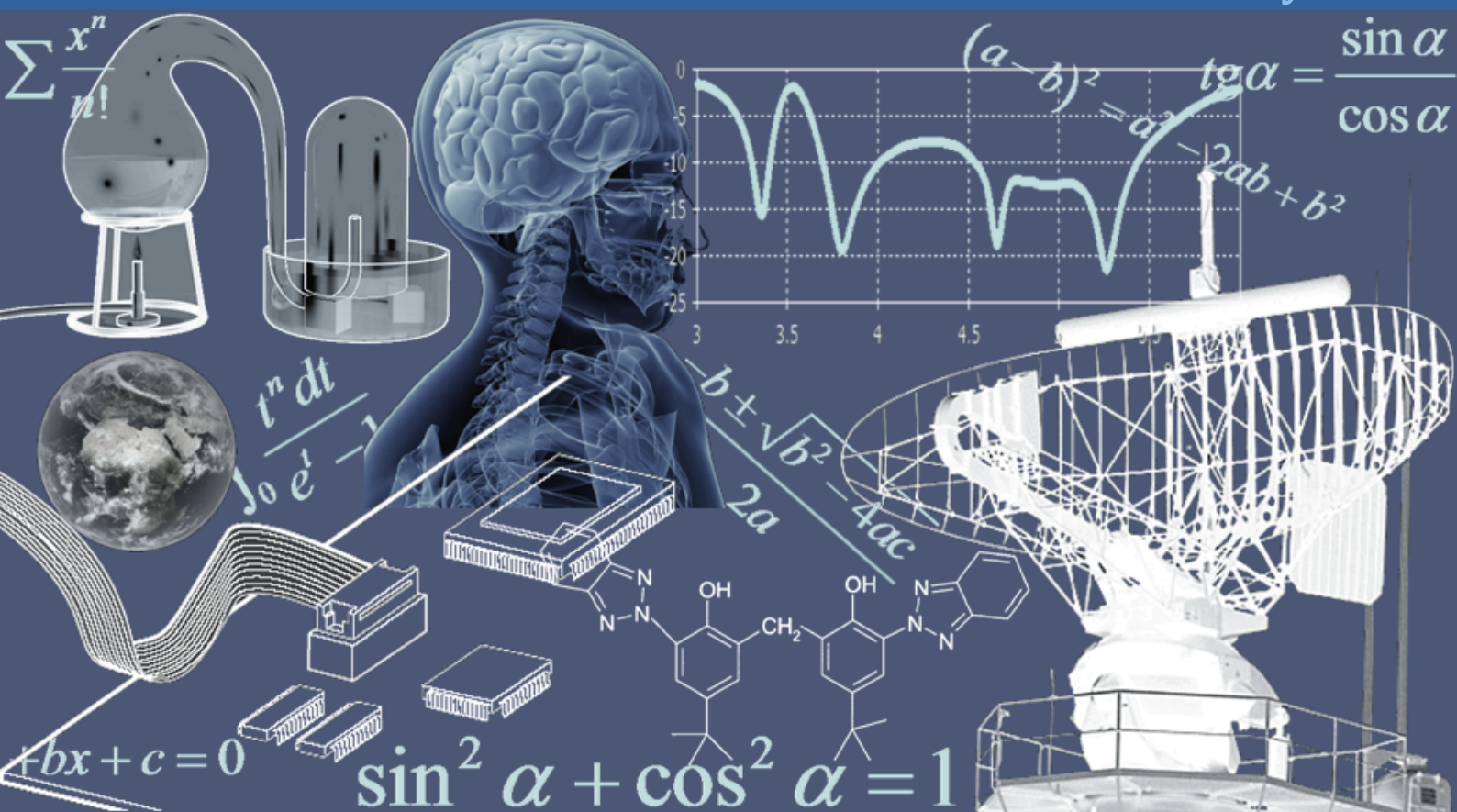


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 44 N. 4 February 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

Parametric study of the behaviour of a pile under axial load using Frank and Zhao's trilinear law and the theoretical formula of the conventional limit pressure p_l	813-826
<i><u>Cheikh Ibrahima Tine, Oustasse Abdoulaye Sall, and Déthié Sarr</u></i>	
Les défis qu'apporte la transformation digitale dans l'industrie minière à Kolwezi en République Démocratique du Congo	827-832
<i><u>Mavungu Mayela Alain, Kasongo Monga Daniel, Patric Makanta Kaela, and Luc LUMANJI MBUNGA</u></i>	
La transformation digitale et les métiers d'informaticien en pleine croissance en République Démocratique du Congo	833-838
<i><u>Mavungu Mayela Alain, Kasongo Monga Daniel, Patric Makanta Kaela, and Luc LUMANJI MBUNGA</u></i>	
Test to evaluate the agrophenological parameters of sesame (<i>Sesamum indicum</i> L.) subjected to treatments of pigeon droppings and cow dung in Bongor, Chad	839-846
<i><u>Alain Ignassou DJINET, François Ganon, and Serena Wanaga</u></i>	
Etat actuel des connaissances sur les vertus et usages de quelques plantes médicinales au Niger: Synthèse bibliographique	847-860
<i><u>Yahaya Saïdou Abdoul Aziz, DOUMA Soumana, Mamadou Aïssa Jazy, Ali Mariame, INOUSSA Maman Maârouhi, and MAHAMANE Ali</u></i>	
Effect of a hydroethanol extract of <i>Malacantha alnifolia</i> (Bak.) Pierre (Sapotaceae) on formaldehyde-induced arthritis in Wistar rats	861-875
<i><u>N'Dia Kouadio Frédéric, Kouame Djè Kouamé Wenceslas, Diby Yao Bernard, Kouakou Kouakou Léandre, and Yapo Anqoué Paul</u></i>	
Évaluation de la phytodiversité des aires protégées du Niger	876-886
<i><u>HAMANI NOMA Abdoul-Latif, INOUSSA Maman Maârouhi, ADAMOU IBRAHIM Maman Laouali, DOUMA Soumana, SEYNI Abdoul Aziz, IBRAHIM SEYDOU Wassila, RAFIOU OUSMANE Abdoulaye, BAKASSO Yacoubou, and MAHAMANE Ali</u></i>	
Effet des fertilisants organiques et inorganiques sur la production de riz (<i>Oryza sativa</i>) pluvial cultivé à Beré au Tchad	887-897
<i><u>Alain Ignassou DJINET, Kilya Souang, and Memti Mberdoun NGUINAMBAYE</u></i>	
La croissance démographique en République Démocratique du Congo face aux enjeux du Développement Durable	898-903
<i><u>Munkuamo Gonzaleze</u></i>	
Structure du tube digestif d'un Channidae africain, <i>Parachanna obscura</i> (Günther, 1861)	904-911
<i><u>Zéré Marius GOGBE, Yao Saki APPIAH, Attoubé Ida MONNEY, and Valentin N'douba</u></i>	
Caractérisation et fertilisation raisonnée des sols avec des variétés de riz cultivées dans les régions de Tillabery et Niamey au Niger	912-930
<i><u>Ibrahim Aichatou, Sido Yacouba Amir, Issa Zakari Mahaman Mourtala, and Dan Lamsou Nomaou</u></i>	
Influence of supplemental irrigation in the production of 3 varieties of tomato at the Goudoumaria experimental station (Diffa-Niger)	931-938
<i><u>Yerima Bako Djibo Aboubacar and Illa Salifou</u></i>	
La place de l'Histoire nationale dans les programmes d'Histoire du cours secondaire général au Bénin: 1987-2016	939-949
<i><u>Arnaud Achille G. Gnidehou</u></i>	
Mise au point et test d'un banc expérimental destiné à l'identification de fluides à transmission spectrale sélective pour l'amélioration du fonctionnement des cellules photovoltaïques	950-959
<i><u>Roméo BAMBARA, Stanislas SANFO, Oumar BAILLOU, Tizane DAHO, and Abdoulaye OUEDRAOGO</u></i>	
Fermented Cassava dough: A Prerequisite for the Technological, Biochemical and Microbiological Properties of Attiéké in Côte d'Ivoire	960-971
<i><u>Weiléko Hélène Dougba, Emmanuel Aya Diane Boudouin DIBI, Djedjro Clément Akmel, Doudjo SORO, and Assidjo Nogbou Emmanuel</u></i>	
Vulnérabilité urbaine sous l'angle de la gestion des ressources hydriques et vivrières: Application des quartiers précaires de la Ville de Lubumbashi, RD Congo	972-982
<i><u>Balloy Mwanza Perry, Katenda Kankokwe Cathy, and Philippe Hanoca</u></i>	

Leadership et bonne gouvernance en République Démocratique du Congo: Analyse de la troisième législature <i>Muadi Katende Brigitte</i>	983-993
Fonctionnement des formations sanitaires privées en ville de Bunia, Province de l'Ituri, République Démocratique du Congo <i>Ngakpa Bini Vianney and Amuda Baba Dieu-Merci</i>	994-999
Obstacles à l'entrepreneuriat chez les jeunes du centre commercial de Kasenyi, Province de l'Ituri, République Démocratique du Congo <i>Kabona Basara Joseph and Amuda Baba Dieu-Merci</i>	1000-1006
Perception des patients sur la gestion informatisée des structures sanitaires confessionnelles en Ville de Bunia, Province de l'Ituri, République Démocratique du Congo <i>Taingi Niclette Syntiche and Amuda Baba Dieu-Merci</i>	1007-1015
Prévalence et facteurs associés aux fentes labio-palatines dans les formations sanitaires de référence de la Ville de Bunia, Province de l'Ituri, République Démocratique du Congo <i>Katanabo Kukwabo Philippe, Amuda Baba Dieu-Merci, and Kamba Avetso Picard</i>	1016-1021
Hybrid 1DCNN+BiLSTM Architecture for Network Intrusion Detection Systems <i>Kamagaté Beman Hamidja, Kanga Koffi, Coulibaly Kpinnan Tiekoura, and Konaté Adama</i>	1022-1029
Premier inventaire des macroinvertébrés du fleuve Niger à Faranah en Guinée <i>Aissatou Lamarana Bah, Idrissa Kabore, Lanciné Sangare, and Abdoulaye Barry</i>	1030-1040
Characterization of materials in the formulation of high-performance concrete: Case of Chad <i>Ignabaye Pontchombé Adolphe, Bianzeubé Tikri, Alexis Mouangué Nanimina, and Djonglibet Wel-Doret</i>	1041-1049
Artificial intelligence governance model in personalized e-Learning <i>Petey Kraghi Olivier, Kone Tiémoman, and N'Guessan Behou Gérard</i>	1050-1065
Évaluation de la qualité nutritionnelle des herbacées fourragères dans les sites sylvo-pastoraux aménagés dans le Département de Ouallam (Ouest Niger) <i>Ousseini Moussa Abdou, Oumarou Issoufou Nana Aichatou, Alio Dan Ladi Yahaya, Ousseini Mahaman Malam Mouctari, Idrissa Soumana, and Iro Dan Guimbo</i>	1066-1075
Gestion de la chenille légionnaire d'automne Spodoptera frugiperda (Lepidoptera, Noctuidae) en Afrique, cas de l'Afrique de l'Ouest: Une revue systématique des méthodes de lutte utilisées, défis et perspectives <i>Flavie W. TAPSOBA, Issoufou OUEDRAOGO, Omer Sacamba Aimé HEMA, and Antoine SANON</i>	1076-1090
Spatiotemporal Modelling of Soil Erosion in the Sassandra Watershed (Côte d'Ivoire, Western Africa) <i>Kouadio Euclide N'Goran, Naga Coulibaly, Lenikpoho Karim Coulibaly, Coulibaly Talnan Jean Honoré, Inza Coulibaly, Dramane Yao, Adjoua Régine Koffi, Matogoma Cissé, Cédric Inago, Koffi Claude Alain Kouadio, Houebaonon Saint Jean Patrick Coulibaly, Souleymane Cissé, Kambiré Sié, Sylla Gaoussou, and Savané Issiaka</i>	1091-1103
Statut nutritionnel des enfants de 6-59 mois dans les sites des déplacés internes au Nord-Kivu à l'Est de la République Démocratique du Congo <i>Jean Marie Muhindo Kamukehere and Pascal Nyandwi</i>	1104-1110
La digitalisation dans l'agriculture marocaine: Un levier pour allier performance économique et durabilité environnementale <i>Fettouma MAA</i>	1111-1119

Parametric study of the behaviour of a pile under axial load using Frank and Zhao's trilinear law and the theoretical formula of the conventional limit pressure p_l

Cheikh Ibrahima Tine¹, Oustasse Abdoulaye Sall¹, and Déthié Sarr²

¹Department of Civil Engineering, UFR SI, Université Iba Der THIAM, Thiès, Senegal

²Geotechnics Department, UFR SI, Université Iba Der THIAM, Thiès, Senegal

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

ABSTRACT: This article deals with the determination of axial deformations and forces along a pile under axial loading, taking into account the interaction between the pile and the surrounding soil, and more specifically with the parametric study of the behavior of an axially loaded pile using Frank and Zhao's model and the analytical expression of the conventional limit pressure p_l . Frank and Zhao's (1982) trilinear method of load transfer curves, used in this study, offers an analytical approach for calculating axial strains and forces along the pile. This method, suggested by the French national standard for the application of Eurocode 7 (NF P 94-262) in the calculation of pile settlements, is based on the progressive mobilization of lateral friction and tip pressure, modeled by t - z (lateral friction) and q - z (tip pressure) curves, and enables soil-pile interactions to be simulated. The type of soil chosen for this study is clay (coherent soil), which provides better mobilization of lateral friction around the pile. It emerged from this study that the parameters with the greatest influence on pile behavior are the value of the applied axial load N_0 , the ratio (D/L) and the pressure modulus E_M , in other words, the modulus of deformation E of the soil. In addition to these three essential parameters, we can add the influence of the Young's modulus E_p of the pile on its behavior. The choice of its value is important, as the compressibility of the pile material is a factor in the calculation of settlement. The results also show that the mechanical characteristics c_u , K_0 , γ , α and ν have very little influence on settlement, axial force and deformation curves. All these results confirm the empirical relationships often used to calculate pile settlement, which are based directly on the value of the diameter D or on both the diameter D , the applied load N_0 , the Young's modulus of the pile E_p and its length L .

KEYWORDS: Axial load, Pile settlement, Soil-pile interaction, Load transfer curve method, Parametric study, Pile behavior, Frank and Zhao law.

