piégé est remplacé par le liant. Cela a pour conséquence une importante augmentation de la masse volumique du composite à base de typha.

Par rapport à la plus faible masse volumique ($r = 234,92 \text{ kg/m}^3$) du composite à base de RIBEM, au regard de la nature géométrique antagoniste des constituants des RIBEM et de leur caractère non absorbant, on se retrouve avec beaucoup de vide, contrairement aux fibres de typha qui se ramollissent et se collent entre elles. Quant à la balle de riz, elle reste figée tout comme les RIBEM par rapport à la présence du liant, néanmoins l'écart entre les masses volumiques des matières premières BR et RIBEM est réduit pour les composites, car lors du collage les agrégats de BR se collent entre elles en laissant un moindre vide comme ceux de typha à l'opposé de ceux des RIBEM.

Tableau 11. Composition amidon, typha et résidus issus de battage d'épis de mil

Formulation	A (%)	T (%)	RIBEM (%)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
F6(T, RIBEM)	28,57	59,52	11,9	250,90	0,1
F7(T, RIBEM)		47,62	23,81	239,33	0,08
F8(T, RIBEM)		40,47	40,47	226,35	0,08
F9(T, RIBEM)		23,81	47,62	232,48	0,07
F10(T, RIBEM)		11,9	59,52	223,19	0,08

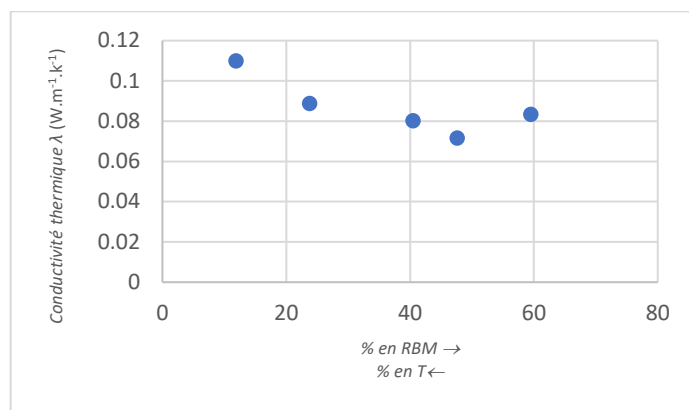


Fig. 8. Conductivité thermique en fonction de la teneur en T et en RIBEM

L'évolution de la conductivité thermique du composite amidon, typha et résidus issus de battage d'épis de mil n'est pas linéaire. Elle est comprise entre 0,07 W/mK et 0,10 W/mK, respectivement pour les formulations F9 (T, RIBEM) contenant 47,62 % de RIBEM et F6 (T, RIBEM) contenant 11,9 % de RIBEM. La valeur de la conductivité thermique obtenue avec la formulation F9 (T, RIBEM), présente la plus faible valeur de toute l'étude.

La combinaison des RIBEM et typha à des effets très positifs sur la conductivité thermique des nouveaux composites qui en découlent, car leurs conductivités se retrouvent inférieures par rapport à celles des composites faites avec une seule de ces matières premières et le liant. La répartition des fibres et agrégats dans ces composites amidon, typha et résidus issus de battage d'épis de mil, leur confère des morphologies favorables pour une utilisation comme isolant thermique.

Il faut noter qu'aussi avec ce composite, l'évolution du profil de la masse volumique est semblable à celle de la conductivité thermique. En effet, l'élément prédominant dans la composition a tendance à imposer sa masse volumique, sauf dans le cas où les deux éléments sont à pourcentage égal dans le composite, la masse volumique se retrouve inférieure aux autres masses volumiques.

En dépit du manque de connaissance des propriétés thermique intrinsèque des RIBEM, ces résultats appuient l'usage empirique comme isolant thermique qui est fait depuis très longtemps des RIBEM. Les propriétés obtenues sont comparables à celle de [19] avec le composite gousses de mil-polystyrène.

Tableau 12. Composition amidon, typha et balle de riz

Formulation	A (%)	T (%)	BR (%)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
F11(T, BR)	28,57	59,52	11,9	241,15	0,11
F12(T, BR)		47,62	23,81	259,06	0,12
F13(T, BR)		40,47	40,47	221,34	0,11
F14(T, BR)		23,81	47,62	236,95	0,11
F15(T, BR)		11,9	59,52	211,88	0,13

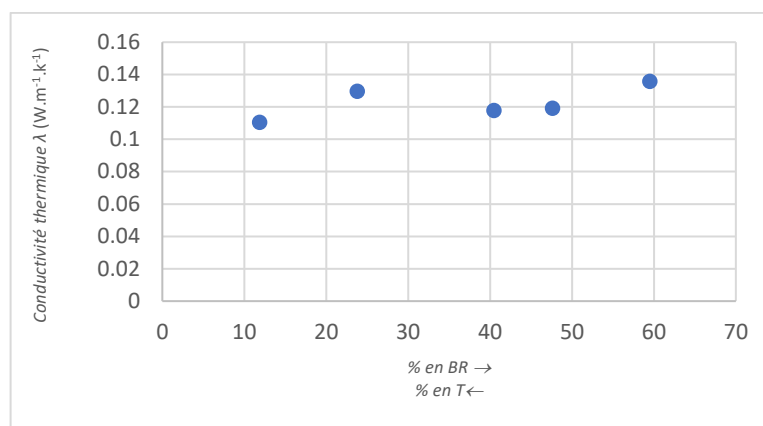


Fig. 9. Conductivité thermique en fonction de la teneur en T et en BR

Le composite amidon, typha et balle de riz présente une conductivité thermique variant entre 0,11 W/mK et 0,13 W/mK respectivement pour les formulations F11 (T, BR) contenant le moins de BR et F15 (T, BR) contenant le plus de BR. Ce qui fait de lui le composite ayant en moyenne la deuxième conductivité thermique la plus élevée dans cette étude.

Du point de vue de la conductivité thermique, nous avons remarqué que l'ajout de typha dans un composite à base de balle de riz présente une meilleure amélioration des caractéristiques thermiques que l'ajout de la balle de riz dans un composite à base de typha. La non linéarité de la conductivité avec le composite F12 (T, BR), montre que les combinaisons doivent se faire de manière structurée surtout lorsqu'on est en mode de compactage manuel. En effet, lors du compactage manuel, selon les proportions des matières premières contenues dans le composite, l'absorption de l'eau contenue dans le liant varie. De plus, la nature et la géométrie des fibres et/ou agrégats variant, il est plus aisé de mettre en forme certains composites par rapport à d'autres. Ces effets sont ressentis sur la masse volumique et sur les autres propriétés.

Nous retrouvons le même phénomène de chute de masse volumique à teneur égale. Nous pouvons conclure alors, lorsqu'il y a un composite avec plusieurs charges de nature différente, leur géométrie impacte fortement l'agencement des fibres et/ou agrégats. Cela a pour conséquence l'augmentation de la porosité qui affecte d'autres propriétés.

Selon les formulations, les valeurs de conductivité thermique obtenues sont similaires à celles du béton de balle de riz avec liant ciment de Chabi [12] et du béton de balle de riz avec liant chaux de Chabannes [11]. Malgré la nature des liants utilisés, la plus petite masse volumique obtenue par ces auteurs fait au moins le double des masses volumiques de la présente étude. L'origine de ce grand écart est la grande masse volumique de ces deux liants hydrauliques le ciment et de la chaux comparativement à l'amidon.

Tableau 13. Composition amidon, résidus issus de battage d'épis de mil et balle de riz

Formulation	A (%)	BR (%)	RIBEM (%)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
F16(RIBEM, BR)	28,57	11,9	59,52	226,39	0,12
F17(RIBEM, BR)		23,81	47,62	222,8	0,10
F18(RIBEM, BR)		40,47	40,47	198,64	0,10
F19(RIBEM, BR)		47,62	23,81	210,39	0,13
F20(RIBEM, BR)		59,52	11,9	206,96	0,12

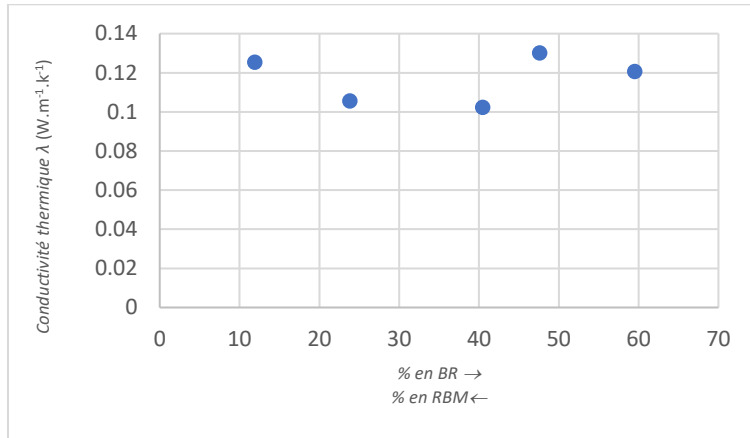


Fig. 10. Masse volumique en fonction de la teneur en RIBEM et en BR

Comme pour les deux dernières compositions présentées, la variation de la conductivité thermique en fonction du pourcentage massique des charges du composite formé d’amidon, de résidus issus de battage d’épis de mil et de balle de riz est non linéaire. Elle est comprise entre 0,10 W/mK et 0,13 W/mK, respectivement pour les formulations F18 (RIBEM, BR) et F19 (RIBEM, BR). Pour le comportement de la masse volumique, il s’est reproduit le même phénomène lié à l’égalité en teneur des matières premières dans la composition. La combinaison de ces matières premières améliore les propriétés thermiques, ce qui est acceptable et très intéressant par rapport aux précédents composites amidon, typha et balle de riz.