1 INTRODUCTION

In the study of soil-pile interaction, it is important to be able to appreciate the influence of the various mechanical and geometric parameters of the pile and soil on the behavior of the foundation, specifically on the evolution of axial forces and deformations along the pile. For this purpose, a parametric study will be carried out based on the Frank and Zhao behavior model. This choice is based on the following aspects:

- This model has proven its effectiveness and accuracy in calculating settlements, and is recommended by some current standards, such as the French application of Eurocode 7.
- The model is based on the pressuremeter test, and a study of the mechanical characterization of soils by this test has been carried out by some authors ([1], [2], etc.) and allows us to make a detailed mechanical parametric study of the behavior of a pile under axial load in a coherent or rubbing soil.

Since Frank and Zhao's model is based on the results of pressuremeter tests, the expression of the parameters (p_l and E_M) as a function of the mechanical characteristics of the soil. The parameters studied here that affect the behavior of piles under axial loading in clay are: diameter D , pile length L , soil pressure modulus E_M , limit pressure p_l , Young's modulus of the pile E_p ,

undrained cohesion c_u , resting earth thrust coefficient K_0 , soil specific gravity γ , rheological coefficient α and Poisson's ratio ν . In what follows, by means of an analytical calculation, we will study the variations in normal force, deformation and settlement along depth as a function of the various mechanical and geometric parameters of the materials involved. To this end, using the load transfer curve model of [3], we will establish the expressions for settlement $s(z)$ normal force $N(z)$ and relative axial deformation $\varepsilon(z)$ as a function of depth z . This is followed by a parametric analysis of the influence of the mechanical and geometric characteristics of the pile (E_p, L, D) and the soil ($c_u, K_0, \gamma, \alpha, \nu$ and E_M) on the evolution of settlement, normal force and deformation.

2 FRANK AND ZHAO'S LOAD TRANSFER CURVE MODEL (1982)

The transfer curve method is used to calculate the vertical displacement of a pile subjected to axial loading. It is based on the progressive mobilization of the axial friction on the pile shaft τ or the stress under the pile base q_p with the relative soil-pile displacement s (Figure 1.a). According to this method, the soil/deep foundation interaction results in the assimilation of the soil around the foundation to a series of non-linear springs, behaving independently of each other.

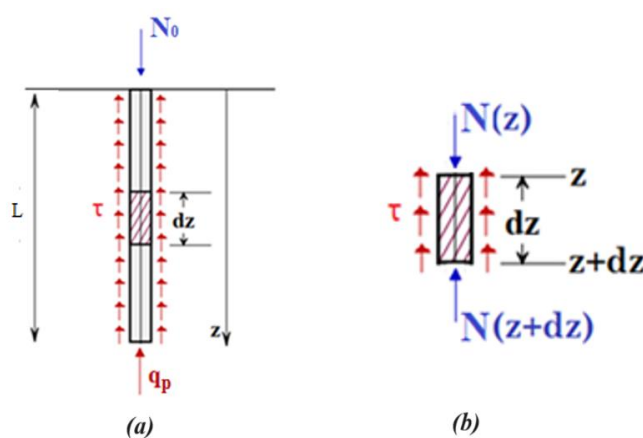


Fig. 1. (a) Pile under axial loading N_0 - (b) Pile section under normal stress N

The (t - z) curve method is based on solving the differential equation of a pile in compression, obtained by assuming the equilibrium of an infinitesimal section of a pile of length dz (Figure 1.b):

$$E_p A_p \frac{d^2 s}{dz^2} - P \cdot \tau(s) = 0 \quad [1]$$

Frank and Zhao's (1982) model for axial friction mobilization $\tau(s_z)$ and peak stress $q_p(s_p)$ is trilinear (Figure 2) and is based on pressuremeter results. The initial slopes k_τ and k_q are given respectively for fine (clays and silts) and granular soils by the following relationships:

For fine soil:

$$k_\tau = \frac{2E_M}{D}; k_q = \frac{11E_M}{D} \quad [2]$$

For granular soil:

$$k_\tau = \frac{0,8E_M}{D}; k_q = \frac{4,8E_M}{D} \quad [3]$$

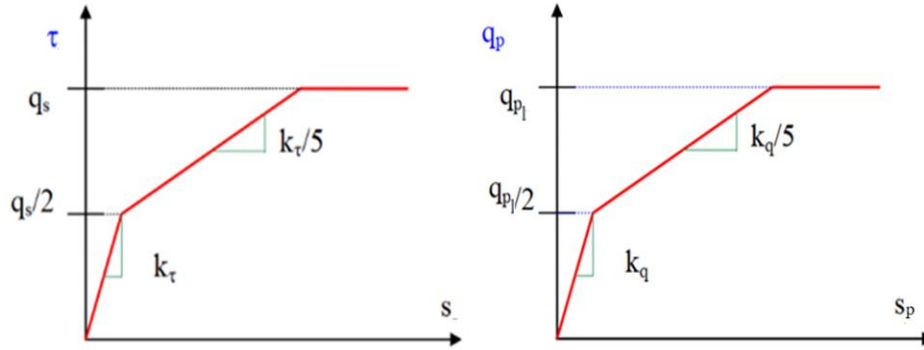


Fig. 2. Law of mobilization for lateral friction and unit peak force (Frank and Zhao 1982)

If the function $\tau(s)$ is linearized as $\tau = A_0 + B_0s$, we can deduce the expression for unit friction τ on each phase. The differential equation governing pile deformation can then be solved according to this model. [2] give expressions for settlement $s(z)$ and normal force $N(z)$ as a function of depth z . By analyzing an infinitesimal section of pile of length dz , we derive the expressions for relative axial deformation $\varepsilon(z)$ and pile head settlement s_0 .

$$\varepsilon(z) = \frac{N(z)}{E_P A_P} = -\frac{ds(z)}{dz} \quad [4]$$

- For $\tau \leq \frac{q_s}{2}$, $A_0 = 0$, $B_0 = k_\tau$ and $\frac{q_s}{2} \leq \tau \leq q_s$, $A_0 = \frac{2q_s}{5}$, $B_0 = \frac{k_\tau}{5}$ with $\mu^2 = \frac{\pi D B_0}{E_P A_P}$

$$\begin{cases} s(z) = \cosh(\mu z) s_0 - \frac{\sinh(\mu z)}{\mu E_P A_P} N_0 + \frac{A_0}{B_0} (\cosh(\mu z) - 1) \\ N(z) = -E_P A_P \mu \sinh(\mu z) s_0 + \cosh(\mu z) N_0 - \frac{E_P A_P A_0 \mu}{B_0} \sinh(\mu z) \\ \varepsilon(z) = -\mu \sinh(\mu z) s_0 + \frac{\cosh(\mu z)}{E_P A_P} N_0 - \frac{A_0 \mu}{B_0} \sinh(\mu z) \end{cases} \quad [5]$$

From equation 4 and taking into account the expression for mobilization of the peak force ($q_p = k_q s_p$), we find the expression for pile-head settlement s_0 . We can write:

$$\frac{ds(z=L)}{dz} = -\frac{N(z=L)}{E_P A_P} = -\frac{N_p}{E_P A_P} = -\frac{q_p}{E_P} = -\frac{k_q s(z=L)}{E_P} \quad [6]$$

$$\Rightarrow \frac{ds(L)}{dz} = -\frac{k_q}{E_P} s(L) \quad [7]$$

It is easy to see that the settlement at the head of the pile is given by:

$$s_0 = \frac{4N_0}{\pi D} \frac{1 + \frac{k_q \tanh(\mu L)}{\mu E_P}}{D(k_q + \mu E_P \tanh(\mu L))} + \frac{A_0}{B_0} \left(\frac{k_q}{k_q \cosh(\mu z) - \mu E_P \sinh(\mu z)} - 1 \right) \quad [8]$$

- For $\tau = q_s$, $A_0 = q_s$, $B_0 = 0$

The expressions of $s(z)$, $N(z)$ and $\varepsilon(z)$ become:

$$\begin{cases} s(z) = s_0 - \frac{z}{E_P A_P} N_0 + \frac{\pi D q_s z^2}{E_P A_P 2} \\ N(z) = N_0 - \pi D q_s z \\ \varepsilon(z) = \frac{N_0}{E_P A_P} - \frac{\pi D q_s}{E_P A_P} z \end{cases} \quad [9]$$

From equation 4, we find the expression for head settlement s_0 .

$$s_0 = \frac{N_0 L}{E_P A_P} + \frac{4N_0}{\pi D^2 k_q} - 4q_s L \left[\frac{L}{2E_P D} + \frac{1}{Dk_q} \right] \quad [10]$$

Using Frank and Zhao’s model, we show that the evolution of settlement along the pile $s(z)$ depends on the value of the axial limit friction $q_s(z)$. This limiting axial friction can be expressed using Ménard’s conventional limiting pressure expression $p_l(z)$.

3 PARAMETRIC STUDY

Since Frank and Zhao’s model is based on the results of pressuremeter tests, the expression of the parameters (p_l and E_M) as a function of the mechanical characteristics of the soil.

3.1 INFLUENCE OF SOIL MECHANICAL CHARACTERISTICS ON LIMIT PRESSURE

The theoretical formula for p_l governed by equation 11 given by [1], is used to study the influence of soil mechanical parameters. It should be noted that in this theoretical formula, Ménard identifies the elastic modulus of the soil E with the ratio $\frac{E_M}{\alpha}$. For coherent soils, the theoretical expression for conventional limit pressure becomes:

$$p_l = \gamma z + c_u \cdot \ln \left[\frac{\frac{E_M}{\alpha(1+\nu)}(\sqrt{2}-1) + c_u}{(1+K_0)\gamma z + c_u} \right] \quad [11]$$

In what follows, we present a complete parametric study with the aim of highlighting the influence of the different variables ($c_u, K_0, \gamma, \alpha, E_M, \nu$) on the limiting pressure p_l . The values of these parameters are selected from the literature on clayey soils. Each parameter is studied independently in relation to the whole set of parameters to verify its predicted and calculated influence on the limit pressure. The results of the parametric analysis are shown in Figures 3 to 8.

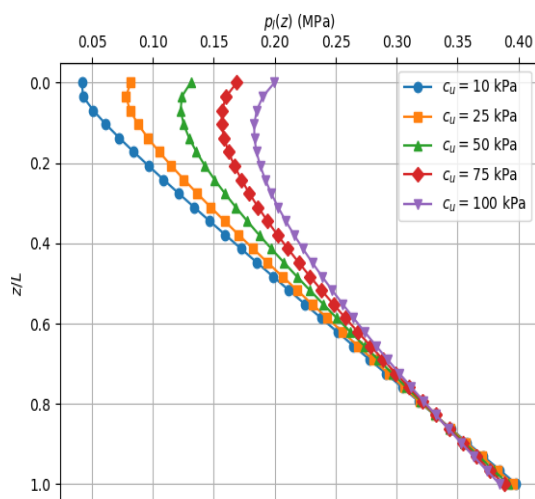


Fig. 3. Evolution of limit pressure at depth for different values of undrained cohesion

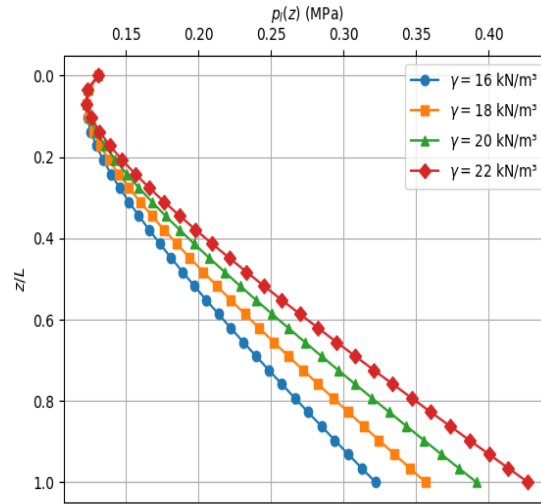


Fig. 4. Evolution of limiting pressure at depth for different density values

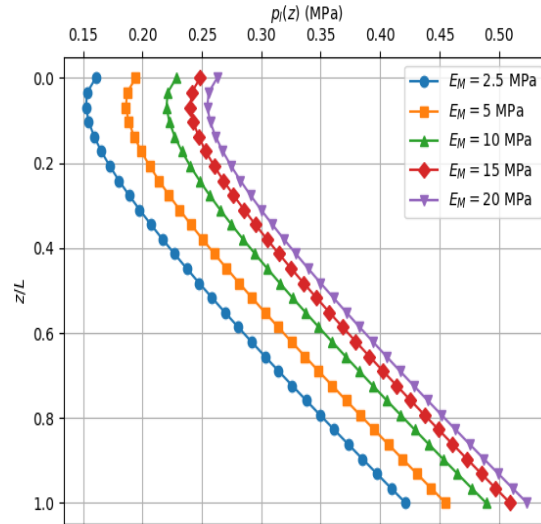


Fig. 5. Depth trends in limiting pressure for different values of pressuremeter modulus

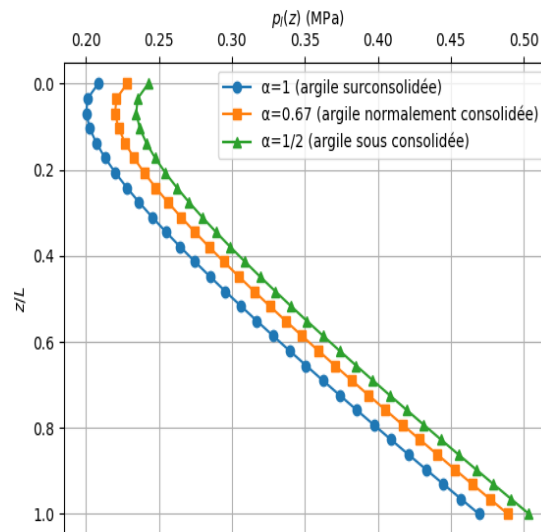


Fig. 6. Depth evolution of limiting pressure for different rheological coefficient values

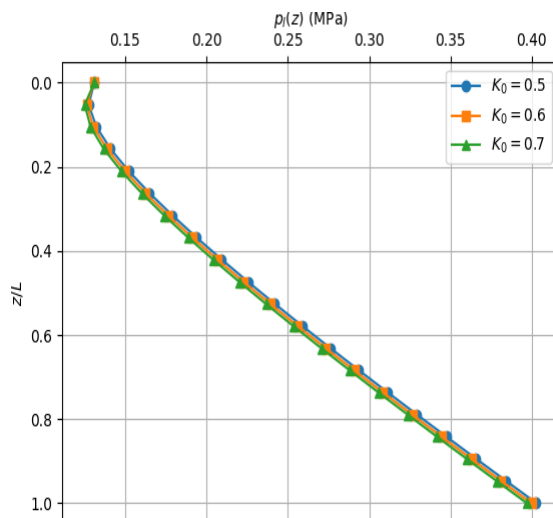


Fig. 7. Evolution of limiting pressure for different values of earth pressure coefficient at rest

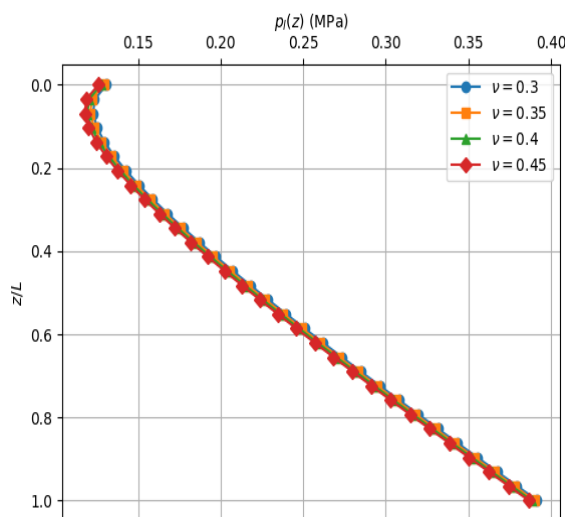


Fig. 8. Evolution of limiting pressure at depth for different values of Poisson's ratio

Undrained cohesion acts as a deformation resistance parameter for clay soil, so as it increases, so does conventional limit pressure. Conventional limit pressure is a function of undrained cohesion as presented in the theoretical formula. We also note that as depth increases, the significant effect of undrained cohesion on limiting pressure decreases. Boundary pressure therefore becomes more influenced by vertical stress (γz). Thus, at greater depths, limiting pressure values for different values of c_u values approach each other (Figure 3). For coherent soil, conventional limit pressure is a function of vertical stress (γz), and as the weight per unit volume increases with depth, this leads to an increase in conventional limit pressure. This variation, described by equation 11, is clearly visible in Figure 4.