Un aspect important de ces composites est la plus faible conductivité thermique (0,10 W/mK) de la formulation F18 (RIBEM, BR) et sa masse volumique (198,64 kg/m³) qui est la plus faible de toute l’étude. Dans ce composite, la teneur en balle de riz est égale à celle en RIBEM et au vu de leur nature géométrique et de leurs caractéristiques tout à fait différentes, le composite obtenu est très poreux, engendrant une faible masse volumique. Pour rappel nous avons vu antérieurement que la taille et la forme des fibres et/ou agrégats ont un impact conséquent sur le composite obtenu.

Ces composites ont des propriétés acceptables et meilleures en se référant aux composites amidon, typha et balle de riz.

Tableau 14. Composition amidon, typha, balle de riz et résidus issus de battage d’épis de mil

Formulation	A (%)	T (%)	BR (%)	RIBEM (%)	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
F21(T, RIBEM, BR)	28,57	47,61	11,9	11,9	247,5	0,16642
F22(T, RIBEM, BR)		23,81	23,81	23,81	226,16	0,09628
F23(T, RIBEM, BR)		11,9	47,61	11,9	231,16	0,17874
F24(T, RIBEM, BR)		11,9	11,9	47,61	217,05	0,11019

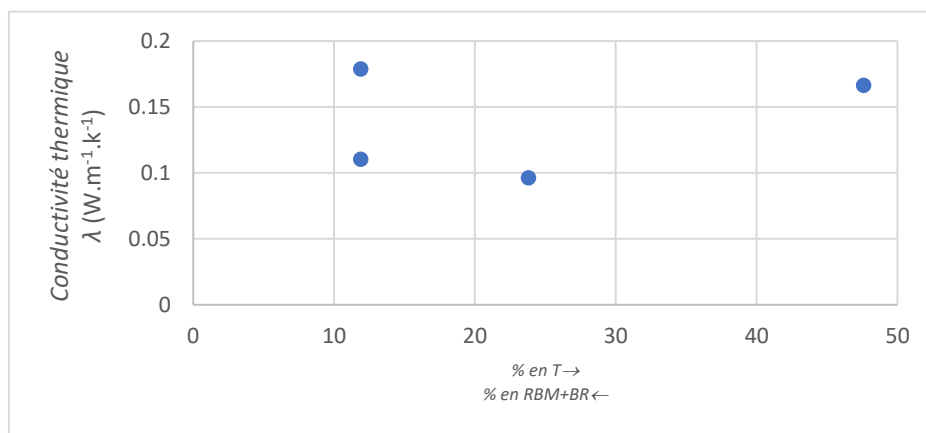


Fig. 11. Masse volumique en fonction de la teneur en T, RIBEM et en BR

Pour les composites à trois types de fibres et/ou agrégats plus liant, avec la même proportion de typha, en faisant varier la proportion de RIBEM par rapport à celle de BR, il peut s'opérer une variation conséquente de la conductivité thermique et de la masse volumique. Ici pour les formulations F23 (T, RIBEM, BR) et F24 (T, RIBEM, BR) avec la même teneur en typha de 11,9 %, juste en variant les teneurs en RIBEM de 47,61 % à 11,9 % et celles de BR de 11,9 % à 47,61 %, la conductivité thermique est passée de 0,17 W/mK à 0,11 W/mK et la masse volumique de 231,16 kg/m³ à 217,05 kg/m³. La particularité que possèdent les RIBEM d'abaisser la masse volumique des composites tout en ayant des effets positifs sur la conductivité thermique vient encore d'être mise en évidence à ce niveau. Cette dernière valeur (0,17 W/mK) de conductivité thermique est la plus grande valeur enregistrée de toute l'étude. Cette valeur est due à une importante quantité de balle de riz contenue dans le composite. Nous avons déjà vu que, lié aux caractéristiques intrinsèques des matières premières, le composite à base de balle de riz présentait la plus grande conductivité thermique.

Comme pour les précédents composites et pour les mêmes raisons, nous avons eu la meilleure conductivité thermique (0,09 W/mK) avec la formulation où les trois fibres et/ou agrégats sont à teneur égale.

Ainsi, les propriétés de ces composites combinant trois matières premières sont en corrélation avec les autres composites combinant deux matières premières, notamment le comportement de la masse volumique. On peut noter qu'il est tout à fait possible d'avoir des propriétés physiques et mécaniques très intéressantes avec ces trois matières premières pour la production des panneaux.

De façon générale, on peut remarquer une certaine asymétrie et la non linéarité des propriétés obtenues, notamment avec les formulations qui suivent les quatre premières faites d'amidon-typha. Cela peut se justifier par la nature et la teneur des fibres et/ou agrégats dans les composites, avec le concours du procédé de mise en œuvre qui est manuel. Ce procédé, étant manuel, ne permet pas d'avoir un pressage uniforme et la pression applicable manuellement est aussi très limitée.

4 CONCLUSION

Ce travail a permis l'élaboration et la caractérisation physique et thermique de nouveaux matériaux composites, isolants thermiques et légers, à partir de matières premières biosourcées localement disponibles. Tout cela à l'aide d'un procédé simple, accessible et reproductible même à l'échelle paysanne. Pour y parvenir, en amont de la préparation des matières premières (seul le typha nécessite une préparation), et la détermination des masses volumiques des matières premières, 25 formulations ont été réalisées. Ces formulations sont la combinaison d'une, de deux et/ou de trois des matières premières avec le liant. Ces formulations ont fait l'objet de caractérisation physique pour déterminer la masse volumique et la caractérisation thermique dont le focus est mis sur la conductivité thermique. Il est ressorti de ces résultats, que la masse volumique ρ sur l'ensemble des formulations varie entre 198,64 et 361,02 kg/m³. Quant à la conductivité thermique λ , elle varie de 0,07 à 0,17 W/mK, confirmant leur aptitude en tant que matériaux isolants thermiques.

REFERENCES

- [1] B. S. UMURIGIRWA-VASSEUR, «Elaboration et caractérisation d'un agromatériau chanvre-amidon pour le Bâtiment, » 2014.
- [2] Le, A. Gacoin, T. M. A. Li et M. R. e. Y. Delmas, «Experimental investigation on the mechanical performance of starch–hemp composite materials, » *Construction and Building Materials*, vol. 61, p. 106–113, 26 mars 2014.
- [3] Pundiene, L. Vitola, J. Pranckeviciene et D. Bajare, «Hemp Shive-Based Bio-Composites Bounded by Potato Starch Binder: The Roles of Aggregate Particle Size and Aspect Ratio, » *Journal of Ecological Engineering*, vol. 23, n° %12, p. 220–234, 2022.
- [4] L. M. THIEBLESSON, «Elaboration et caractérisation de matériaux issus de ressources locales recyclées ou biosourcées, » 2018.
- [5] H. Karpaky, C. Maalouf, C. Bliard, A. Gacoin, M. Lachi et G. Polidori, «Mechanical and thermal characterization of a beet pulp–starch composite for building applications, » *E3S Web of Conferences /EENVIRO 2018 – Sustainable Solutions for Energy and Environment*, vol. 85, n° %108005, p. 8, 2019.
- [6] Niang, C. Maalouf, T. Moussa, C. Bliard, E. Samin, C. Thomachot-Schneider, M. Lachi, H. Pron, T. H. Mai et S. Gaye, «Hygrothermal performance of various Typha–clay composite, » *Journal of Building Physics*, vol. 42, n° %13, p. 316–335, 2018.
- [7] DIOP, M. B. NDIAYE, H. M. Bal, M. THIAM et S. GAYE, «Thermal Characterization of Dry Soil/Typha australis Materials for Improving the Energy Performance of Buildings, » *Journal of Scientific and Engineering Research*, vol. 7, n° %112, pp. 177–184, 2020.

- [8] Neya, «Valorisation de la biomasse du Burkina faso: faisabilité de panneaux de particules à base de déchets agricoles et recherche de nouveaux biocides pour la préservation du bois à partir d'essences naturellement durables, » 2002.
- [9] S. RAMDE, «ETUDE DE FAISABILITE DE PRODUCTION D'ECO MATERIAUX D'ISOLATION THERMIQUE A PARTIR DE PAPIER USAGE - BALLES DE RIZ, » Ouagadougou, 2018.
- [10] K. Rout et A. Satapathy, «Physical and thermal characterization of rice husk filled epoxy matrix composites, » chez *International Conference on Mechanical Engineering*, Dhaka, Bangladesh, 2011.
- [11] M. Chabannes, «Formulation et étude des propriétés mécaniques d'agrobétons légers isolants à base de balles de riz et de chènevotte pour l'éco-construction, » 2015.
- [12] E. Chabi, «Étude de la Formulation et des propriétés Mécaniques et thermiques du Béton de Balles de Riz, » 2017.
- [13] G. A. L. T. M. M. R. e. Y. D. A.T. Le, «Experimental investigation on the mechanical performance of starch–hemp composite materials, » *Construction and Building Materials*, vol. 61, p. 106–113, 26 mars 2014.
- [14] Y. Dieye, P. M. Toure, P. M. Gueye, V. Sambou, S. Bodian et S. Tigampo, «Thermomechanical Characterization Of Particleboards From Powder Typha Leaves., » *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*, vol. 4, n° 11, p. 306–317, 2019.
- [15] G. Balčiūnasa, S. Vėjelis, S. Vaitkus et A. Kairytė, «Physical Properties and Structure of Composite Made by Using Hemp Hurds and Different Binding Materials, » chez *11th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques, MBMST 2013 / Procedia Engineering /Published by Elsevier Ltd*, 2013.
- [16] M. E. Ali et A. Alabdulkarem, «On thermal characteristics and microstructure of a new insulation material extracted from date palm trees surface fibers, » *Construction and Building Materials*, vol. 138, p. 276–284, 2017.
- [17] D. TRAN LE, «Etude des transferts hygrothermiques dans le béton de chanvre et leur application au bâtiment, » 2010.
- [18] Bourdot, T. Moussa, A. Gacoin, C. Maalouf, P. Vazquez, C. Thomachot-Schneider, C. Bliard, A. Merabtine, M. Lachi, O. Douzane, H. Karak et G. Polidori, «Characterization of an agro-material for building envelope: influence of hemp/starch ratio and hemp shive size on physical, mechanical, and hygrothermal properties, » *energy and buildings*, vol. 153, pp. 501-512, Octobre 2017.
- [19] G. M. Houenoukpo, «Elaboration et caractérisation thermique d'un eco-matériau «gousses de mil-polystyrene», » 2021.