A variation is applied to the pressure modulus E_M to evolve the Young's modulus of deformation E . The conventional limit pressure represents the pressure associated with a probe volume that doubles the initial volume. If the soil is stiffer, deformation should be less for a given pressure, requiring a high value of pressure to reach twice the initial volume. In soft soil, on the other hand, deformation should be greater for a given pressure, requiring a low value of pressure to reach double the initial volume. This trend is anticipated by the analysis, as illustrated in Figure 5, where the pressuremeter modulus exerts an increasing influence on the conventional limit pressure. As the pressuremeter modulus increases, so does the conventional limiting pressure.

The rheological coefficient α is correlated with the Ménard pressuremeter test. The pressuremeter test is a short duration test, therefore identifying behavior tending to be undrained. The α coefficient is an adjustment variable that allows the effects

of consolidation to be introduced into the use of the pressuremeter modulus and the soil deformation modulus to be evaluated. An analysis of Figure 6 shows that the limiting pressure is greater for underconsolidated soil ($\alpha = 1/2$) than for overconsolidated soil ($\alpha = 1$) or normally consolidated soil ($\alpha = 2/3$). This can be explained by the fact in the formula of p_l that α divides E_M and we have already seen the increasing influence of the pressuremeter modulus E_M on the limit pressure. p_l .

An increase in the resting earth thrust coefficient K_0 should increase the resting horizontal pressure and thus raise the conventional limit pressure. It can be seen that this coefficient exerts a moderate influence on the conventional limit pressure (Figure 7).

Figure 8 shows that the influence of Poisson's ratio ν coefficient on the conventional limit pressure. All in all, we can see that these various parameters act and must act in the formulation of the evolution of settlement, normal force and axial force deformation as a function of depth.

3.2 INFLUENCE OF PILE AND SOIL CHARACTERISTICS ON THE EVOLUTION OF SETTLEMENT, NORMAL FORCE AND DEFORMATION WITH DEPTH

Table 1 below summarizes the data used in the pile behavior study. These data are the mechanical and geometric characteristics of the pile and of a layer of clay soil used in the formulation of the normal force $N(z)$ settlement $s(z)$ and deformation $\varepsilon(z)$ with depth z .

Table 1. Average values of the pile and soil characteristics considered

D (m)	L (m)	c_u (kPa)	γ (kN/m) ³	α	K_0	ν	f_{ck} (MPa)	E_p (GPa)	E_M (MPa)
0,8	20	10	16	2/3	0,5	0,3	25	10,49	2,5

These data are representative of a soft clay layer of low consistency. The creep load calculated in accordance with standard NF P 94 - 262 (Deep foundations) is $R_{c;cr;d} = 0.6$ MPa, it must be ensured in this study that the axial compressive load to be applied N_0 to be applied does not exceed $0,7R_{c;cr;d}$. Based on equations 5, 8, 9 and 10, the influence of the various parameters ($D, L, c_u, \gamma, E_M, \alpha, K_0, \nu, E_p$) on the normal force $N(z)$ settlement $s(z)$ and deformation $\varepsilon(z)$ as a function of depth z . The results obtained are shown in Figures 9 to 17.