Détermination de quelques conditions optimales de la fertilisation de palmier à huile à base de cendre issue de vidange de chaudière d'huilerie

[Determination of some Optimal Conditions for Fertilizing Oil Palm using Ash from Oil Mill Boiler Emptyings]

Kouassi Quevin Yao¹, Bini Yao Christophe Adou², Dramane Koné³, and Kouakou Hilaire Tonoh³

¹Université Jean Lorougnon Guédé, UFR Agroforesterie, Laboratoire de Physiologie et Pathologie Végétale, PB 150 Daloa, Côte d'Ivoire

²Centre Nationale de Recherche Agronomique (CNRA), Programme Palmier à Huile, Station de La Mé, 13 PB 989 Abidjan 13, Côte d'Ivoire

³Université Peleforo Gon Coulibaly, UFR de Biologie Végétale, Unité Pédagogique de Recherche de Physiologie Végétale, PB 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

⁴Université Nangui Abrogoua, UFR des Sciences de la Nature, Laboratoire de Biologie et Amélioration des Productions Végétales, 02 PB 801 Abidjan 02, 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: Mineral fertilization is difficult in rural areas due to the very high price of chemical fertilizers. However, organic waste, which sometimes disrupts the environment, can boost plant production. This investigation aims to determine some optimal conditions for fertilizing oil palms using ash from oil mill boilers to improve palm fruit production. To do this, different doses of this ash were tested on oil palm trees in production. Agronomic, physical, and agro-climatic parameters were evaluated. The results showed that fertilization using this ash, regardless of the dose, contributed to improving palm fruit production. To optimize this fertilization, a dose of 5 kg of this ash per palm tree, a significant amount of fine elements in this ash, and adequate levels of agro-climatic parameters are required.

KEYWORDS: Organic waste, bunches production, agronomic parameters, agro-climatic parameters, Ivory Coast.

RESUME: La fertilisation minérale est difficile dans le milieu paysan du fait du prix très élevé des engrais chimiques. Pourtant, les déchets organiques qui gênent parfois l'environnement sont capables de booster la production végétale. C'est ainsi que la présente investigation vise à déterminer quelques conditions optimales de la fertilisation de palmier à huile à base de cendre issue de vidange de chaudière d'huilerie afin d'améliorer la production de régimes de palme. Pour ce faire, différentes doses de cette cendre ont été testées sur des palmiers à huile en production. À cet effet, des paramètres agronomiques, physiques et agro-climatiques ont été évalués. Les résultats ont montré que la fertilisation à base de cette cendre, quelle que soit la dose, a contribué à l'amélioration de la production de régimes de palme. Pour optimiser cette fertilisation, il faut une dose de 5 kg de cette cendre par palmier, une quantité importante d'éléments fins dans cette cendre et des niveaux de paramètres agro-climatiques adéquats.

MOTS-CLEFS: Déchets organiques, production de régimes, paramètres agronomiques, paramètres agro-climatiques, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

La culture du palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.) a débuté au XX^{ème} siècle en Asie du sud-est [1]. Cette culture s'est développée en Afrique entre la première et la deuxième guerre mondiale [2]. En Côte d'Ivoire, elle occupe une place très importante dans l'économie au point qu'il a été envisagé d'augmenter sa production à 800 000 tonnes d'ici 2025 [3]. Pour ce faire, le respect des itinéraires techniques et la mise à disposition de matériel végétal performant et de fertilisants adaptés à l'environnement pour les producteurs villageois et industriels doivent être exigés.

La baisse de la fertilité des sols est une contrainte pour la productivité agricole en Côte d'Ivoire [4]. Pour la culture du palmier à huile en production, la déficience potassique est la principale, voire même l'unique déficience minérale rencontrée sur les sols ferrallitiques d'Afrique de l'ouest et plus précisément de la Côte d'Ivoire [5]. Ainsi, le potassium est l'élément essentiel pour le bon fonctionnement de la production des régimes de palme et apparaît comme le premier facteur limitant des rendements en régimes de palme [6].

En outre, pour obtenir de bonnes productions de régimes de palme, le palmier à huile, cultivé sur des sols tropicaux généralement très altérés, nécessite d'importantes quantités d'engrais. L'une des stratégies d'apport d'engrais est l'enrichissement en matière organique en utilisant des produits résiduels organiques sous forme d'amendement ou de fertilisant [7] comme solutions pour l'amélioration des sols et la compensation des pertes en nutriments et des carences nutritionnelles observées au niveau des systèmes de production [8].

Au sein des huileries de palme, les déchets solides, notamment la cendre issue de la vidange de chaudière d'huilerie, sont rejetés généralement dans l'environnement sans disposition particulière et encombrant ainsi les huileries. Ces pratiques de gestion inappropriée des déchets issus des résidus d'exploitation de palmier à huile entraînent une perte nette de nutriments pour les sols à vocation agricole dans la mesure où ces déchets ne sont plus restitués aux palmeraies. En effet, diverses recherches ont mis en évidence le fort potentiel des résidus de palmier comme source de nutriments et de matière organique pour améliorer la fertilité des sols [9], [10], [11]. Toutefois, l'optimisation de ces déchets en tant que source de fertilisation organique pourrait dépendre de plusieurs facteurs. C'est ainsi que la présente étude vise donc à déterminer quelques conditions optimales de la fertilisation de palmier à huile à base de cendre issue de vidange de chaudière d'huilerie afin d'améliorer la production de régimes de palme.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 SITE D'EXPÉRIMENTATION

L'étude a été menée à la station expérimentale CNRA de La Mé, située dans le sud-est de la Côte d'Ivoire, à 24 km d'Abidjan. Les coordonnées géographiques de cette station sont 05°26' de latitude Nord et 03°50' de longitude Ouest. Le climat y est de type subtropical humide, avec des saisons marquées. Il présente également des caractéristiques du climat Attiéen en bordure côtière. La pluviométrie annuelle est abondante mais très irrégulière, avec une moyenne de 1750 mm au cours des dix dernières années. La répartition mensuelle des précipitations révèle un cycle bimodal, avec deux saisons de pluies alternant avec deux saisons sèches. Les températures moyennes mensuelles oscillent entre 24 et 28 °C, tandis que l'hygrométrie varie de 75 à 90 % [5]. Le sol, dérivé des sables tertiaires, est de type ferrallitique et fortement désaturé et pauvre en potassium [12]. Il est profond, sableux en surface et ne contient pas d'éléments grossiers. L'argile présente dans ce sol est principalement de type kaolinite et possède une faible capacité d'échange [13].

2.2 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal utilisé a été constitué de palmier à huile âgés de 10 ans. Ces palmiers sont issus de la catégorie de semence C1001F sélectionnée et vulgarisée par le CNRA depuis 1995. Cette catégorie de semence est issue du second cycle de sélection récurrente réciproque. Elle a un potentiel de production de 25 tonnes de régimes/ha/an, une teneur en huile de 26 % et un taux d'extraction industriel compris entre 22 et 23 % [5]. Elle est aussi caractérisée par une précocité de productivité en régimes, une forte résistance à la fusariose et une durée d'exploitation économique d'environ 30 ans.

2.3 MATÉRIEL DE FERTILISATION

Le matériel fertilisant est constitué de cendre issue d'incinération de rafles (Figure 1a) et de cendre issue de vidange de chaudière d'huilerie (Figure 1b). Cette vidange de chaudière d'huilerie est une cendre issue d'une combustion de résidus d'exploitation des régimes de palme en vue d'alimenter le moteur de l'huilerie. Ces résidus sont composés de fibres de graines

de palme et de graines dépourvues de leur pulpe. La cendre issue de l'incinération de rafles a servi de témoin relatif pour le présent essai. Elle a été recommandée par Uribe & Bernal [14] à la dose de 2 kg par palmier à huile.



Fig. 1. Différentes cendres constituant le matériel de fertilisation
a: cendre de rafles incinérées; b: vidange de chaudière d'huilerie

2.4 DÉTERMINATION DE LA TENEUR DES CENDRES EN ÉLÉMENTS MINÉRAUX

Les teneurs en éléments minéraux des cendres ont été déterminées au Laboratoire d'Étude des Sols et Procédés Industriels, de Synthèse, d'Environnement et d'Énergies Nouvelles (LAPISEN) de l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INPHB) de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). Les analyses ont porté sur la l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), le calcium (Ca) et le magnésium (Mg).

2.5 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

L'essai a été conduit sur une parcelle de palmier à huile délimitée par des bordures d'une ligne au niveau des périphéries. Les plants ont été plantés en quinconce (triangle équilatéral) de 9 m, donnant une densité de 143 plants/ha. Le dispositif expérimental qui a été utilisé est celui en blocs de Fisher complètement randomisés avec six traitements (Tableau 1) en trois répétitions, soit dix-huit micro-parcelles. Chaque micro-parcelle a été composée de quatre arbres utiles et douze arbres de bordure.

Tableau 1. Différents traitements appliqués aux palmiers à huile

Traitements	Description
Ta	Sans fertilisation organique ni minérale (Témoin absolu)
Tr	Cendre de rafles incinérées [2 kg/palmier (Témoin relatif)]
Tv1	Vidange de chaudière d'huilerie (1,5 kg par palmier)
Tv2	Vidange de chaudière d'huilerie (3 kg par palmier)
Tv3	Vidange de chaudière d'huilerie (5 kg par palmier)
Tv4	Vidange de chaudière d'huilerie (7 kg par palmier)

Ta: témoin absolu; Tr: témoin relatif; Tv: traitement vidange de chaudière d'huilerie

2.6 EPANDAGE DES DIFFÉRENTS FERTILISANTS

Avant l'épandage des fertilisants (différentes cendres), des ronds de 2 m de rayon ont été d'abord effectués autour des pieds des palmiers. Quelle que soit la nature du fertilisant, les différentes quantités à épandre ont été mesurées à l'aide de gabarits. Ces différentes quantités de fertilisants ont été épandues sur toute la surface des ronds, à partir de 1 m des pieds des palmiers. Pour ce faire, des gants ont été utilisés afin d'éviter tout contact corporel avec ces fertilisants.

2.7 ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DE CENDRES ISSUES DE LA VIDANGE DE CHAUDIÈRE D'HUILERIE ET DE L'INCINÉRATION DE RAFLES

L'analyse granulométrique représente la distribution massique des tailles de particules de la vidange de chaudière d'huilerie en comparaison à celles de la cendre issue de rafles incinérées. Pour ce faire, 1 kg de chacune de ces cendres (vidange de chaudière et rafles incinérées) a été prélevé et soumis individuellement au tamisage, à l'aide d'une tamiseuse de laboratoire, à une amplitude de 3.0 pendant 5 minutes. La masse de chaque fraction recueillie en fonction des dimensions des mailles des tamis constituant le dispositif de la tamiseuse a été déterminée par pesée. À chaque dimension des mailles des tamis, les masses des fractions recueillies ont été comparées entre elles, en fonction de leurs natures (vidange de chaudière et rafles incinérées).

2.8 EVALUATION DES PARAMÈTRES AGRONOMIQUES

Les données agronomiques ont concerné le nombre (NR) et le poids total de régimes (PTR) récoltés par traitement. La récolte des régimes de palme a été effectuée tous les 15 jours à l'aide de faucille. À chaque récolte, le nombre de régimes récoltés par traitement a été déterminé par comptage. Par traitement, les poids de régimes récoltés y compris des graines détachées ont été déterminés par pesée. Le nombre de régimes et le poids total des régimes ont permis de déterminer le poids moyen des régimes (PMR) par traitements selon la formule suivante:

$$PMR = \frac{PTR}{NR}$$

PMR: poids moyen de régime; **PTR:** poids total de régime; **NR:** nombre de régime

2.9 EVALUATION DES PARAMÈTRES AGRO-CLIMATIQUES EN FONCTION DE LA PRODUCTION DES PALMIERS À HUILES

Les données agro-climatiques ont concerné la pluviométrie, l'hygrométrie et la température. La collecte de ces données a été effectuée journalièrement à la station météorologique du CNRA-La Mé. Les données ont été collectées, un (1) mois avant la mise en place et durant l'expérimentation. Ces données ont servi à établir une corrélation entre le climat et la production des régimes de palme.

2.10 ANALYSES STATISTIQUES

Les données recueillies ont été traitées à l'aide du logiciel SAS version 9.4. Les tests de vérification de la normalité ont été effectués pour réaliser des tests statistiques paramétriques. La normalité étant respectée, les variantes étudiées étaient comparées par une analyse de variance à un facteur fixe. Les comparaisons des moyennes ont été faites au seuil $p=0,05$ à l'aide du test de Student Newman-Keuls. Les divers graphes et histogrammes ont été construits à l'aide des logiciels SAS 9.4 et Excel 2016.

3 RÉSULTATS

3.1 ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DE RAFLES INCINÉRÉES ET DE VIDANGE DE CHAUDIÈRE D'HUILERIE

Les éléments grossiers ont été constitués de particules qui n'ont pas pu passer la maille de 1 mm. L'analyse de la Figure 2 révèle que la cendre issue de la vidange de chaudière d'huilerie a été plus composée d'éléments grossiers (46 %) qu'il en a été de la cendre issue de l'incinération de rafles (26 %). A l'inverse, la teneur en éléments fins de la cendre issue de la vidange de chaudière d'huilerie (54 %) a été moins importante, comparativement à celle de la cendre issue de l'incinération de rafles (74 %).

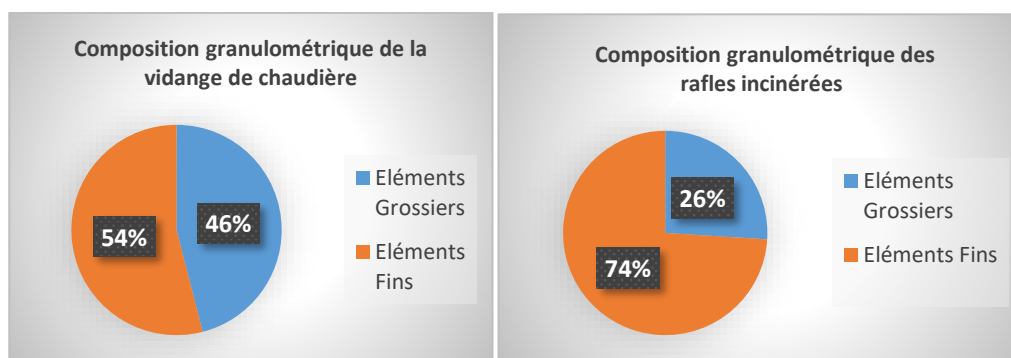


Fig. 2. Composition granulométrique de la vidange de chaudière d'huilerie et des rafles incinérées

3.2 TENEUR DES CENDRES EN ÉLÉMENTS MINÉRAUX

L'analyse des teneurs en minéraux consignées dans le tableau 2 montre que les différentes cendres utilisées dans la présente étude se sont distinguées de par leur teneur très élevée en potassium suivie de celle en magnésium. Les teneurs en azote ont été les plus faibles, suivies de celles en phosphore.

Tableau 2. Principales teneurs en éléments minéraux de vidange de chaudière d'huilerie et de rafles incinérées

Éléments minéraux	Teneurs en éléments minéraux (% m.s.)	
	Vidange de chaudière d'huilerie	Rafles incinérées
N	0,86	0,81
P	1,41	2,32
K	21,72	26,00
Ca	5,27	7,23
Mg	18,14	20,14

N: azote; P: phosphore; K: potassium; Ca: calcium; Mg: magnésium; m.s: matière sèche

3.3 NOMBRE DE RÉGIMES DE PALME EN FONCTION DES DIFFÉRENTS TRAITEMENTS

L'analyse du tableau 3 montre qu'il n'existe aucune différence significative entre les nombres de régimes de palme quel que soit le traitement appliqué aux arbres ($P > 0,05$).

Tableau 3. Nombres de régimes de palme en fonction des différents par traitements

Traitements	Nombre de régimes
Ta	1,65 ± 0,9 ^a
Tr	2,05 ± 1,45 ^a
Tv1	1,68 ± 1,12 ^a
Tv2	1,81 ± 0,91 ^a
Tv3	2,21 ± 1,9 ^a
Tv4	2,02 ± 1,87 ^a
F	0,090
p	0,529

Dans chaque colonne, les valeurs moyennes affectées de la même lettre ne sont pas significativement différentes (test de Newman-Keuls à 5%).

Ta: témoin absolu; Tr: témoin relatif; Tv: traitement vidange de chaudière d'huilerie

3.4 POIDS TOTAL DE RÉGIMES DE PALME

L'analyse de la figure 3 laisse observer une augmentation de la production de régimes avec la dose de vidange de chaudière d'huilerie. Le traitement sans fertilisant (Ta: Témoin absolu) a présenté la plus faible valeur de production de régimes de palme (19,58 kg). Cette valeur a été statistiquement identique à celle obtenue avec la vidange de chaudière d'huilerie à plus faible dose (Tv1: 22,47 kg). Par contre, le traitement Tv4 ayant la plus forte dose de vidange de chaudière d'huilerie a engendré la plus forte production de régimes de palme (35,17 kg). Cette valeur a été statistiquement identique à celles présentées par les traitements Tr (Témoin relatif: 27,47 kg) et TV3 (34,05 kg).

Par ailleurs, l'analyse du tableau 4 montre que tous les traitements ont provoqué des gains de production par rapport au traitement sans fertilisant (Ta: témoin absolu).

Comparativement au traitement à base de cendre issue de rafles incinérées (Tr: témoin relatif), seuls les traitements Tv3 et Tv4 qui ont des doses supérieures ou égales à 5 kg de vidange de chaudière d'huilerie par palmier ont présenté des gains de production allant de 24 à 28 %.