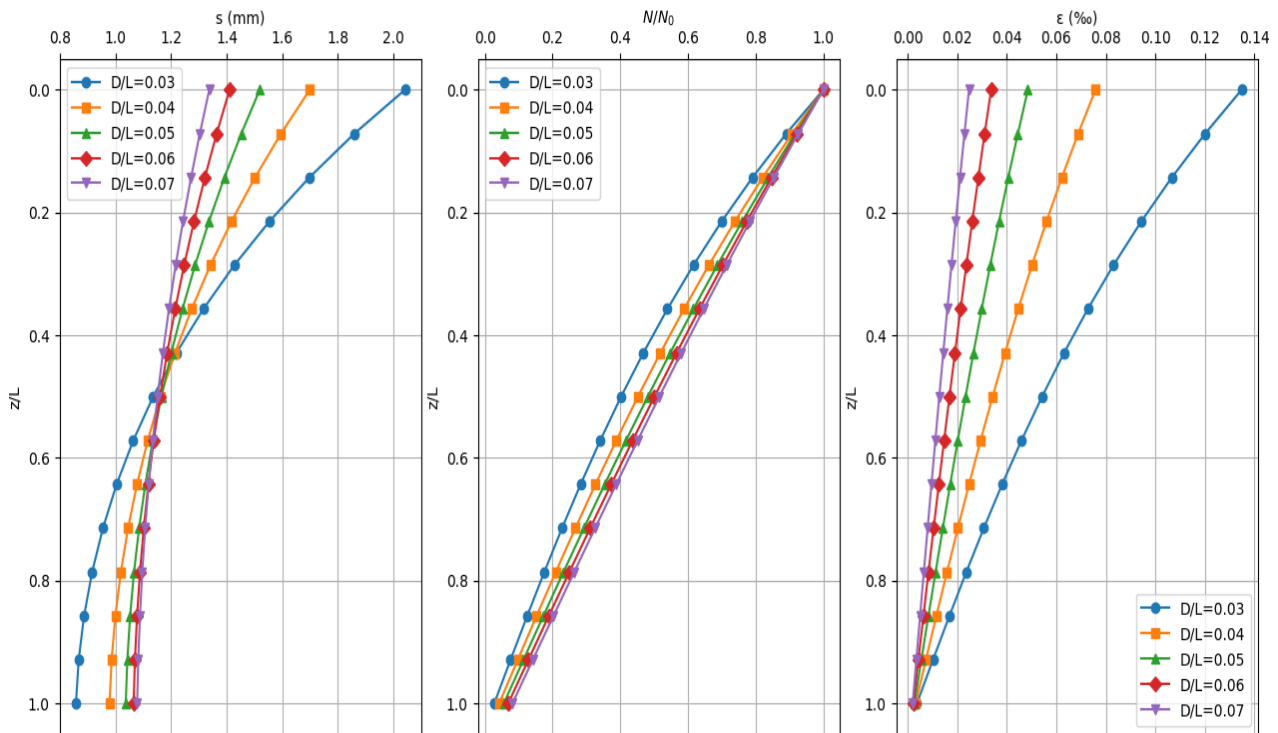


Fig. 9. Influence of D/L ratio on pile behavior under axial load

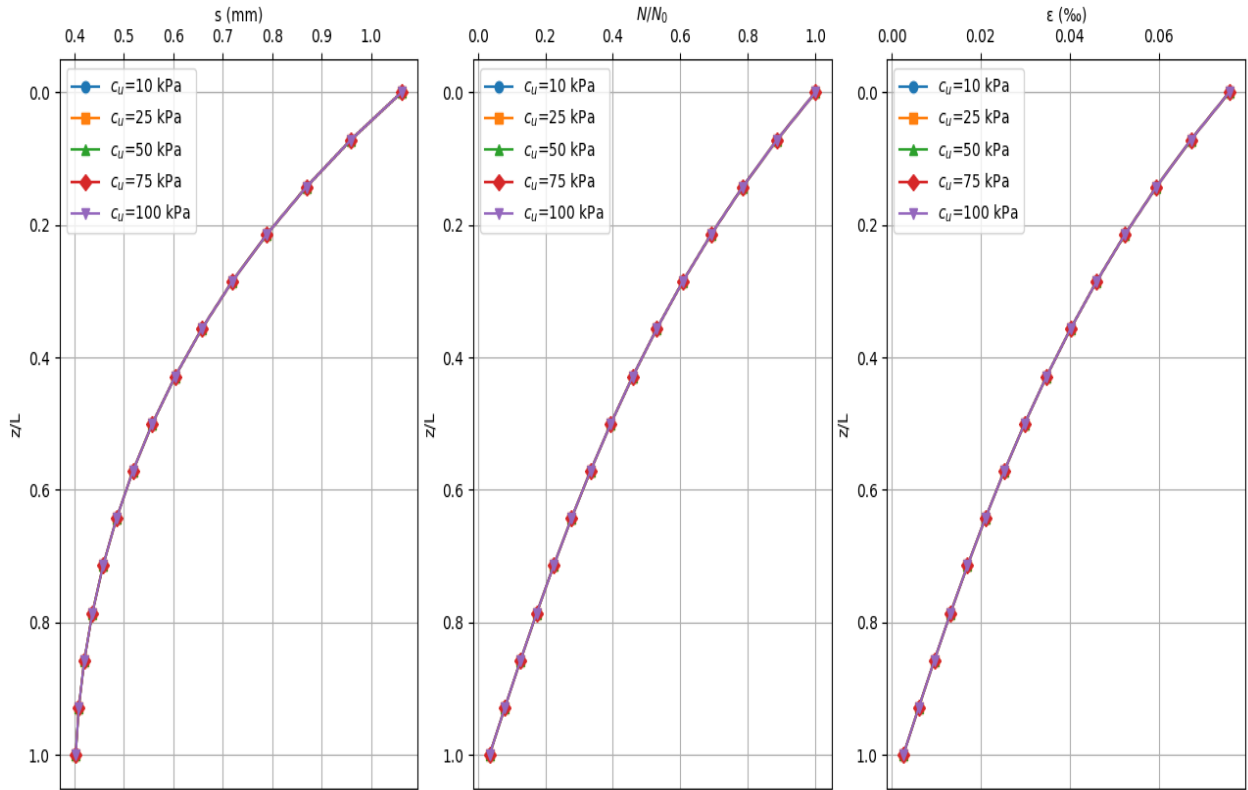


Fig. 10. Influence of undrained cohesion on pile behaviour under axial loading

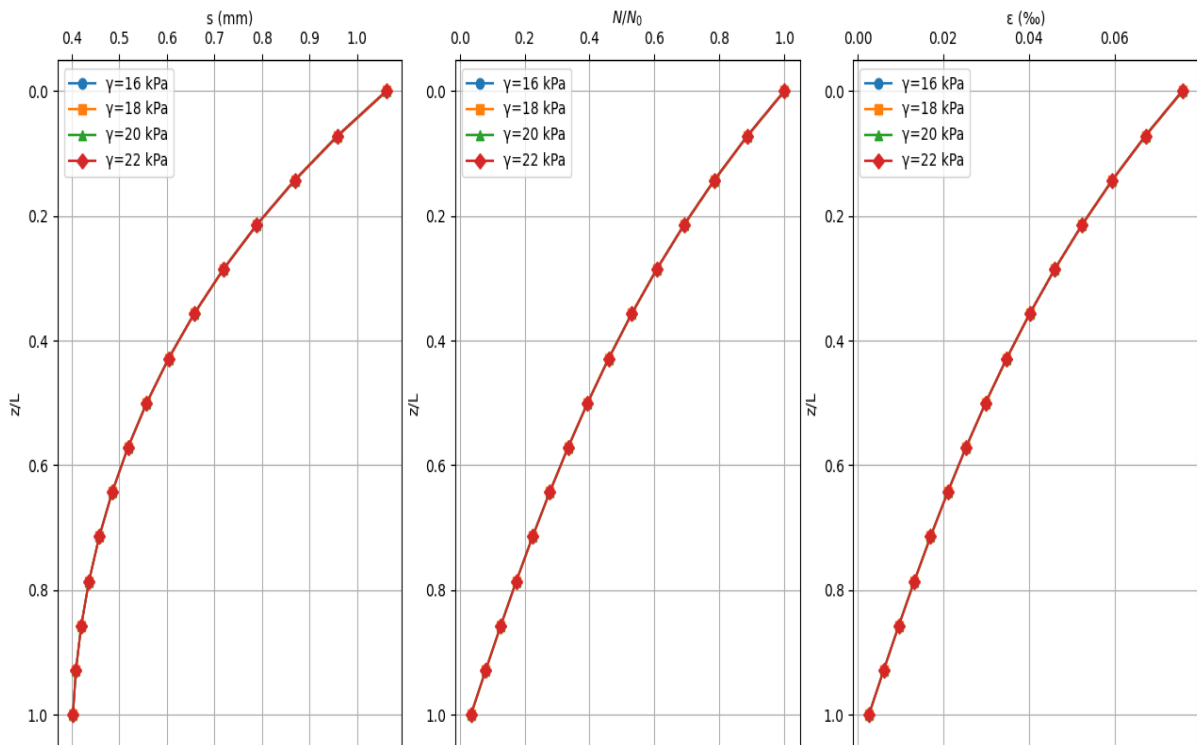


Fig. 11. Influence of volume weight on pile behavior under axial loading

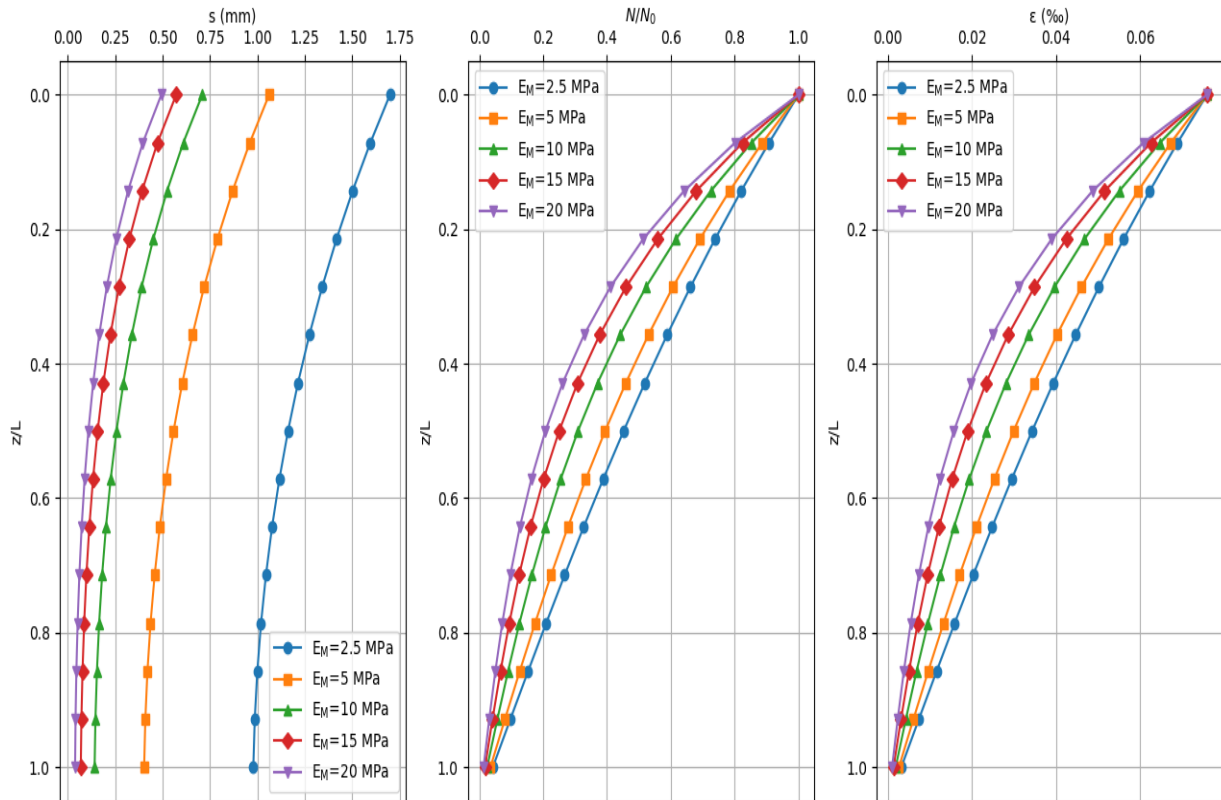


Fig. 12. Influence of pressure modulus on pile behavior under axial load

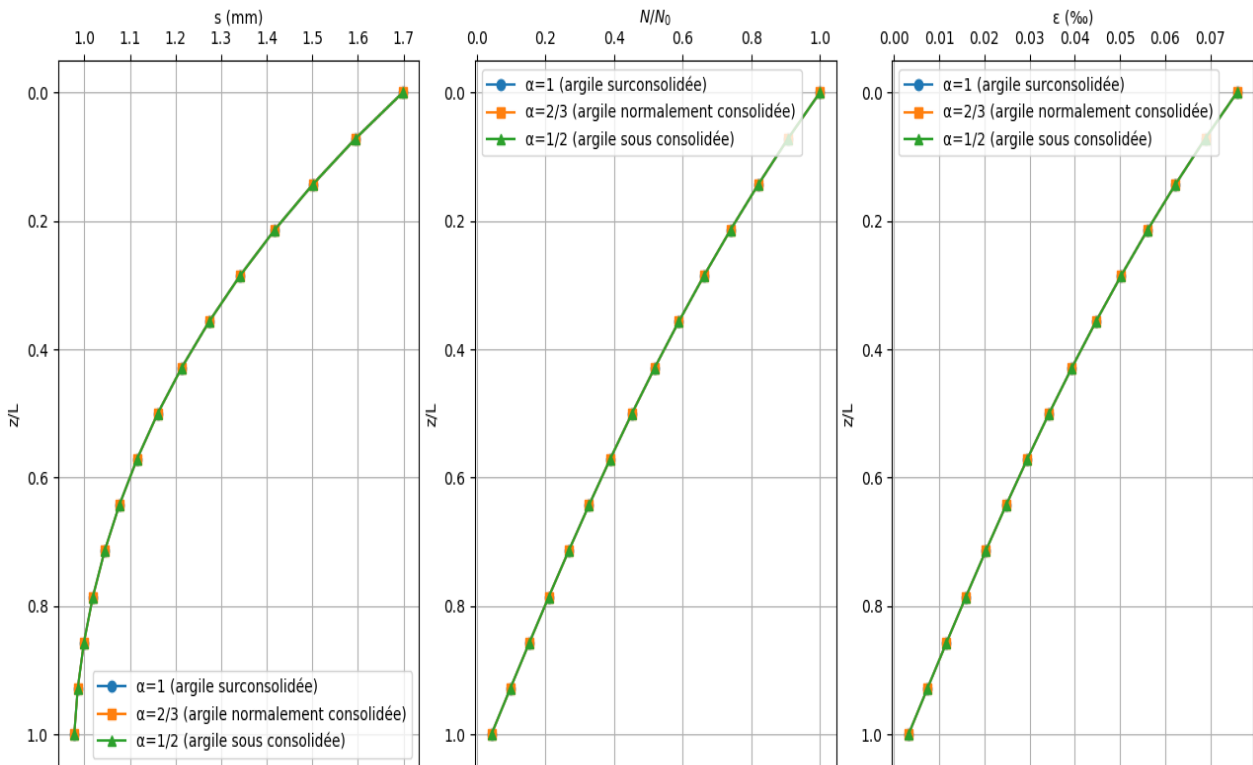


Fig. 13. Influence of rheological coefficient on pile behaviour under axial load

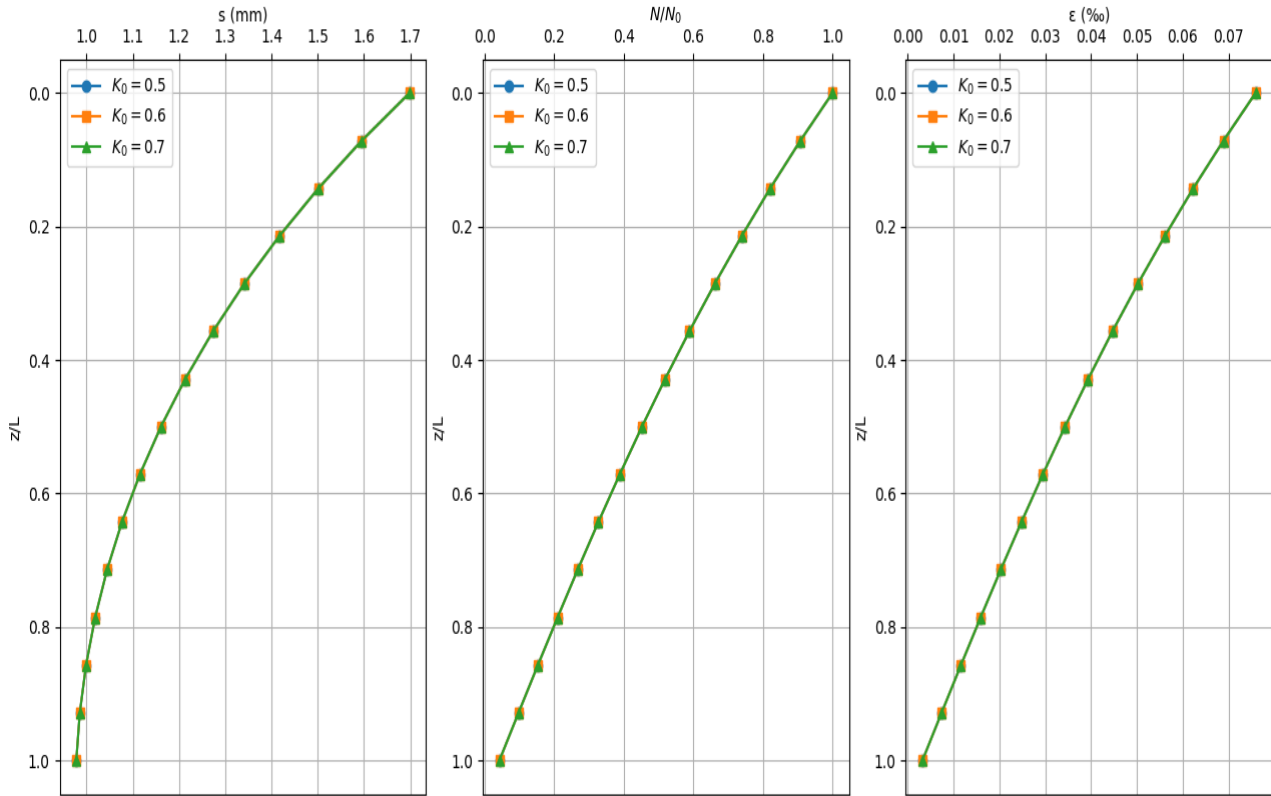


Fig. 14. Influence of the earth pressure coefficient at rest on pile behavior under axial loading