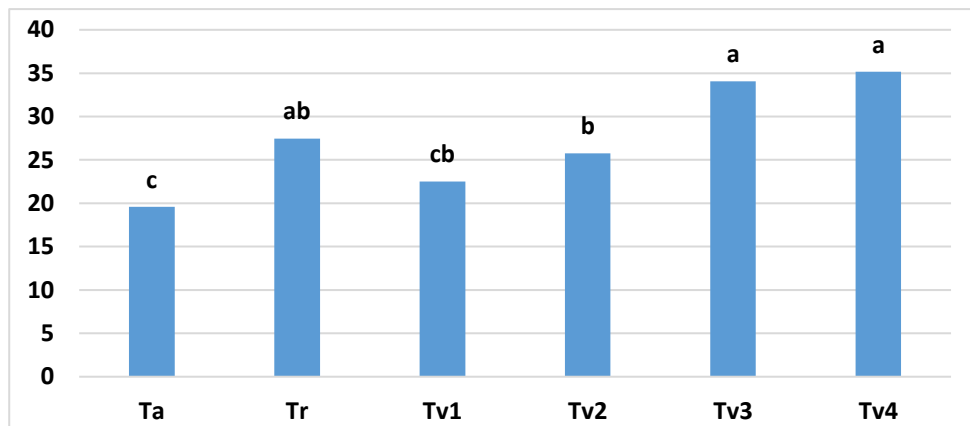


Fig. 3. Poids total de régimes de palme en fonction des différents traitements
Ta: témoin absolu; Tr: témoin relatif; Tv: traitement vidange

Tableau 4. Gains de production de régimes de palme par traitement et par rapport aux différents témoins

Traitements	PTR (kg)	Gain par rapport au Ta (%)	Gain par rapport au Tr (%)
Ta	19,58	-	-28,7
Tr	27,47	40,3	-
Tv1	22,52	15,0	-18,0
Tv2	25,75	31,5	-6,3
Tv3	34,05	73,9	24,0
Tv4	35,17	79,6	28,0

Ta: témoin absolu; Tr: témoin relatif; Tv: traitement vidange

3.5 POIDS MOYENS DES RÉGIMES DE PALME

L'analyse de la figure 4 montre que le poids moyen de régimes (PMR) a augmenté avec la dose de vidange de chaudière d'huilerie. Le traitement sans fertilisant (Ta: Témoin absolu) a présenté la plus faible valeur de PMR (11,26 kg/régime).

A l'inverse, le traitement Tv4 ayant la plus forte dose de vidange de chaudière d'huilerie a présenté le PMR le plus élevé (16,08 kg/régime). Celui-ci a été statistiquement identique à ceux affichés par les traitements Tr (Témoin relatif: 15,22 kg/régime) et Tv3 (15,92 kg/régime).

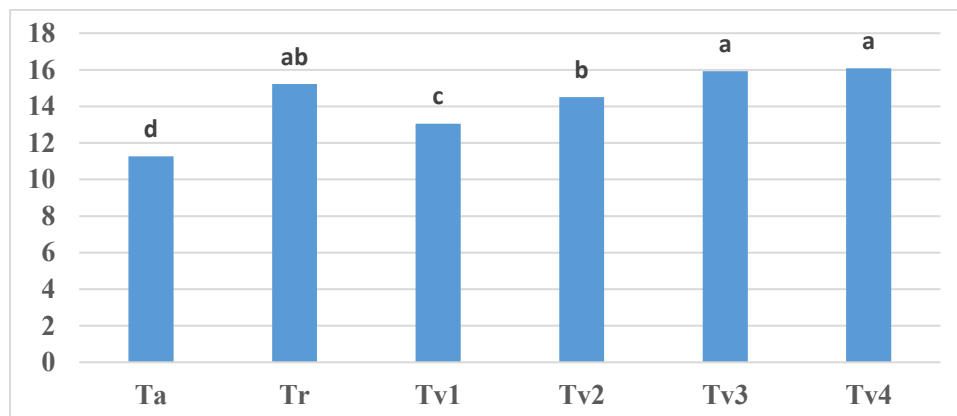


Fig. 4. Poids moyens de régimes de palme en fonction des différents traitements
Ta: témoin absolu; Tr: témoin relatif; Tv: traitement vidange

3.6 INFLUENCE DES PARAMÈTRES AGRO-CLIMATIQUES SUR LA PRODUCTION DE RÉGIMES DE PALME

3.6.1 PLUVIOMÉTRIE

L'analyse de la figure 5 montre que, durant l'expérimentation, le poids moyen de régime (PMR) a évolué dans le même sens que celui de la pluviométrie. La diminution de la pluviométrie allant de 249 mm en octobre 2023 à 6 mm en février 2024 a induit une réduction du PMR de cette période (PMR d'octobre 2023: 13,08 kg/régime; PMR de février 2024: 11 kg/régime). De même, l'augmentation de pluviométrie allant de 6 mm en février 2024 à 166 mm en mai 2024 a entraîné une hausse du PMR de la même période (PMR de février 2024: 11 kg/régime; PMR de mai 2024: 16,08 kg/régime). Les hauteurs de pluie et PMR les plus faibles ont été enregistrées en février 2024 (Pluviométrie: 6 mm; PMR: 11 kg/PMR). La période allant de mars à mai 2024 a présenté les PMR les plus élevés (14,86 à 16,08 kg/régime) bien que les valeurs pluviométriques de cette période aient été sensiblement égales à celles de la période d'octobre à décembre 2023.

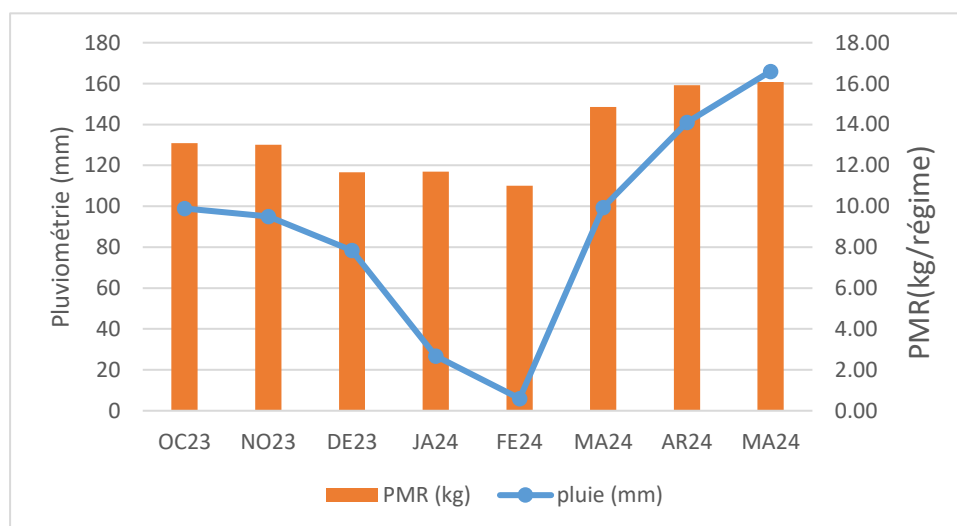


Fig. 5. Evolution de poids moyens de régimes en fonction de la pluviométrie

3.6.2 HYGROMÉTRIE

Globalement, durant l'expérimentation, le PMR a évolué avec l'hygrométrie (Figure 6). La diminution de l'hygrométrie allant de 77 % en octobre 2023 à 67 % en février 2024 a entraîné une réduction du PMR de cette période (PMR d'octobre 2023: 13,08 kg/régime; PMR de février 2024: 11 kg/régime). De même, l'augmentation de l'hygrométrie allant de 67 % en février 2024 à 82 % en mai 2024 a suscité une élévation du PMR de la même période (PMR de février 2024: 11 kg/régime; PMR de mai 2024: 16,08 kg/régime).

16,08 kg/régime). Durant la saison sèche (décembre 2023, janvier et février 2024), les valeurs de l'hygrométrie et de PMR étaient les plus faibles. Cependant, la période de mars à mai 2024 a enregistré les PMR les plus élevés (entre 14,86 et 16,08 kg/régime), malgré des valeurs hygrométriques sensiblement égales à celles observées d'octobre à novembre.

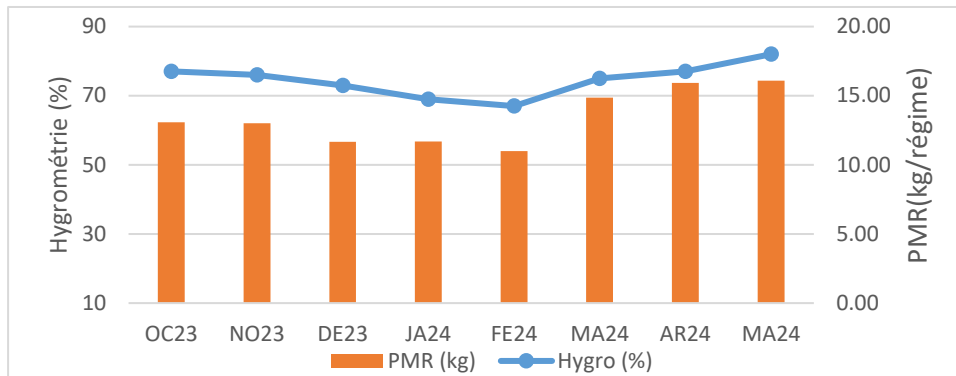


Fig. 6. Evolution de poids moyens de régimes en fonction de l'hydrométrie

3.6.3 TEMPÉRATURE

Durant l'expérimentation, la température a évolué de 28 à 35 °C (Figure 7). La plus faible valeur (28 °C) a été affichée au mois d'octobre 2023, tandis que la valeur maximale a été obtenue aux mois de janvier et février 2024 (35 °C). Cette valeur a été sensiblement constante pendant la période allant de décembre 2023 à mars 2024 (34 à 35 °C). De manière générale, le PMR a évolué dans le sens contraire de celui de la température (Figure 7). L'augmentation de la température allant de 28 °C en octobre 2023 à 35 °C en janvier et février 2024 a entraîné la diminution du PMR pendant cette période (PMR d'octobre 2023: 13,08 kg/régime; PMR de février 2024: 11 kg/régime). A l'opposé, la diminution de la température allant de 35 °C en février 2024 à 31 °C en mai 2024 a entraîné l'augmentation du PMR de la même période (PMR de février 2024: 11 kg/régime; PMR de mai 2024: 16,08 kg/régime).

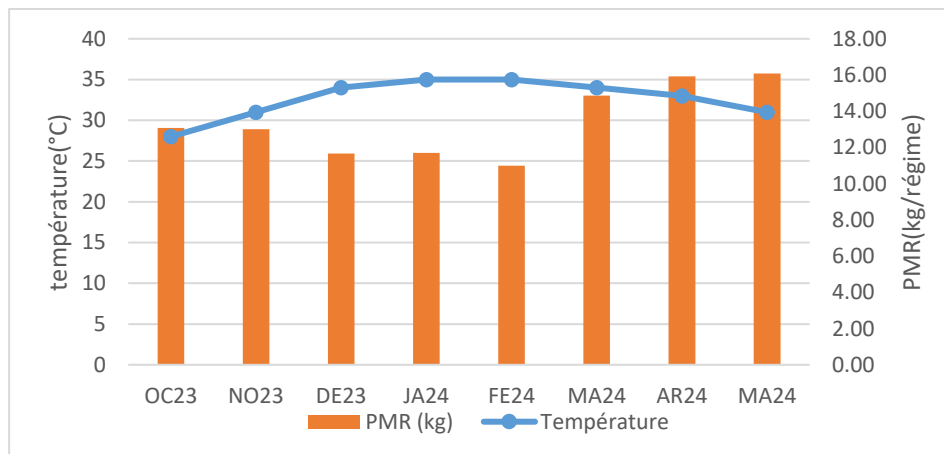


Fig. 7. Evolution de poids moyens de régimes en fonction de la température

4 DISCUSSION

L'analyse granulométrique des fertilisants, à savoir la cendre issue de la vidange de chaudière d'huilerie et celle issue des rafles incinérées, a révélé des différences dans leur répartition granulométrique. En effet, la teneur de la cendre issue de l'incinération de rafles en éléments fins a été plus importante, comparativement à celle de la cendre issue de la vidange de chaudière d'huilerie. Cette concentration de la vidange de chaudière d'huilerie en éléments fins affecterait sa capacité d'être dissoute pour être à la disposition des palmiers à travers l'absorption racinaire. Ceci traduirait le fait que la production de régimes exprimée par le traitement Tr (Fertilisation à 2 kg de rafles incinérées par arbre recommandée par Uribe & Bernal [14]) soit statistiquement égale à celle affichées par les traitements à base de fortes doses de vidange de chaudière d'huilerie. Des

résultats similaires ont été observés par Schenkel & Miserque [15] qui soulignent que la teneur en éléments grossiers des fertilisants influent sur leurs qualités.

L'analyse des résultats relatifs aux paramètres de production, à l'exception du nombre de régimes (NR), a révélé une existence de différence significative entre les variables liées à la production de régimes [poids total des régimes (PTR) et poids moyen des régimes (PMR)]. Cette indépendance du nombre de régimes est liée à la courte durée de l'essai (10 mois). Nos résultats corroborent les recherches antérieures de Goh [16] qui stipule que l'influence de l'application d'un fertilisant sur le nombre de régimes de palme est perceptible 24 mois après la mise en place de l'essai. Toutefois, selon ce dernier auteur, seule la production en termes de poids, et par conséquent le poids moyen de régimes, est observable à court termes. Cela pourrait justifier la différence entre les traitements relativement à la production de régimes de palme. Cette différence basée sur la production en termes de poids s'explique par le fait que les inflorescences et les régimes immatures présents sur les palmiers durant l'essai ont puisé les minéraux nécessaires des fertilisants pour le bon fonctionnement de leur métabolisme jusqu'à leur maturité.

L'analyse minérale a montré que les différentes cendres utilisées dans la présente étude se sont distinguées de par leur teneur élevée en potassium, suivie de celle en magnésium. L'amélioration des paramètres de production (PTR et PMR) observée au cours de l'expérience pourrait être due au fait que la vidange de la chaudière d'huilerie est riche en potassium puisque, selon Caliman *et al.* [17], la fertilisation pour la production de régimes de palmiers à huile est dominée par le potassium. Cela pourrait être confirmé par le fait que les traitements aux cendres de vidange de la chaudière d'huilerie, quelles que soient leurs doses, ont exprimé des gains par rapport au traitement sans fertilisant. Ce privilège du potassium en faveur de la production de palmiers à huile a été confirmé par des études antérieures menées au Cameroun par Rafflegeau [18] et en Asie du sud-est par Jamaluddin & Zulkifli [19]. Les travaux de Ballo [13] ont également montré que les engrais potassiques augmentent le rendement des régimes de palmiers à huile de 35 % sur les sols ferrallitiques du sud-est de la Côte d'Ivoire.

L'analyse des résultats des paramètres agro-climatiques de la présente étude a mis en évidence une relation dynamique entre les paramètres agro-climatiques et la production de régimes de palmiers à huile. Aussi, une certaine corrélation a été observée entre les pluviométries, températures, hygrométries moyennes mensuelles et le PMR. En effet, dans les mois de décembre 2023, janvier et de février 2024, les faibles précipitations et les valeurs de production les plus faibles ont été enregistrées. La sécheresse manifestée à cette période aurait eu une entrave sur l'humidification du sol, la dissolution et la minéralisation des fertilisants. Ceci pourrait compromettre l'optimisation de la nutrition minérale des palmiers et, par ricochet, la stimulation des activités biologiques au niveau des régimes. En effet, l'eau est un excellent solvant pour le transport des éléments nutritifs et des assimilés via le xylème et le phloème vers tous les organes de la plante. Une autre fonction de l'eau est le maintien de la turgescence qui est essentiel pour le développement et la croissance cellulaire. Sans doute, c'est le transit d'eau des pluies véhiculant des éléments nutritifs et des assimilés via le xylème et le phloème vers les organes, notamment les régimes de palme, qui serait à l'origine de l'évolution des poids de régimes qui va dans le sens de celle de la pluviométrie.

Relativement à l'hygrométrie et à la température, les palmiers à huile nécessitent un taux d'humidité moyen de 75 % pour une température de 30 °C pour un bon rendement en régime de palme [1]. Cependant, dans le cadre de la présente étude, une baisse du taux d'hygrométrie allant de 73 à 67 % a été observée avec des températures supérieures à 30 °C dans les mois de décembre 2023 à février 2024. Ceci entraîne la fermeture des stomates entravant ainsi l'activité photosynthétique du palmier [1]. Alors, contrairement à l'élévation des poids de régimes qui serait suscitée par les précipitations, il est évident que la baisse du taux d'hygrométrie allant de 73 à 67 % et la hausse de la température à plus de 30 °C aurait suscité une déshydratation des régimes de palme: d'où la perte de poids des régimes de palme qui serait l'équivalent d'eau évaporée par les régimes.

5 CONCLUSION

Aux termes de la présente investigation, il convient de noter que la fertilisation à base de cendre issue de la vidange de chaudière d'huilerie a contribué à l'amélioration de la production de régimes de palme. Pour optimiser cette fertilisation, il faut une dose de 5 kg de cendre issue de la vidange de chaudière d'huilerie par palmier, une quantité importante d'éléments fins dans cette cendre et des niveaux de paramètres agro-climatiques adéquats.

CONFLITS D'INTÉRÊTS

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts concernant la publication de cet article.

REFERENCES

- [1] J. C. Jacquemard, Le palmier à huile. Editions Quae, CTA, presses agronomiques de Gembloux, passage des déportés, 2, B-5030 Gembloux, Belgique, 234 p., 2012.
- [2] B. Cochard, B. Adon, K. R. Kouamé, T. Durand-Gasselien and P. Amblard, «Intérêts des semences commerciales améliorées de palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.)», *Oilseeds & fats Corps Lipids*; vol. 8, no. 6, pp. 654–658, 2001.
- [3] A. N'Guessan, D. Gogoue, B. Anougba, I. Dembélé and K. Allou, «Evaluation of Different Types of Substrates on the Development of Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) Plantlets in Côte d'Ivoire», *European Scientific Journal*, vol. 17, no. 37, pp. 1857-1881, 2021.
- [4] Y. T. Brou and J-C. Chaléard, «Visions paysannes et changements environnementaux en Côte d'Ivoire», *Annales de Géographie*, vol. 653, pp. 65-87, 2007.
- [5] K. Kouamé, S. Aké, W. Yté, S. Doumbia, K. E. Konan, N. A. Kouassi, B. Koné and D. Sékou, «Détermination de la dose optimale de fumure potassique sous culture de palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.) dans les conditions du sud-est de la Côte d'Ivoire: cas du matériel végétal en cours de vulgarisation», *European Scientific Journal*, vol. 10, no. 18, pp. 447-463, 2014.
- [6] R. H. V. Corley and P. B. Tinker, The Oil Palm. John Wiley & Sons, New York, site net: <http://dx.doi.org/10.1002/9781118953297>, 2016, Consulté le 16 février 2024.
- [7] B. Koné, S. Diatta, A. Saïdou, I. Akintayo and B. Cissé, «Réponses des variétés interspécifiques du riz de plateau aux applications de phosphate en zone de forêt au Nigeria», *Canadian Journal of Soil Science*, vol. 89, no. 5, pp. 555-565, 2009.
- [8] A. Bationo, A. Hartemink, O. Lungu, M. Naimi, P. Okoth, E. Smaling and L. Thiombiano, African soils: their productivity and profitability or fertilizer use. Document de base présenté à l'occasion du sommet africain sur les engrais, Abuja, Nigéria: pp. 9-13, 2006.
- [9] F. Schuchardt, D. Darnoko and P. Guritno, Composting of empty oil palm fruit bunch (EFB) with simultaneous evaporation of oil mill waste water (POME): International Oil Conference, Nusa Dua, Bali: pp. 8-12, 2002.
- [10] R. Singh, M. H. Ibrahim, N. Esa and M. Iliyana, «Composting of waste from palm oil mill: A sustainable waste management practice», *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, vol. 9, no. 4, pp. 331-344, 2010.
- [11] C. Bessou, A. Verwilghen, L. Beaudoin-Ollivier, R. Marichal, J. Ollivier, V. Baron, X. Bonneau, M. P. Carron, D. Snoeck, M. Naim, A. A. K. Aryawan, F. Raoul, P. Giraudoux, E. Surya, E. Sihombing and J. P. Caliman, «Agroecological practices in oil palm plantations: examples from the field», *Oilseeds & fats Crops and Lipids*, vol. 24, no. 3, pp. 2257-6614, 2017.
- [12] M. Ollagnier and R. Ochs, «Gestion des de la nutrition minérale plantations industrielles de palmiers à huile», *Oléagineux*, vol. 36, no. 8-9, pp. 410-421, 1981.
- [13] K. Ballo, «Incidence de la fertilisation à base de potassium sur les composantes du rendement du palmier à huile et sur les caractéristiques d'un sol: cas des ferralsols du sud de la Côte d'Ivoire», Thèse de doctorat, UFR de Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Agro-pédologie, Université de Cocody, Côte d'Ivoire, 140 p. 2009.
- [14] A. Uribe and G. Bernal, «Incinérateur de rafles des régimes de palmier à huile. Utilisation des cendres. *Oléagineux*, vol. 28, no. 3, pp. 147-149, 1973.
- [15] Y. Schenkel and O. Miserque, «Les caractéristiques physiques des particules d'engrais: mesure et influence», Rapport final du Programme d'appui scientifique à la normalisation et aux réglementations techniques du centre de recherches agronomiques de Gembloux département génie rural, (42/43), 63p., 2005.
- [16] K. J. Goh, Climatic requirements of the oil palm for high yields. In Managing Oil Palm for High Yields: Agronomic Principles, Goh KJ (ed). *Malaysian Soc. Of Soil Sc. and Param Agric. Surveys*, Kuala Lumpur: pp. 1-17, 2000.
- [17] J. P. Caliman, C. Daniel and B. Tailliez, La nutrition du palmier à huile; PRD: sept-oct.: PORIM advisory committee programme. Kuala Lumpur, Malaisie, vol. 1, no. 3, pp. 36-48, 1994.
- [18] S. Rafflegeau, «Dynamiques d'implantation et conduite technique des palmeraies villageoises de palmier à huile au Cameroun», Thèse de Doctorat, Institut National Agronomie, Agronomie, Paris, France, 192 p., 2008.
- [19] N. Jamaluddin and Z. I. Zulkifli, Potassium requirement on costal soil. In: Proceeding of PIPOC, 863 p., 2005.