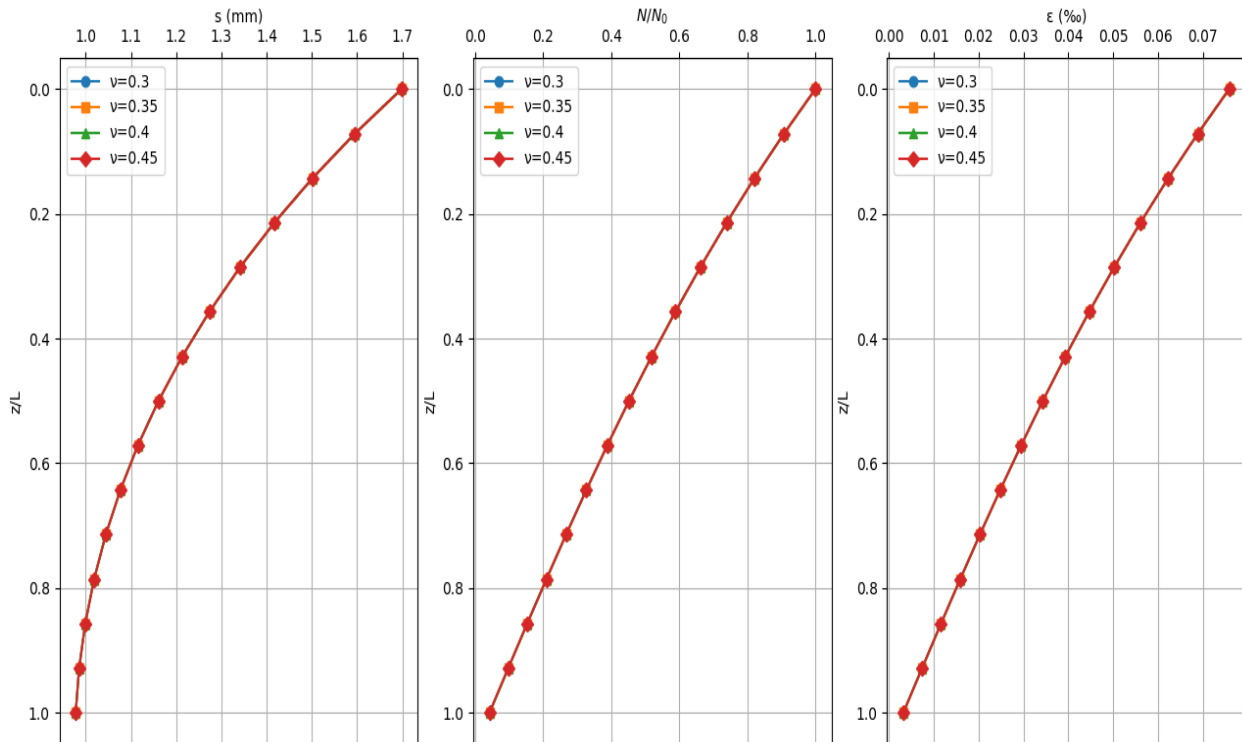


Fig. 15. Influence of Poisson's ratio on pile behavior under axial loading

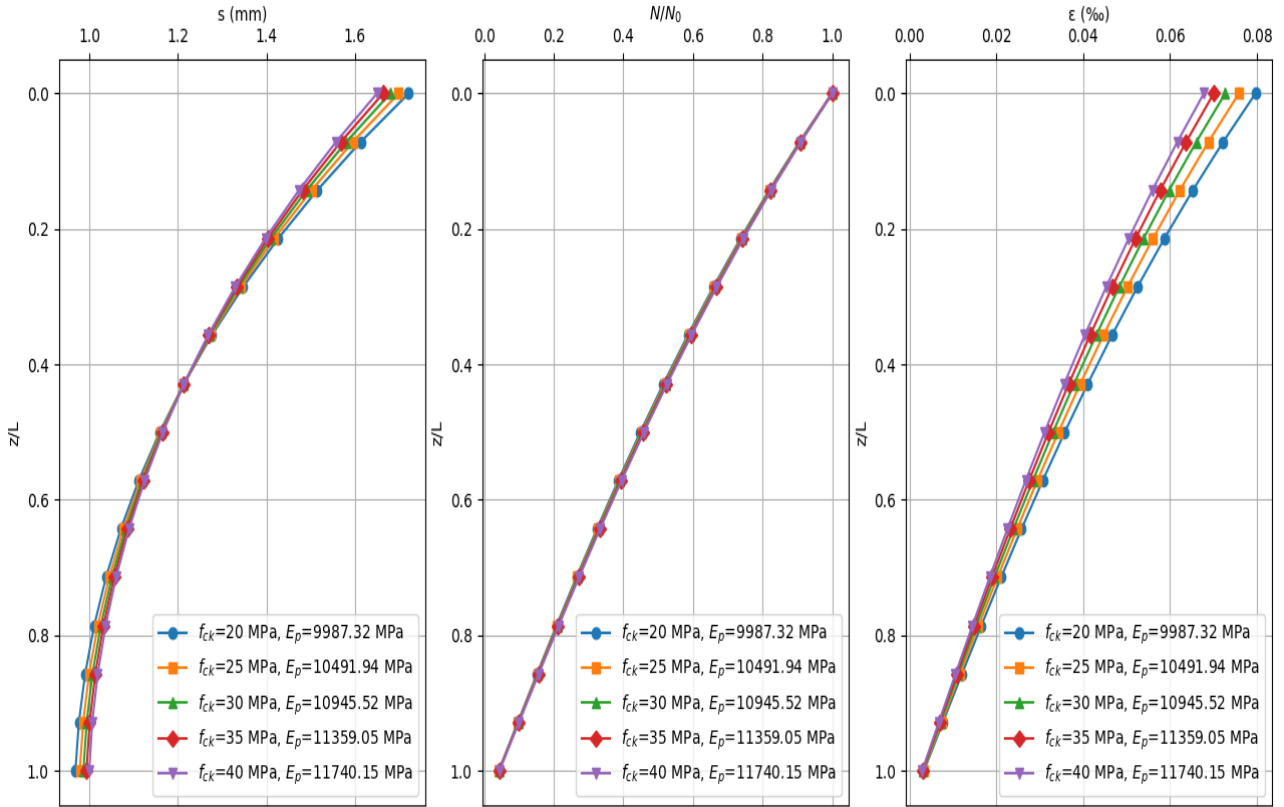


Fig. 16. Influence of Young's modulus on pile behavior under axial load

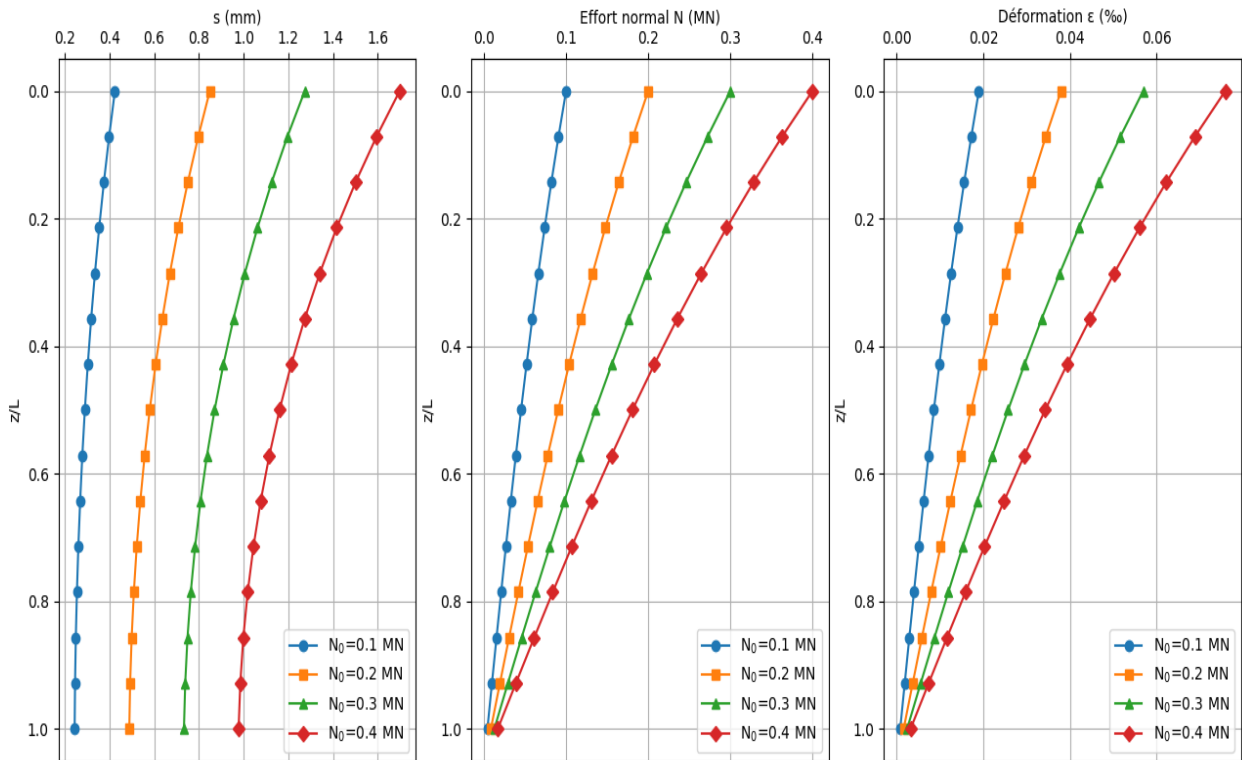


Fig. 17. Influence of pile head load on pile behavior under axial load

From the expressions obtained for pile head settlement (equations 8 and 10), we can see that pile diameter, as it increases, has a reducing influence on settlement. This can be seen in the first graph in Figure 9, where we obtain lower settlement values at the foot of the pile, which is quite logical, since it can be assumed that the deeper you go, the denser the soil mass becomes, so settlement decreases. The results also show that in the upper half-layer of the soil mass, settlement increases as the diameter decreases, while the opposite effect is observed in the inner half-layer. Figure 9 shows the existence of a neutral point insensitive to variations in the D/L ratio.

The results show that for a given pile, the smaller the diameter, the higher the settlement at the head of the pile, but the lower the settlement at the tip, compared with other diameter values. This can be explained on the one hand by the fact that, in this study, we take into account the deformability or compressibility of the pile; and on the other hand by the fact that, under compression, the shortening of the pile tends to reduce the value of the settlement as it advances in depth. Large-diameter piles, with lower deformability, therefore experience a much smaller variation in settlement with depth.

On the other hand, this finding can be explained by the fact that lateral friction around the pile, when mobilized, increases for a larger diameter, and the greater the friction, the smaller the reduction in settlement at depth. As can be seen from the graph, the decrease in settlement is much less noticeable at greater D/L ratios. Settlement between pile head and tip shows a decreasing hyperbolic trend, with a greater slope at the tangent of the curve at smaller diameters.

It can be seen that all these curves meet at a point where, for any value of D/L , settlement is the same at that depth; this position is $z = L/2$, the mid-span of the pile. To sum up, these results confirm that wider foundation elements tend to settle less than narrower ones, and maximum settlement is always at the head of the pile.

On the second graph, we can see a decrease in the normal force N_0 applied at the head as we descend in depth, with a hyperbolic shape. The larger the diameter, the more visible the decrease in normal force. This distinction between the curves shows that diameter has an influence on the evolution of normal force along the length of the pile. This can be explained by the fact that a larger diameter mobilizes more lateral friction, which progressively reduces the axial force transmitted.

A pile with a smaller diameter will experience a more noticeable reduction in normal force at depth. According to Hooke's law, a larger pile cross-section results in lower deformation for an applied force N_0 . This can be seen in the third graph for pile head deformation values. The evolution of deformation at depth is influenced by both the value of the force $N(z)$ at depth z and the value of the diameter considered. It can be seen in this evolution that the effect of the diameter is predominant over that of the value of $N(z)$; therefore, at any position z , the deformation ε is always lower for a larger diameter. The further you advance towards the tip, the closer the deformation values become. ε is always slightly greater for a smaller D/L slenderness.

The first graph in Figure 10 shows that, for a given cohesion value, settlement becomes less significant with depth, decreasing hyperbolically towards the minimum value obtained at the tip. This behavior indicates that settlement is proportional to depth, whatever the cohesion value. However, there is no significant change in slope between the different curves, suggesting that the influence of c_u on settlement is very small (almost nil).

The results also show that cohesion has little influence on normal stress. The normal compressive stress of the pile naturally decreases with depth under the effect of lateral friction along the pile. Even though in paragraph III.1, we noted that cohesion influences the value of the limit pressure p_l and therefore the lateral friction around the pile. However, in this case, settlement and normal force values are not affected by lateral friction, hence the zero influence of undrained cohesion on their evolution. This can be understood from the equations, which show that lateral friction comes into play just when the second step of the trilinear law is reached.

For a pile with compressive stiffness $E_p A_p$ constant, the normal force N and relative deformation ε do not differ according to Hooke's law.

The same analysis carried out on undrained cohesion can be attributed to density (Figure 11). These parameters, which play a part in the formulation of lateral friction around the pile, do not affect the pile's settlement and axial force. This is due to the low influence of these soil mechanical parameters on pile behavior, which becomes zero when the head load is low (when settlement $s(z)$ is lower $\frac{q_s D}{4E_M}$ according to Frank and Zhao).

Figure 12 shows the curves for settlement, normal stress and deformation as a function of depth for different values of pressure modulus.

Analysis of the graphs shown in Figure 12 reveals a linear decrease in settlement with depth, with maximum settlement at the pile head, decreasing hyperbolically until it reaches its peak value. Taking into account the different values of pressure modulus used, we can see that the curves are distinct, with the settlement values at the head, at the foot and at any relative

depth z/L differing for each value of pressure modulus E_M . A lower value of pressure modulus of the soil gives a greater settlement. This first graph shows that the soil pressure modulus is a highly significant parameter in the calculation of pile settlement; the higher its value, the lower the pile settlement.

At a given depth z , the axial force and deformation values for a given pressure modulus E_M are significantly higher than the force and settlement values obtained for a higher pressure modulus. This shows that the pressure modulus has an influence on the limit pressure and lateral friction around the pile, thus varying the normal force N and deformation ε . So, the higher the soil's pressure modulus, the greater the decrease in normal stress and deformation with depth z .

The rheological coefficient α (Figure 13) of the soil was taken into account to reflect the state of consolidation of the clay studied, and to see how this parameter influences pile stresses, settlement and deformation. Research has shown that the use of this coefficient has an impact on the evaluation of soil deformation. [4] took this coefficient into account in their empirical formula for calculating the settlement of an insulated footing. The influence of the rheological coefficient is almost negligible in the case of deep foundations.

In the case of the influence of the resting soil buoyancy coefficient K_0 , settlement always varies from a maximum value at the head of the pile to its minimum value at the tip in a hyperbolic pattern. As in the case of undrained cohesion c_u and soil density γ the value of the resting soil buoyancy coefficient K_0 may well influence the evolution curves of normal force, settlement and deformation, but only in the case where lateral friction q_s is engaged, taking into account the net limit pressure p_l^* (Figure 14) These three parameters are in fact the only ones used in Ménard's correlative limit pressure formula, the formula most often used in pile design based on the pressuremeter method. Related to both weight by volume and depth, the effect of this coefficient is more noticeable at greater depths. The resting earth thrust coefficient K_0 is a reducing factor for net limit soil pressure $p_l^*(z)$ and lateral friction q_s , due to the horizontal constraint p_0 . A higher value of K_0 corresponds to lower lateral friction and therefore to a more or less significant reduction in normal force at depth. In the case of this study, the effect of K_0 on behavior is not significant, so we can understand that this is due to the fact that this state of pile loading develops fairly low settlements in the range $0 \leq s(z) \leq \frac{q_s D}{4E_M}$. The same analysis can be attributed to deformation, which here respects Hooke's law; the trends are similar to those of normal force for a Young's modulus E_p and pile cross-section A_p considered constant.

Looking at Figure 15, the results show that the influence of the Poisson's ratio ν of the soil on settlement, deformation and axial force in the pile is negligible. Poisson's ratio is used in this study to express the soil shear modulus G from the soil Young's modulus E . Previous results show that the value given to this modulus does influence pile behavior, but the impact of Poisson's ratio is very small.

In Figure 16, the results show that the value of the Young's modulus of the pile does influence the evolution of settlement at depth. Analysis of the graphs shows that the effect of Young's modulus is similar to that of pile diameter, but the influence is less significant. At pile heads and shallow depths, a much larger pile Young's modulus results in slightly lower settlement. The decrease in settlement at depth is more obvious when the Young's modulus is small. So, for a pile with a low Young's modulus, settlement is highest at the head of the pile, but becomes lowest at the tip, compared with other values of E_p . These results can be explained by the fact that pile settlement is calculated, in this study, taking into account the compressibility of the concrete material. Longitudinal deformation under compressive force influences the value of settlement, as can be seen from the analytical expression of settlement $s(z)$ according to the term $-\frac{z}{E_p A_p} N_0$ of the longitudinal deformation of the pile in compression.

In the second graph, the normal force curve shows that the Young's modulus of the pile has no influence on the axial force along the pile. These results are understandable, and generally demonstrate that the Young's modulus of the pile material has zero influence on the transmission of axial force. However, pile material can influence axial force in the sense that the roughness of the interface influences lateral friction, which in turn influences the expression of axial force. However, in this case study, the Young's modulus of the pile has no influence on the evolution of the normal force. The evolution of the deformation at depth is influenced by both the value of the force $N(z)$ at depth z and the value of the Young's modulus of the pile. It can be seen from this evolution that, at any position z , deformation ε is always lower for a higher Young's modulus. The further you advance the point, the closer the deformation values become.

The results can be seen in Figure 17. The variation in the value of the axial force applied at the pile head shows the significant influence of this force value on pile behavior. The settlement curves are distinct, so a higher applied load creates higher settlement at any z position. The normal force applied at the head of the pile decreases with depth, and its peak values approach each other, showing that the variation in normal force at depth due to the mobilization of lateral friction τ along the shaft is highly significant. The force and deformation curves have similar curves, and the evolution of deformation is based on Hooke's law; the curves are similar to those for normal force, since the pile's extensional stiffness is assumed to be constant.

4 CONCLUSION

This study explores in detail the behavior of a pile subjected to axial loading through the study of axial deformations, normal forces and interactions between pile and surrounding soil; based on the method of load transfer curves, precisely Frank and Zhao's law; recognized effective for predicting the behavior of piles under axial loads. A study of the influence of soil and pile parameters involved in and affecting the behavior of the foundation was carried out. The main factors influencing behavior include the axial load applied at the head N_0 , the D/L ratio, and the pressiometric modulus E_M i.e. the modulus of deformation E of the soil. The Young's modulus E_p of the pile also plays a fairly significant role in pile behavior.

Overall, this study shows that the parameters with the greatest influence on pile behavior are the value of the applied axial load N_0 , the ratio (D/L) and the pressure modulus E_M , i.e. the modulus of deformation E of the soil. In addition to these three parameters, we can add the influence of the Young's modulus E_p of the pile on the behavior of the system. The results also show that the mechanical characteristics c_u , K_0 , γ , α and \mathbf{v} have very little influence on settlement, axial force and deformation curves.

All these results confirm the empirical relationships often used to calculate pile settlement, such as those of [5] or [6], which are based directly on the value of the pile diameter D , or that of [7], which is a function of the diameter D , the applied load N_0 , the Young's modulus of the pile E_p and its length L .

REFERENCES

- [1] Monnet J. (2007), Numerical validation of an elastoplastic formulation of the conventional limit pressure measured with the pressuremeter Test in cohesive Soil, ASCE, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, American Society of Civil Engineers, 133 (9) 1119-1127.
- [2] Monnet J. (2013), *Mechanical characterization of the soil from the pressuremeter test*. Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris, France.
- [3] Frank, R., Zhao, S. R. (1982), *Estimation by pressuremeter parameters of sinking under axial load of bored piles in fine soils*. Bulletin de Liaison du Laboratoire des Ponts et Chaussées, 119: 17-24.
- [4] Ménard, L., & Rousseau, J., (1962), *L'évaluation des tassements, tendances nouvelles*. SolsSoils, N°1, Paris.
- [5] Meyerhof, G., G., (1956), *Penetration tests and bearing capacity of cohesionless soils*. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 82 (1): 1-19.
- [6] Frank, R., (1995), *Fondations Profondes*. Techniques de l'Ingénieur, traité de Construction. C248, 46 pages.
- [7] Vesic, A., S., (1977), *Design of pile foundations*. National cooperative highway research program. Synthesis of highway practice.
- [8] AFNOR, (1997), *NF P 94-262: Calcul géotechnique - Fondations profondes - Norme d'application nationale de l'Eurocode 7-Association Française de Normalisation (AFNOR)*.