GESTION DU PERSONNEL ET SON IMPACT SUR LE RENDEMENT DE SERVICE DANS UNE ENTREPRISE PUBLIC SANITAIRE: CAS DE L'HOPITAL GENERAL DE REFERENCE DE TSHOFA

[PERSONNEL MANAGEMENT AND ITS IMPACT ON SERVICE PERFORMANCE IN A PUBLIC HEALTHCARE ENTREPRISE: CASE OF THE TSHOFA GENERAL REFERRAL HOSPITAL]

Godefroid Kalonda Kabemba, Alexandre Munkindji Kabemba, Leonard Ngoyi Yambayamba, Musongiela Kamanda, Honoré Kembe Ngama, Patrick Katambue Nkongolo, Georges Kasemuana, and Kalonda Ngiele Muikula

Institut Supérieur des Techniques Médicales de Tshofa, ISTM-TSHOFA, Province de Lomami, 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: In order to carry out our field investigations, our study population consisted of a sample estimated at 44 agents. The research question was whether staff were managed in accordance with legislative principles, and whether this resulted in good performance. We were subject to the hypothesis that there were irregularities in personnel management that could lead to poor service performance. Our specific objectives were to evaluate personnel management and determine its impact on service performance. To achieve these objectives, we conducted a cross-sectional analytical study based on an evaluative approach. Data collection was based on interviews and documentary analysis.

Our results show that the Tshofa HGR has a staff of 44, including 11 A1 nurses (25%), 11.4% general practitioners and 6.8% laboratory technicians, and 6.8% other nurses. There are 75% new unit agents and 25% unpaid matricules. No agent is salaried in this structure: 47.7% of staff receive hazard pay; male staff represent 56.8%; no agent is better rewarded locally. The bed occupancy rate is 39% in 2019, 28% in 2018 and 25% in 2017.

In view of these results, we believe that in light of the salary situation as presented above, service performance would be low at the Tshofa General Reference Hospital.

KEYWORDS: management, personnel, performance, legislative, hospital.

RESUME: En vue de mener nos investigations sur terrain, notre population d'étude était constituée d'un échantillon évalué à 44 agents. La question de recherche était de savoir si le personnel était géré suivant les principes législatifs et cela produisait un bon rendement. Nous avons été soumis à la vérification une hypothèse qui consistait à croire qu'il y aurait des irrégularités dans la gestion du personnel qui pourrait entraîner une faiblesse dans le rendement de service. Nos objectifs spécifiques étaient d'évaluer la gestion du personnel et déterminer son impact dans le rendement de service. Pour les atteindre, une étude analytique de type transversale appuyée par l'approche évaluative était menée. Dans la collecte des données, nous nous sommes servis de la technique d'interview et d'analyse documentaire.

Nos résultats obtenus démontrent que L'HGR de Tshofa fonctionne avec 44 agents parmi eux: 11 infirmier A1, soit 25%; c'est-à-dire 11,4% des médecins généralistes et 6,8% des techniciens de laboratoire sans oublier d'autres catégories d'infirmiers présentant respectivement 6,8%. Il y a à son sein 75% d'agents nouvelles unités contre 25% des matricules non payés. Aucun agent n'est salarié dans cette structure: 47,7% du personnel touchent la prime de risque; le personnel du sexe masculin représente 56,8%; Aucun agent n'est mieux primé localement, Le taux d'occupation de lit est de 39% en 2019 28% en 2018 et 25% en 2017.

Au regard de ces résultats nous pensons qu'à la lumière de la situation salariale telle que présenté ci-haut, le rendement de service serait faible à l'Hôpital Général de Référence Tshofa.

MOTS-CLEFS: gestion, personnel, rendement, législatif, hôpital.

1 INTRODUCTION

1.1 JUSTIFICATION

Le rendement de service dans du différentes structures de l'administration publique que dans les structures sanitaires est fonction du mode de la gestion du personnel et de son traitement sur tous les plans [1].

Un personnel reconnu démontre soit par sa considération, sa rémunération, n'arrive pas à rendre un service repris selon les attentes tant de sa hiérarchie que de tous les bénéficiaires de celui-ci [2]. Il a été pour nous un constat lors de nos passages dans quelques formations sanitaires dans la zone de santé de Tshofa. Un relâchement de la part du personnel, caractériser par la négligence de malades par certains professionnels de santé, le non-respect des heures d'arrivée et de sortie de services, le remplissage et classement des documents administratifs irréguliers, la non-assistance sociale du personnel en difficultés familiale et autres [3].

Eu égard à ce qui précède et leur impact dans la qualité de service nous y avons attirés notre attention en orientant nos enquêtes sur la gestion du personnel dans une structure sanitaire.

Ces investigations que nous menons au regard de ces objectifs nous permettent entant que chercheur d'avoir la maîtrise du principe de gestion du personnel pouvant améliorer la productivité des services dans une structure de soins de santé. Elles fournissent et éveillent le gestionnaire dans son mode de gestion, ils semblent avoir tendance à s'égarer de normes établies dont la finalité n'est autre que la production d'un service de qualité au future chercheur qui pourrait dans la mesure du possible et selon la nature de leurs enquêtes, l'utiliser en vue d'enrichir les travaux.

1.2 PROBLEMATIQUE

Si l'on peut affirmer ou infirmer que les principes et les techniques de gestions existent depuis l'apparition de l'homme sur la terre et depuis la constitution de conglomérations humaines, il y a lieu de comprendre que l'évolution poussés de plus en plus par la révolution technologique perfectionner et transformer considérablement ces principes leur nécessité, d'adaptation aux mutations de l'humanité qui s'impose comme impératif incontournable pour atteindre la pleine satisfaction de la gestion humaine [4; 9].

La gestion en lui-même est considérée comme une ressource pour les organisations, un facteur de l'efficacité et de la performance, également verticale pour les pays du tiers monde, un facteur du développement économique et social, un facteur de la connaissance et de l'avancement de nos services [5].

Un facteur de la progression des entreprises, de l'enrichissement des institutions sanitaires. Pavlov LUNKAMBA 2020

L'HGR Tshofa et le centre de santé Lomami sont des structures étatiques dont la gestion du personnel semble ne pas se conformer à l'idéal, ce qui attire notre attention et en faisons un problème qui nécessite une investigation. Et pour ce faire nous nous posons les questions de recherche suivantes:

- La gestion du personnel à l'HGR Tshofa respect-t-elle la théorie législative à la matière ?
- Permet-elle aux employés de produire le meilleur d'eux même dans le rendement de services ?

1.3 HYPOTHESES

Au regard des questions précédentes et dans le cadre de nos enquêtes nous pensons qu'il aurait des irrégularités dans la gestion du personnel à l'hôpital général de référence de Tshofa et que le rendement de service par les prestataires serait faible.

1.4 OBJECTIF GENERAL

L'objectif principal de cet article est d'évaluer la gestion du personnel en déterminant son impact dans le rendement de service par les prestataires à l'hôpital général de référence de Tshofa.

2 MILIEU, MATERIEL ET METHODES

2.1 MILIEU D'ETUDE

Notre étude a été menée à l'Hôpital Général de Référence de Tshofa, situé dans le chef-lieu du Secteur de Tshofa, dans le Territoire de Lubao, Province de Lomami en République Démocratique du Congo [6].