Les défis qu'apporte la transformation digitale dans l'industrie minière à Kolwezi en République Démocratique du Congo

[The challenges brought about by digital transformation in the mining industry at Kolwezi in the Democratic Republic of Congo]

Mavungu Mayela Alain¹, Kasongo Monga Danie², Makanta Kaela Patrick³, and Lumanji Mbunga Luc⁴

¹Doctorant, Institut Supérieur des Techniques Appliquées de Kolwezi (ISTA), Section Informatique Industrielle, RD Congo

²Doctorant, Institut Supérieur des Techniques Appliquées de Kolwezi (ISTA), Section Electricité Industrielle, RD Congo

³Doctorant, Institut Supérieur des Techniques Appliquées de Kolwezi (ISTA), Section Electricité Electromécanique, RD Congo

⁴Doctorant, Institut Supérieur des Techniques Appliquées de Kolwezi (ISTA), Section Informatique Industrielle, 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: Digital transformation in the Kolwezi mining industry is bringing major challenges and upheavals. It involves integrating digital technologies into all of a company's operations, enabling it to evolve more easily and improve its competitiveness. In the Kolwezi mining industry, digital transformation is having a significant impact. Mining operations are automated to optimise exploration and mining. In addition, the optimisation and automation of business processes are also important areas of digital transformation. In short, digital transformation in the Kolwezi mining industry is helping to optimise mining operations, automate business processes and improve the industry's competitiveness.

Digital transformation in the mining industry presents both opportunities and challenges. Safety, employee training, the complexity of existing systems, the regulatory framework and the associated costs all need to be taken into account to successfully implement this transformation.

Digital transformation offers significant benefits in the mining sector, but it requires a strategic approach, investment and increased awareness to overcome the challenges and maximise the benefits. It is recommended that digital transformation experts are consulted to develop a tailored plan for each mining business.

KEYWORDS: digital transformation, industry, mining, automation, mining operations.

RESUME: La transformation digitale dans l'industrie minière à Kolwezi apporte des défis et des bouleversements importants. Elle consiste à intégrer des technologies digitales dans toutes les opérations d'une entreprise, ce qui lui permet d'évoluer plus facilement et d'améliorer sa compétitivité. Dans l'industrie minière de Kolwezi, la transformation digitale a un impact significatif. Les opérations minières sont automatisées pour optimiser l'exploration et l'exploitation minière. De plus, l'optimisation et l'automatisation des processus métiers sont également des domaines importants de la transformation digitale. En résumé, la transformation digitale dans l'industrie minière à Kolwezi permet d'optimiser les opérations minières, d'automatiser les processus métiers et d'améliorer la compétitivité de l'industrie.

La transformation digitale dans l'industrie minière présente à la fois des opportunités et des défis. Il est important de prendre en compte la sécurité, la formation des employés, la complexité des systèmes existants, le cadre réglementaire et les coûts associés pour réussir la mise en œuvre de cette transformation.

La transformation digitale offre des avantages significatifs dans le secteur de la mine, mais elle nécessite une approche stratégique, des investissements et une sensibilisation accrue pour surmonter les défis et maximiser les bénéfices. Il est recommandé de consulter des experts en transformation digitale pour élaborer un plan sur mesure adapté à chaque entreprise minière.

MOTS-CLEFS: transformation digital, industrie, mine, automatisation, opérations minières.

Dans notre article, nous cherchons à montrer les difficultés, les défis, les bouleversements et les transformations que causent l'adoption de la transformation digitale dans notre vie au quotidien dans la ville de Kolwezi en générale et dans l'industrie minière de Kolwezi en particulier.

La transformation digitale est un élément clé des stratégies globales de transformation d'entreprise, et elle est, avec d'autres facteurs, déterminante pour la réussite ou l'échec d'un effort de transformation.

En associant les technologies adéquates aux individus, processus et opérations, les entreprises s'offrent la capacité de s'adapter rapidement aux disruptions et/ou opportunités, de répondre aux besoins nouveaux et changeants des clients et de stimuler la croissance et l'innovation futures, souvent de manière inattendue.

On parle de transformation digitale lorsqu'une entreprise intègre des technologies digitales à l'ensemble de ses opérations. Elle est ainsi en mesure d'évoluer plus facilement et d'améliorer sa compétitivité en réagissant à l'évolution des marchés et en offrant un meilleur service à ses clients.

Dans la première des quatre révolutions industrielles, la machine à vapeur a été la technologie novatrice qui a changé le monde. Dans la deuxième, la production à la chaîne; et dans la troisième, l'ordinateur.

Aujourd'hui, nous sommes dans la quatrième révolution industrielle, et celle-ci se place sous le signe du digital. Les technologies digitales intelligentes comme l'intelligence artificielle (IA), le Machine Learning, les réseaux d'Internet des objets (IoT), l'analytique avancée et la robotique ont le pouvoir de réinventer notre façon de travailler, de penser et de conduire nos activités, et de révolutionner la façon dont les entreprises interagissent avec leurs clients et avec le monde.¹

- Première révolution industrielle: caractérisée par plusieurs inventions marquantes, dont la principale est celle de la machine à vapeur en 1769
- La seconde révolution industrielle: est caractérisée par l'électricité les bateaux à vapeurs, le pétrole et l'industrie Chimique.
- La troisième révolution industrielle: Energie et informatique
- La quatrième Revolution: Gestion des données²

Pour la petite Histoire, l'industrie minière de la région du Katanga en General et celle de Kolwezi en particulier, tire ces origines des Mikuba, croisette du Katanga Handa, pièce de monnaie utilise dans la région cuprifère du Katanga déjà au 13ieme siecle.³

A cette époque, tout le travail de fabrication de croisette se faisait manuellement avec un apport humain considérable sur toute la chaine de production. Ce qui a eu pour conséquence la fatigue, l'usure de l'homme et un grand impact sur la productivité très limitée.

Quelques siècles plantard, l'Union Minière du Haut Katanga née dans la région du Katanga. Elle apporte beaucoup de changement dans la manière de faire; principalement dans la mécanisation de la chaine de production qui est considérable, l'homme est en grande partie soulager par les machines qui l'aident dans l'extraction du minerai, la préparation du cuivre par l'électrolyse. La UMHK, devenue Gécamines par la suite, a donc connus la première, la seconde et une partie de la troisième révolution industrielle avant son démembrement en plusieurs Joint-venture (TFM, KCC, SICOMINE, COMIDE, METALKOL,...).

Globalement la transformation digitale a donc un impact significatif dans l'industrie minière, notamment dans des régions riches en minéraux comme l'Afrique. (République Démocratique du Congo, en Zambie, en Afrique du Sud, à Madagascar, au Mozambique, en Tanzanie ou au Gabon,...).

La transformation digitale trouve donc son importance dans les opérations suivantes:

- 1. L'automatisation des opérations minières:** Les compagnies minières ont adopté les nouvelles technologies pour optimiser l'exploration et l'exploitation minière. Des mines telles que Syama au Mali, Kibali a l'Est de la RDC, TFM et Kamoto dans la région Sud-Est de la RDC (la province Actuelle du Lualaba), ont mis en œuvre l'automatisation pour accroître le rendement des opérations.

Plusieurs Technologies sont utilisées pour l'optimisation des opérations minières en vue d'une rentabilité maximales.

- Modular:
- Seismic systems: Ground Prob, IDS
- Reporting avec Power Bi

¹ Lettre d'information SAP insights, Qu'est-ce que la transformation digitale ? | Définition de la transformation digitale | SAP Insights

² Encyclopédie Britannica, The Second Industrial Revolution, 1870-1914 by Ryan Engelman, Investopedia, The Internet Society , Les 4 étapes de la Révolution Industrielle - Haiti Economie

³ La porte de Dogon, galerie d'art africain, Croisette du Katanga Handa (3393) - Monnaies en bronze, en fer noir et autres materiau (galerie-art-africain.com)

- Argus mining Shevel
- Imex
- Octopus

2. L'optimisation et l'automatisation des processus métiers:

L'optimisation des processus métier consiste à analyser, revoir et améliorer les activités et les flux de travail d'une organisation afin d'obtenir une performance optimale. Elle implique l'automatisation des processus de base pour une plus grande efficacité, rapidité et sécurité grâce à des solutions technologiques.

Dans les termes les plus simples, un processus métier est un ensemble d'étapes prises pour atteindre un résultat. Le résultat pourrait être de livrer un produit, d'assembler un produit, d'embaucher de nouveaux employés, de payer des factures ou toute autre chose de ce genre. Pour mener à bien un processus métier, il est courant que de nombreuses personnes soient impliquées.

Pour optimiser un processus, vous devez d'abord cartographier et documenter le processus actuel afin de bien comprendre son fonctionnement. Ensuite, rassemblez des données et analysez le processus pour identifier les goulots d'étranglement, les inefficacités et les domaines à améliorer

Une approche systématique complète et efficace de l'automatisation des processus d'entreprise comprend quatre phases: l'analyse, la mise en œuvre, l'intégration, la maintenance et l'assistance.

L'optimisation est la branche des mathématiques qui s'intéresse à l'analyse et à la modélisation des contraintes d'un problème donné dans le but de trouver la solution qui maximise ou qui minimise une fonction à optimiser.

À l'ère de la transformation Digitale, ou la technologie fait son entrée dans la vie de l'homme à tous les niveaux de la vie humaine et l'industrie minière, beaucoup de changements s'opèrent et certaines contraintes sont exigées:

1. Adoption des nouvelles technologies: L'intégration de technologies telles que les capteurs, l'Internet des objets (IoT), la robotique, l'analyse de données et la réalité augmentée peut améliorer l'efficacité des opérations minières. Cependant, l'adoption de ces technologies peut être un défi en raison du manque de compétences et de ressources.⁴
2. La mise à niveau perpétuelle de nos connaissances en informatique devient un impératif, dans la mesure où une étape peut constituer un gap considérable et affecter nos performances et avoir de l'incidence sur nos compétences. Cela inclut surtout une dépendance aux numérique qui devient source de rupture de lien sociale, anxiété, stress, dépression.
3. La veille technologique ou veille scientifique et technique devient un élément incontournable pour toute personne qui veut garder une avance sur l'information. Plusieurs outils sont utilisés dont les plus importants sont les agrégateurs de flux RSS, les alertes Google, les réseaux sociaux, les outils de surveillance des médias sociaux, les newsletters, les bases de données, les blogs et les forums. L'utilisation excessive de la technologie peut avoir un impact sur la santé physique, entraînant des problèmes tels que la fatigue oculaire, une mauvaise posture et une activité physique réduite. Il est important d'équilibrer l'utilisation de la technologie et le bien-être physique.

L'utilisation d'outils tels que l'analyse de données et l'internet des objets a permis d'améliorer l'efficacité et la sécurité des activités minières.⁵

Transparence grâce à la digitalisation: Les gouvernements africains cherchent à éliminer l'image d'opacité entourant les concessions minières. La digitalisation du **cadastre minier** permet de respecter le principe du « premier arrivé, premier servi » lors de l'attribution des titres de propriété minières. Cela favorise la transparence et renforce la confiance des citoyens et des investisseurs.⁶

Avantages sociaux, environnementaux et économiques: La transformation digitale améliore les conditions de travail, réduit les risques pour les employés et contribue à une industrie minière plus responsable et durable. Les entreprises qui embrassent ces technologies sont mieux positionnées pour réussir dans un monde en constante évolution.⁷

À Kolwezi, où l'extraction minière est omniprésente, la digitalisation offre des opportunités pour améliorer l'efficacité, la sécurité et la transparence dans ce secteur vital.⁸

⁴ L'impact des Nouvelles Technologies Minières sur l'approvisionnement Local en RDC, L'impact des nouvelles technologies minières sur l'approvisionnement local en RDC (iisd.org)

⁵ Emiliano Tossou, 18 Mars 2022; Ce que la digitalisation apporte aux Pays Miniers africains

⁶ Idem

⁷ TRANSFORMATION DIGITALE DANS LE SECTEUR MINIER (researchgate.net)

⁸ RDC: Kolwezi avalée par ses mines (la-croix.com)

La **transformation digitale** dans l’industrie minière congolaise présente des opportunités et des défis. Voici quelques points à considérer:

1. **Sécurité et réduction des coûts:** La digitalisation permet d’améliorer la sécurité des employés et de réduire les coûts opérationnels. Cependant, la mise en œuvre de nouvelles technologies nécessite des investissements et une planification minutieuse.⁹
2. **Formation et adoption des nouvelles technologies:** Le manque de formation et de sensibilisation des employés aux nouvelles technologies peut entraver leur adoption. Il est essentiel de former le personnel pour qu’il puisse utiliser efficacement ces outils.
3. **Complexité des systèmes existants:** L’intégration des anciens systèmes avec les nouvelles technologies peut être complexe. Les entreprises minières doivent trouver des moyens de moderniser leurs infrastructures tout en minimisant les perturbations.
4. **Cadre réglementaire et propriété intellectuelle:** Les lois et régulations concernant la propriété intellectuelle et l’utilisation des données numériques doivent être prises en compte. Les gouvernements et les entreprises doivent collaborer pour créer un environnement favorable à la transformation digitale.¹⁰
5. **Coût exorbitant de la transformation digitale,** (acquisition du matériel, formation du personnel)

ANALYSE SWOT DE LA TRANSFORMATION DIGITALE DANS LE SECTEUR DE LA MINE

Une analyse SWOT (forces, faiblesses, opportunités et menaces) aide pour évaluer les avantages et les risques de la transformation digitale dans une entreprise minière. Ci-après nous donnons les résultats de cette analyse:

<p>FORCES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de l'efficacité et de la productivité des opérations minières. • Rapidité dans l'exécution des tâches • Amélioration de la sécurité et de la réduction des coûts. • Possibilité de collecter, stocker et analyser des données pour une meilleure prise de décision en matière de ressources. • Possibilité de s'adapter rapidement aux changements de l'environnement et aux tendances technologiques émergentes 	<p>FAIBLESSES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coût élevé de l'acquisition et de la mise en place de nouvelles technologies. • Risque de perte de compétences et de connaissances chez les employés. • Complexité liée à l'intégration de nouvelles technologies aux processus métier existants. • Risques de sécurité liés à la gestion de données sensibles.
<p>OPPORTUNITES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Possibilité de différenciation de l'entreprise par rapport à la concurrence grâce à l'utilisation de technologies avancées. • Possibilité de nouveaux marchés et de nouveaux partenariats commerciaux grâce à la transformation digitale. • Possibilité de réduire les impacts négatifs de l'exploitation minière sur l'environnement et les communautés locales grâce à l'utilisation de technologies plus respectueuses de l'environnement. 	<p>MENACES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Risque de perte de compétitivité par rapport aux entreprises qui adoptent plus rapidement la transformation digitale. • Risque de perturbation des opérations minières en cas de panne ou de non-conformités des technologies. • Risque de cybersécurité lié à l'utilisation de technologies de plus en plus connectées. • Risque de réglementation ou de normes inadaptées pour les technologies utilisées

Il est à noter que ces points sont généraux et peuvent varier en fonction des spécificités de chaque entreprise minière. Il est donc important d’évaluer les avantages et les risques spécifiques à chaque entreprise pour une analyse plus précise.