2.2 MATERIEL

Dans le processus de collecte des données relatives à nos enquêtes nous avons utilisé les matériels suivants: le stylo, le canevas de collecte des données, le relevé de paie du personnel, le cahier de ponctualité.

2.3 METHODOLOGIE

En vue d'atteindre les objectifs assignés, nous avons utilisé la méthode évaluative. Celle-ci consiste à apporter un jugement de valeur sur les résultats d'une action une population de 44 agents.

2.3.1 TECHNIQUE DE COLLECTE ET TRAITEMENT DES DONNEES

Dans la collecte des données, nous avons fait recours à la technique d'interview et l'analyse documentaire.

2.3.2 TYPE D'ETUDE

En vue d'atteindre les objectifs assignés, nous avons réalisé une étude analytique de type transversale avec l'approche évaluative.

2.3.3 VARIABLES ETUDIEES

Les variables dépendantes et indépendantes mesurés dans ce travail sont:

- Catégorie du personnel
- Sexe
- Situation salariale générale
- Situation salariale par sexe
- Prime locale
- Taux d'utilisation de service

3 RESULTATS

Tableau 1. Catégorie du personnel de l'HGR TSHOFA

Catégorie/niveau	Effectif	Pourcentage (%)
Médecins spécialistes	0	0
Médecins Généralistes	5	11,4
Infirmiers A0	1	2,3
A1	11	25
A2	3	6,8
A3	3	6,8
Technicien Labo	3	6,8
AG	1	2,3
Diplômés d'état	7	15,8
Comptable	1	2,3
Niveau primaire	9	20,5
Total	44	100

Il ressort de ce tableau que l'hôpital général de référence de Tshofa fonctionne avec 11 infirmiers A1 soit 25% de l'ensemble du personnel, les infirmiers de niveau A2 et A3 et techniciens de laboratoire avec 6,8% de cas par catégorie. Les médecins généralistes ne présentent que 11,4% de cas de personnel technique. L'HGR renferme à son sein un bon nombre du personnel administratif avec différentes proportions démontre dans ce tableau.

Tableau 2. Distribution de cas selon le sexe

Sexe	Effectif	Pourcentage (%)
Masculin	25	56,8%
Féminin	19	43,2
Total	44	100

Il apparaît sur ce tableau que le personnel du sexe masculin représente 56,8% de cas et le sexe féminin avec 43,2%.

Tableau 3. Distribution de cas selon la situation salariale

Situation Salariale	Effectif	Pourcentage (%)
Mécanisé payé	0	0
Mécanisés Non payés	11	25
Nouvelles unités	33	75
Total	44	100

Au regard de ce tableau il ressort que les nouvelles unités représentent 75% de cas soit 33 agents sur 44, suivi de 25% de matriculé non payés. A l'HGR TSHOFA à l'ère actuelle, il n'y a aucun agent matriculé et payer.

Tableau 4. Distribution de cas selon le traitement de base du personnel prime locale

Traitement du personnel	Effectif	Pourcentage (%)
Mieux primé	0	0
Moyennement primé	1	2,3
Moins primé	43	97,7
Total	44	100

Considérant le traitement de base du personnel de l'hôpital général de Tshofa par la prime locale, ce tableau démontre que 97,7% d'agents sont moins primé suivi 2,3% du personnel moyennement primé. Aucun n'agent de cette structure n'est mieux primé.

Tableau 5. Taux d'occupation des lits pendant les 4 dernières années

Année	Taux (%)
2017	25
2018	28
2019	39
2020	44

Le tableau 5 présente le taux d'occupation de lit renseigne que 2020 il était 44% et de 39% en 2019, en 2018-2017 le taux d'utilisation était respectivement de 28% et 25%.

Tableau 6. Distribution de cas des agents touchant la prime de risque

Agents touchant la prime de l'état	Effectif	Pourcentage (%)
Agents primés	21	47,7
Agents non primés	23	52,3
Total	44	100

En rapport avec la prime de risque l'hôpital général de référence de Tshofa renferme 23 agents primés sur 44 agents soit 52,3% de cas contre 21 agents primes sur 44 soit 47,7% de cas.

4 DISCUSSION

Dans l'ensemble de résultat observé dans le premier tableau, l'HGR TSHOFA fonctionne avec 11 infirmiers A1 soit 25%, des infirmiers des niveaux différents selon leur niveau d'étude entre autres les A₂, A₃ suivis des médecins avec % allant à 11,4% et enfin les techniciens de laboratoire avec 6,8% des cas. En outre par rapport à la distribution des cas selon le sexe, il apparaît au vu du tableau N°2 que le personnel de sexe masculin prédomine avec 56,8% contre le sexe féminin avec 43,2% de cas.

Les références [7; 8] démontrent l'impact de la gestion du personnel sur la productivité dans une entreprise publique » par Madeleine Dédé NGONB NANSONG, où l'auteur a essayé de donner le rôle de la gestion du personnel, les stratégies utilisées pour atteindre des objectifs de la productivité ainsi que les points forts et faibles de cette gestion et a trouvé 45%.

Au regard de ce tableau, il ressort que les nouvelles unités représentent 75% des cas, soit 33 agents sur 44; suivis de 25% des matriculés non payés à l'hôpital général de référence de Tshofa.

A la SNC sur l'impact de la gestion des ressources humaines, sur la productivité d'une production des services » où l'auteur [7] s'attacherait à la manière que l'entreprise gère les ressources humaines et leur impact sur la productivité. De même l'auteur [10] appuie nos résultats en expliquant que la motivation au service permet d'assurer un service de qualité et obtenir un bon rendement.

Par rapport au 4^{ème} tableau un constat est fait lors de notre recherche sur la considération de traitement du personnel et avons constaté que 97,7% d'agents sont moins primés suivis de 2,3% du personnel moyennement primés. Donc à ce propos aucun agent au sein de cette structure de la Zone de santé n'est mieux primé. Et pourtant tout travail doit être motivé pour mieux assurer le service au sein de l'entreprise [11; 12; 13]

A la Gécamines, sur l'analyse de la gestion pour la prise de décision dans une entreprise » par Philippe MASEKA KAUTSHUNGU, qui est à la base de difficultés diminuant la production de la société.

Par rapport au 5^{ème} tableau, notre étude a montré que l'occupation de lit renseigne qu'en 2020, il était de 44%, de 39% en 2019, en 2018 et 2017, le taux d'utilisation des services était respectivement de 28% et 25%.

5 CONCLUSION

Au terme de nos investigations axées sur **la gestion du personnel et son impact dans le rendement de service dans une entreprise publique, cas de l'HGR/Tshofa.**

A l'issue de ces enquêtes, les résultats se présentent de la manière ci-après:

- L'HGR de TSHOFA fonctionne avec 44 agent parmi les 11 infirmiers A1 soit 25%, 11,4% des médecins générales et 6,8% des techniciens de laboratoire sans oublier d'autres catégories d'infirmiers présentent respectivement 6,8%.
- Il a à son sein 75% d'agents nouvelles unités contre 25% des matriculés non payés. Aucun agent n'est salarié dans cette structure.
- 47,7% du personnel touchent la prime de risque.
- Le personnel du sexe masculin représente 56,8%
- Aucun agent n'est mieux primé localement.
- Les taux d'occupation de lit sont de 39% en 2019, 28% en 2018 et 25% en 2017.

Au regard de ces résultats, nous passons qu'à la lumière de la situation salariale telle que présenter ci-haut le rendement de services serait faible à l'HGR/Tshofa.

REFERENCES

- [1] NSOMO L. D, BILOA FOUA C. N. et EYENGA MEKE C. P., 2022. Exploration des pratiques de gestion des ressources humaines dans les PME Camerounaises en contexte de COVID-19. *Revue africaine de management*, vol. 7 (1), 212-237pp.
- [2] ANDRE L., « le développement des ressources humaines: politiques, méthodes, outils», 2eme édition Presses de l'EHESP, France, 2014.
- [3] PACITTO, J.-C., et Chandler, A. D., 2017. L'histoire des structures industrielles. Dans P. S. Charreire & I. Huault (Eds.), *Les grands auteurs de Management: Editions EMS: Management et Société*.
- [4] VANDEN RIEN. L'Influence politique sur la vie administrative, Ed Dolloy Paris 1997.
- [5] KANKUKAMYOYO N., 2006. Gestion du personnel des santé, édition tallentoi Lubumbashi Vol 292 pages.
- [6] KASEMUANA TSHITE L., 2024. Outils et rites de la chasse chez les songye dans le secteur de Tshofa, en République Démocratique du Congo. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol.42 (3), 533-540.

- [7] HENRY BOURGOIN Cité par MBILO, F & entreprise publique Congolaise face au défi du management moderne, les presses de la société. Les éditions Européennes, Bruxelles 2002, P.18.
- [8] DAYAN. A Manuel gestion Vol 1, éllipses, Paris 1999, P 791.
- [9] CHRETIEN, L., ARCAND, G., TELLIER, G., & ARCAND, M. 2005. « Impacts des pratiques de gestion des ressources humaines sur la performance organisationnelle des entreprises de gestion des projets ». *Revue Internationale sur le Travail et la Société*, vol3 (1), 107-128pp.
- [10] Gave B., 2013. Les relations des salariés à l'entreprise et à la marque », Géraldine Michel éd., Management transversal de la marque. Une exploration au cœur des marques, Dunod, p. 69-75.
- [11] ALBERTOT & COMBEMALE P: comprendre l'entreprise, Ed Natha, Paris 2^e Ed 1999.
- [12] PAUL KAYA. Le salaire de base d'un travail. Ed. Mont. Carmel, Paris 2015.
- [13] P. LEBRET, la gestion de ressources humaines, ée carthala, Paris 2000 P, 401.