Un plan d’action basé sur l’analyse SWOT pour la transformation digitale dans une entreprise minière pourrait inclure les étapes suivantes:

⁹ L’impact des nouvelles technologies minières sur l’approvisionnement local en RDC (iisd.org)

¹⁰ L’impact des nouvelles technologies minières sur l’approvisionnement local en RDC (iisd.org)

Exploiter les forces:

- Utiliser les technologies existantes pour augmenter l'efficacité et la productivité des opérations minières.
- Utiliser les technologies pour améliorer la sécurité et réduire les coûts.
- Utiliser les données pour améliorer la prise de décision en matière de ressources.

Surmonter les faiblesses:

- Investir dans la formation et le développement des employés pour maintenir les compétences et les connaissances nécessaires pour utiliser les nouvelles technologies.
- Mettre en place des processus pour gérer les données sensibles et protéger la sécurité des données.
- Mettre en place des processus pour intégrer les nouvelles technologies aux processus métier existants.

Saisir les opportunités:

- Différencier l'entreprise par rapport à la concurrence en utilisant des technologies avancées.
- Établir des partenariats commerciaux pour développer des marchés et des opportunités.
- Utiliser les technologies pour réduire les impacts négatifs de l'exploitation minière sur l'environnement et les communautés locales.

Prévenir les menaces:

- Surveiller les tendances et les technologies émergentes pour s'assurer que l'entreprise reste compétitive.
- Mettre en place des processus de continuité pour gérer les risques de perturbation des opérations minières.
- Mettre en place des mesures de sécurité pour protéger contre les risques de cybersécurité.
- Surveiller les réglementations et les normes pour s'assurer que les technologies utilisées sont conformes.

Il est à signaler que ce plan d'action est général et peut varier en fonction des spécificités de chaque entreprise minière. Il est donc important de s'adapter à chaque situation pour une action plus précise et il est recommandé de consulter des experts en transformation digitale pour élaborer un plan qui convient à l'entreprise.

En somme, la transformation digitale offre des avantages significatifs, mais elle nécessite une approche stratégique, des investissements et une sensibilisation accrue pour surmonter les défis et maximiser les bénéfices.

REFERENCES

- [1] Accenture. (2017). *Industry X.0: Realizing Digital Value in Industrial Sectors*. Accenture Strategy.
- [2] Berman, S. (2012). Digital Transformation: Opportunities to Create New Business Models. *Strategy & Leadership*, 40(2), 16-24.
- [3] Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. W. W. Norton & Company.
- [4] Bughin, J., Hazan, E., & Ramaswamy, S. (2018). *Le nouvel âge de l'intelligence : Comment l'intelligence artificielle transforme les entreprises*. Dunod.
- [5] Das, S. K., & Kumar, R. (2019). *Digital Transformation in Mining Industry: Opportunities and Challenges*.
- [6] In Proceedings of the International Conference on Soft Computing Systems (pp. 117-126). Springer.
- [7] Davenport, T. H. (2013). *Process Innovation: Reengineering Work Through Information Technology*. Harvard Business Review Press.
- [8] Deloitte. (2019). *Tracking the Trends 2019: The top 10 issues shaping mining in the year ahead*. Deloitte.
- [9] Hall, R. W. (2012). Organizational Strategy, Structure, and Process. *Academy of Management Review*, 7(1), 125-134.
- [10] Hammer, M., & Champy, J. (2018). *Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution*. Harper Business.
- [11] International Finance Corporation. (2019). *Digital Transformation in Mining: Unlocking the Potential of Technology for Better Mining*. International Finance Corporation.
- [12] Jakovljevic, M. (2019). Digital Transformation in Mining Industry: A Literature Review. In Proceedings of the International Conference on Smart Systems and Technologies (pp. 58-65). Springer.
- [13] KPMG. (2018). *Mining 4.0: The Impact of New Technology from a Work Place Perspective*. KPMG International.
- [14] Latham, M. (2018). *Mining Goes Digital: Transformation in the Mining Industry*. Springer.
- [15] Lui, A. (2019). *Digital Transformation in Mining: A Roadmap to Success*. CRC Press.
- [16] McAfee, A., & Brynjolfsson, E. (2017). *Machine, Platform, Crowd: Harnessing Our Digital Future*. W. W. Norton & Company.
- [17] McKinsey & Company. (2020). *The Next Normal in Mining: Embrace and Scale Digital to Drive Sustainable Productivity*. McKinsey & Company.
- [18] Murguia, J. S., & Caceres, M. (2017). Digital Transformation in the Mining Industry: An Analysis of the Use of Digital Technologies in Mining Companies. *Procedia Engineering*, 182, 510-517.
- [19] Naude, M. J., & Wagner, C. (2017). The impact of digital transformation on the South African mining industry. *Journal of the Southern African Institute of Mining And Metallurgy*, 117(8), 803-811.

- [20] Oparaku, O. U., & Ogbonna, C. N. (2017). Digital Transformation in the Mining and Metals Industry: A Systematic Literature Review. *International Journal of Mining Science and Technology*, 27(2), 227-238.
- [21] Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). How smart, connected products are Transforming competition. *Harvard Business Review*, 92(11), 64-88.
- [22] PwC. (2017). Deep Dive: Innovation and Digital Transformation in the Mining Sector. PwC Canada.
- [23] Rosemann, M., & vom Brocke, J. (2015). The Six Core Elements of Business Process Management. In *Handbook on Business Process Management 1* (pp. 105-122). Springer.
- [24] Shroff, R. H., & Shroff, R. B. (2016). *Business Process Reengineering: Automation Decision Points in Process Reengineering*. Springer.
- [25] Westerman, G., Bonnet, D., & McAfee, A. (2014). *Leading Digital: Turning*.
- [26] *Technology Into Business Transformation*. Harvard Business Review Press.
- [27] World Economic Forum. (2016). *The Fourth Industrial Revolution*. Klaus Schwab.
- [28] World Economic Forum. (2017). *Digital Transformation Initiative: Mining and Metals Industry*. World Economic Forum.
- [29] <https://www.sap.com/france/insights/what-is-digital-transformation.html>.
- [30] <https://www.les4etapesdelarevolutionindustrielle.com>. Les 4 étapes de la Révolution Industrielle - Haiti Economie.
- [31] <https://www.croisettekatanga.com>. Croisette du Katanga Handa (3393) - Monnaies en bronze, en fer noir et autres materiau (galerie-art-africain.com).
- [32] <https://www.iisd.org>. L'impact des nouvelles technologies minières sur l'approvisionnement local en RDC (iisd.org).
- [33] <https://www.wereachtech.com>. Ce que la digitalisation apporte aux pays miniers africains - We are Tech.
- [34] https://www.researchgate.net/publication/371289928_Transformation_digitale_dans_le_secteur_minier_les_avantages_les_de_fis_et_les_etapes_pour_reussir.
- [35] <https://www.la-croix.com/RDC-Kolwezi-avalee-mines>.

La transformation digitale et les métiers d'informaticien en pleine croissance en République Démocratique du Congo

[Transformation and the growing it professions in the Democratic Republic of Congo]

Mavungu Mayela Alain¹, Kasongo Monga Daniel², Makanta Kaela Patrick³, and Lumanji Mbunga Luc⁴

¹Doctorant, Institut Supérieur des Techniques Appliquées de Kolwezi (ISTA), Section Informatique Industrielle, RD Congo

²Doctorant, Institut Supérieur des Techniques Appliquées de Kolwezi (ISTA), Section Electricité Industrielle, RD Congo

³Doctorant, Institut Supérieur des Techniques Appliquées de Kolwezi (ISTA), Section Electricité Electromécanique, RD Congo

⁴Doctorant, Institut Supérieur des Techniques Appliquées de Kolwezi (ISTA), Section Informatique Industrielle, 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: Digital transformation offers exciting career opportunities. Professionals skilled in digital transformation management, data analytics, and technical architecture are in high demand. To succeed in these fields, it is essential to possess advanced technical skills and a deep understanding of emerging technologies such as artificial intelligence, machine learning, and cloud computing. Skills in project management, data analysis, and communication are also important. Education, work experience, and certifications play a key role in broadening qualifications. Additionally, developing skills in collaboration, strategic thinking, and change management is crucial for success in this ever-evolving field. In summary, digital transformation presents numerous career opportunities, but it requires advanced technical skills, solid work experience, and the ability to adapt to changes. By developing your skills in areas such as digital transformation management, data analytics, and technical architecture, you can seize these opportunities and contribute to the success of organizations' digital transformation efforts.

KEYWORDS: digital transformation, career opportunities, advanced technical skills, data analytics, change management.

RESUME: La transformation numérique offre des opportunités de carrière passionnantes. Les professionnels qualifiés dans la gestion de la transformation numérique, l'analyse des données et l'architecture technique sont très recherchés. Pour réussir dans ces domaines, il est essentiel de posséder des compétences techniques avancées et une connaissance approfondie des technologies émergentes telles que l'intelligence artificielle, l'apprentissage automatique et le cloud computing. Des compétences en gestion de projet, en analyse de données et en communication sont également importantes. La formation, l'expérience professionnelle et les certifications jouent un rôle clé dans l'élargissement des qualifications. Il est également important de développer des compétences en collaboration, en réflexion stratégique et en gestion du changement pour réussir dans ce domaine en constante évolution. En résumé, la transformation numérique offre de nombreuses opportunités de carrière, mais elle exige des compétences techniques avancées, une expérience professionnelle solide et la capacité à s'adapter aux changements. En développant vos compétences dans des domaines tels que la gestion de la transformation numérique, l'analyse des données et l'architecture technique, vous pourrez saisir ces opportunités et contribuer au succès de la transformation numérique des organisations.

MOTS-CLEFS: transformation numérique, opportunités de carrière, compétences techniques avancées, analyse des données, gestion du changement.

1 INTRODUCTION

Dans un monde comme celui d'aujourd'hui, où tout dans le paysage commercial évolue à la vitesse de l'éclair, les organisations de tous les secteurs s'appuient sur la transformation numérique pour garder une longueur d'avance.

Dans un monde où il est de plus en plus difficile de conserver un emploi pendant de longues périodes, où nos jeunes frères, nos étudiants, nos enfants, peinent à choisir l'orientation académique qui déterminera leur future carrière, nous avons essayé d'apporter notre modeste contribution en mettant en lumière trois métiers informatiques.

Des professionnels importants, connus sous le nom de responsable de la transformation numérique, le data Analytics, et l'architecte technique sont au cœur de ce parcours de transformation.

Dans cet article, nous allons explorer les responsabilités, les rôles, les qualifications, les compétences de ces trois différents acteurs majeurs qui concourent à la réussite de cette transformation numérique.

Le rythme incessant de la transformation numérique est devenu le moteur de la réussite des entreprises modernes. Qu'il s'agisse d'adopter des technologies de pointe ou de mettre en œuvre de nouveaux outils et processus, chaque entreprise s'efforce de rester pertinente et compétitive dans le paysage numérique en constante évolution.

2 TRANSFORMATION DIGITALE

La **transformation digitale** est un phénomène majeur qui impacte de nombreux secteurs d'activité. Elle est alimentée par la **digitalisation des entreprises** et le développement constant de nouvelles technologies. Dans ce contexte, de **nouveaux métiers** émergent, offrant des opportunités passionnantes et enrichissantes.

Voici un aperçu des métiers du digital en accroissement constant:

1. **Responsable Chargé de la Transformation Numérique:** il est responsable de conduire la transition numérique au sein d'une organisation, en mettant en place des stratégies et des outils pour optimiser les processus.

Un responsable de la transformation numérique est un cadre stratégique chargé de diriger et de superviser les initiatives de transformation numérique au sein d'une entreprise. Il possède une connaissance approfondie des technologies à venir, du comportement des clients et des tendances du marché. Ce rôle implique l'élaboration d'une stratégie numérique cohérente, la mise en œuvre de solutions innovantes et la gestion du changement pour stimuler la croissance et l'efficacité opérationnelle (J.-M. Plane, 2012.).

Les rôles et responsabilités du responsable de la transformation numérique peuvent varier en fonction de la taille de l'organisation et du secteur d'activité. Cependant, les rôles communs impliquent:

- Les responsables de la transformation numérique travaillent avec la direction au plus haut niveau pour définir la stratégie numérique de l'organisation. Ils identifient également les opportunités et distribuent les ressources. Leur travail consiste à analyser les tendances du marché, à évaluer le paysage concurrentiel et à créer une feuille de route pour la transformation numérique. Ils réalisent des études et des analyses de marché afin de comprendre les opportunités. Ils allouent des budgets et des ressources aux initiatives numériques. Ils mesurent également les résultats d'une tentative de transformation numérique en établissant des mesures et des indicateurs clés de performance. Ils développent également des relations avec des partenaires internes, des partenaires externes, des parties prenantes et des fournisseurs afin de tirer parti de la technologie et de l'innovation.
- Dans leurs fonctions managériales, les responsables de la transformation numérique supervisent des équipes interfonctionnelles, notamment dans les domaines du marketing, de l'informatique, du service client et des opérations. Ils orientent ces départements vers des objectifs numériques, en supervisant la mise en œuvre des projets et en assurant une communication efficace au sein de l'organisation. En outre, ils suivent les indicateurs clés de performance (ICP) pour évaluer le succès des initiatives numériques. Ils gèrent les délais, les ressources et les budgets des projets. Ils évaluent et gèrent les risques liés aux projets de transformation numérique. Ils analysent et contrôlent les mesures et les données afin d'évaluer les résultats des tentatives numériques. Ils mènent des activités de gestion du changement afin de promouvoir la transformation culturelle et d'intégrer les technologies numériques.
- Au niveau de directeur, le Digital Transformation Manager offre une orientation stratégique à un certain nombre de départements et d'équipes. Il dirige l'élaboration de stratégies de transformation numérique à long terme. Ils veillent à ce que les stratégies s'alignent sur l'objectif de l'entreprise et créent une culture d'amélioration et d'innovation durable. Ils collaborent souvent avec les membres du conseil d'administration et les cadres supérieurs pour ce qui précède. Ils doivent

se tenir au courant des technologies à venir, des pratiques standard du secteur et des tendances du marché. Ils inspirent un état d'esprit "digital-first" au sein de leur organisation et plaident en faveur de la transformation numérique.

2. Pour devenir un gestionnaire de la transformation numérique utile, des compétences commerciales, techniques et de leadership sont nécessaires (C. Deshayes, 2019). Ces compétences de gestionnaire de la transformation numérique sont les suivantes:

- **Compétence technique:** Ils doivent avoir une compréhension approfondie des technologies en développement telles que l'apprentissage automatique, l'intelligence artificielle, l'analyse des données et le cloud computing. Ils doivent utiliser ces technologies pour stimuler l'innovation et motiver la performance dans l'organisation.
- **Connaissance des affaires:** Une compréhension approfondie de la dynamique du marché, des opérations commerciales et de la connaissance des clients est nécessaire. Ils doivent avoir la perspicacité nécessaire pour synchroniser les stratégies numériques avec les objectifs de l'entreprise et comprendre où la croissance est possible.
- **Gestion du changement:** Les responsables de la transformation numérique doivent être capables de gérer le changement et la transformation culturelle au sein de l'organisation. Ils doivent posséder des compétences de leadership efficaces, des capacités de communication et la capacité d'influencer les parties prenantes afin de vaincre les résistances et d'inspirer l'acceptation.
- **Réflexion stratégique:** Les candidats doivent posséder un esprit stratégique qui leur permette de prévoir l'avenir de l'entreprise et de proposer des solutions innovantes. Ils doivent avoir la capacité d'identifier les opportunités qui utilisent les technologies numériques pour obtenir un avantage concurrentiel.
- **Approche analytique et axée sur les données:** Il est important d'avoir la capacité d'analyser les données, d'interpréter les informations et de prendre des décisions fondées sur les données. Les responsables de la transformation numérique doivent être prêts à travailler avec des données et doivent utiliser l'analyse pour évaluer l'impact des initiatives numériques.
- **Collaboration et communication:** Les responsables de la transformation numérique doivent posséder d'excellentes compétences en matière de collaboration et de communication, qui sont importantes pour gérer les parties prenantes. Ils doivent être capables de communiquer des concepts difficiles de manière concise et claire et d'établir des relations solides avec les parties prenantes et les membres de l'équipe.
- **Gestion de projet:** Des compétences efficaces en gestion de projet sont nécessaires pour superviser et coordonner les initiatives de transformation numérique. Ils doivent être en mesure de gérer efficacement les ressources financières, les délais et les budgets.

Les qualifications exactes d'un responsable de la transformation numérique peuvent être différentes, mais une formation, une expérience et des certifications professionnelles peuvent améliorer les chances d'obtenir un emploi de responsable de la transformation numérique (C. Deshayes, 2019). Ils doivent posséder des qualifications telles que:

- **Formation:** Un diplôme dans des domaines tels que l'administration des affaires, l'ingénierie ou l'informatique constitue une base solide. Mais si vous avez le bon type d'ensemble de compétences, vous pouvez même postuler à partir d'une formation différente.
- **Expérience:** Si vous avez de l'expérience dans des rôles liés à la gestion de projet, à la stratégie d'entreprise, au conseil en informatique et à la transformation numérique, c'est très utile. Si vous avez des antécédents en matière de conduite du changement ou de mise en œuvre réussie d'initiatives numériques, cela sera très précieux.
- **Certifications professionnelles:** Si vous possédez des certifications telles que Certified Digital Transformation Leader (CDTL) et Certified Digital Transformation Professional (CDTP), cela sera utile

3 DATA ANALYTICS (ANALYSE DES DONNÉES)

La transformation numérique utilise les technologies numériques pour créer des processus, des produits et des services nouveaux ou améliorés. Elle est essentielle car elle aide les organisations à être plus efficaces et à mieux répondre aux besoins de leurs clients et des autres parties prenantes. En outre, la transformation numérique peut aider les organisations à être plus agiles et plus réactives au changement et à être plus compétitives sur le marché.

La transformation numérique utilise la technologie pour créer des processus d'entreprise, des produits ou des services nouveaux ou améliorés. L'analyse des données peut jouer un rôle crucial dans la transformation numérique en aidant les organisations à comprendre leurs clients, à identifier de nouvelles opportunités et à optimiser leurs opérations.

Les organisations qui utilisent efficacement l'analyse des données seront mieux positionnées pour réussir dans l'économie numérique. L'analyse des données peut aider les organisations à mieux comprendre leurs clients et à identifier de nouvelles opportunités de croissance. En outre, l'analyse des données peut aider les organisations à optimiser leurs opérations et à les rendre plus efficaces.

La transformation numérique est essentielle pour que les organisations restent compétitives dans l'économie numérique. L'analyse des données peut aider les organisations à tirer le meilleur parti de leurs initiatives de transformation numérique et à se positionner pour le succès (C. Deshayes, 2019).

Les organisations se tournent de plus en plus vers la transformation numérique pour améliorer leur efficacité, leur agilité et leur compétitivité. L'analyse des données est un élément clé de la transformation numérique, car elle peut aider les organisations à mieux utiliser leurs données et à obtenir des informations commerciales.

La transformation numérique utilise la technologie pour créer de nouveaux processus, produits ou services. L'analyse des données peut aider les organisations à améliorer l'expérience de leurs clients, à optimiser leurs opérations et à prendre de meilleures décisions. L'analyse des données peut aider les organisations à améliorer leur expérience client, à optimiser leurs opérations et à prendre de meilleures décisions.

L'analyse des données peut aider les organisations à identifier des modèles et des tendances, à comprendre le comportement des clients et à prendre de meilleures décisions. Elle peut également contribuer à améliorer l'efficacité opérationnelle et à optimiser les processus d'entreprise. Pour réaliser le plein potentiel de l'analyse des données, les organisations doivent investir dans les outils et les capacités appropriés et créer une culture axée sur les données.

Il existe de nombreux types d'analyse de données que vous devez connaître pour réussir dans le monde des affaires d'aujourd'hui. Voici quelques-uns des types les plus populaires et les plus utiles:

- L'analyse descriptive: Ce type d'analyse vous aide à comprendre ce qui s'est passé dans le passé. Il peut être utilisé pour identifier les tendances et les modèles dans les données.
- L'analyse prédictive: Ce type d'analyse utilise les données passées pour prédire les résultats futurs. Il peut être utilisé pour décider de la marche à suivre ou pour prévoir les tendances futures.
- L'analyse prescriptive: Ce type d'analyse va plus loin que l'analyse prédictive en prédisant ce qui va se passer et en prescrivant ce qu'il faut faire pour obtenir les résultats souhaités.

Il est essentiel de connaître et de comprendre ces types d'analyse de données, et ceux sur lesquels vous vous concentrerez dépendront de vos besoins et objectifs spécifiques. Cependant, ils peuvent tous être utilisés pour améliorer votre entreprise d'une manière ou d'une autre.

4 ARCHITECTE TECHNIQUE

Les architectes techniques constituent des passerelles essentielles entre les besoins de l'entreprise et les solutions technologiques, en supervisant la conception et la mise en œuvre des systèmes informatiques.

La carrière d'architecte technique est très demandée et offre une grande variété d'opportunités dans les entreprises informatiques, les organisations de services publics, les sociétés financières, etc.

Les équipes chargées de l'architecture d'entreprise peuvent jouer un rôle essentiel dans la transformation des entreprises grâce aux technologies. Les résultats d'une nouvelle enquête et une expérience de première main mettent en évidence les pratiques les plus importantes. Que faut-il aux entreprises traditionnelles pour créer de la valeur grâce à la technologie numérique ?

L'étude de McKinsey suggère que les réinventeurs numériques qui réussissent - les natifs du numérique et les entreprises en place transformées par le numérique - utilisent une série d'approches, telles que l'investissement audacieux et l'adoption de technologies de pointe à grande échelle. De tels efforts peuvent toutefois se heurter à diverses difficultés.

D'après notre expérience, la volonté de lancer davantage d'applications numériques peut rendre le paysage technologique d'une entreprise de plus en plus complexe et difficile à gérer, au point d'entraver les programmes de transformation.

Il n'est pas nécessaire que les choses se passent ainsi. Une nouvelle étude réalisée par McKinsey et la Henley Business School souligne la nécessité pour les architectes d'entreprise de faciliter les transformations numériques en gérant la complexité technologique et en fixant un cap pour le développement du paysage informatique de leur entreprise.

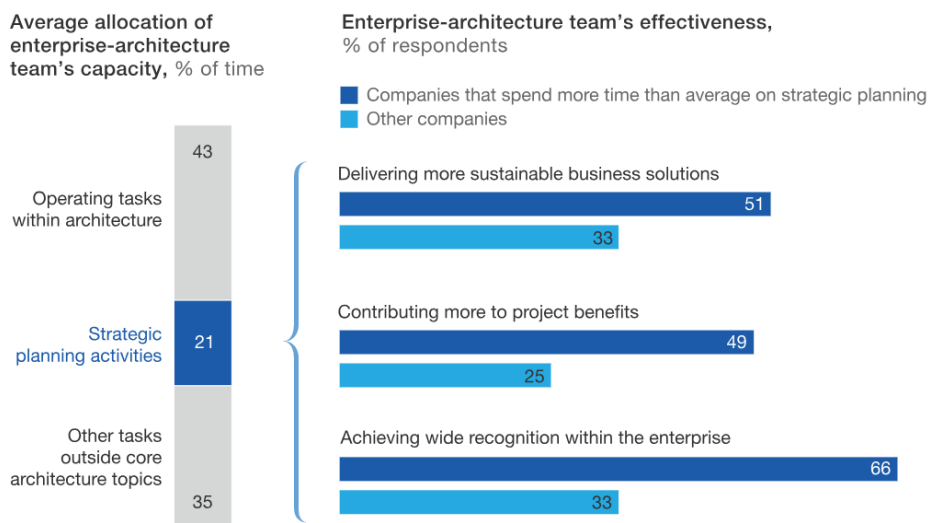
Ces responsabilités relèvent de la mission typique de l'équipe d'architecture d'entreprise (EA), qui consiste à gérer la manière dont tous les systèmes informatiques de l'entreprise fonctionnent ensemble pour mettre en œuvre les processus d'entreprise. Mais toutes les équipes d'architecture d'entreprise ne s'acquittent pas de leurs responsabilités de la même manière. (J-M. Auvray, 2017)

Les répondants à l'enquête qui décrivent leurs entreprises comme des "leaders numériques" ont indiqué que leurs équipes d'évaluation environnementale adhéraient à plusieurs bonnes pratiques (voir l'encadré "À propos de l'enquête"). Ces équipes impliquent les cadres supérieurs et les conseils d'administration et consacrent plus de temps à la planification à long terme. Elles suivent leurs réalisations en termes de nombre de capacités commerciales déployées, tout en mettant en œuvre davantage de services. Enfin, elles attirent les talents principalement en leur proposant des missions attrayantes, de nombreuses possibilités de formation et des plans de carrière bien structurés (J-M. Auvray, 2017).

Une autre différence clé est apparue lorsque nous avons demandé aux répondants combien de temps leur entreprise consacrait à la planification stratégique.

Les personnes interrogées qui ont déclaré que les équipes d'évaluation environnementale de leur entreprise consacraient une proportion plus élevée que la moyenne de leur capacité à la planification stratégique étaient également plus susceptibles de dire qu'elles créaient de la valeur ajoutée pour leur organisation. (En moyenne, les personnes interrogées ont déclaré que la planification stratégique occupait environ un cinquième de la capacité de travail de l'équipe d'évaluation environnementale). Les équipes qui consacrent plus de capacité que la moyenne à la planification stratégique sont plus susceptibles de déclarer qu'elles fournissent des solutions commerciales durables, qu'elles contribuent davantage aux avantages des projets et qu'elles obtiennent une plus grande reconnaissance au sein de l'entreprise (Figure 1: Ici- Bas)

The enterprise-architecture department brings more value to companies when it spends extra time on strategic planning.



Note: Figures may not sum to 100%, because of rounding.

Source: Enterprise Architecture Survey, a joint survey from McKinsey and Henley Business School

Ces métiers sont ouverts à tous, quels que soient votre expérience passée et votre domaine d'expertise. La rémunération dans le secteur du digital est attractive, en particulier dans la tech.

En plus de ces compétences techniques, la curiosité, l'adaptabilité et la capacité à apprendre continuellement sont essentielles dans le domaine du digital. N'hésitez pas à vous former, à participer à des projets pratiques pour développer vos compétences dans ces domaines passionnants !

REFERENCES

- [1] Brynjolfsson, Erik, et Andrew McAfee. *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. W. W. Norton & Company, 2014.
- [2] Hermann, M., Pentek, T. et Otto, B. (2015) *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios*, Business Engineering Institute St. Gallen, Lukasstr. 4, CH 9008 St. Gallen., 4 May 2016.
- [3] Jean-Marc Auvray. *Définition et mise en oeuvre de la transformation digitale au sein d'une entreprise de type PMI/PME, ETI: proposition d'une démarche d'analyse et de transformation*. Ingénierie, finance et science [cs.CE]. 2017, p55.
- [4] Schwab, Klaus. *The Fourth Industrial Revolution*. Crown Business, 2017.
- [5] Westerman, George, et al. *Leading Digital: Turning Technology into Business Transformation*. Harvard Business Review Press, 2014.
- [6] J.-M. Plane, *Théorie et management des organisations - 3e ed.* Dunod, 2012.
- [7] Bharadwaj, Anand, et al. «Digital Business Strategy: Toward a Next Generation of Insights.» *MIS Quarterly*, vol. 37, no. 2, 2013, pp. 471-482.
- [8] Christophe Deshayes, *La transformation numérique et les patrons: les dirigeants à la Manoeuvre*, Les Docs de La Fabrique, Paris, Presses des Mines, 2019. p33.
- [9] Fitzgerald, Michael, et al. «Embracing Digital Technology: A New Strategic Imperative.» *MIT Sloan Management Review*, vol. 55, no. 2, 2014, pp. 1-12.

Test to evaluate the agrophenological parameters of sesame (*Sesamum indicum* L.) subjected to treatments of pigeon droppings and cow dung in Bongor, Chad

Alain Ignassou Djinet¹, François Ganon², and Serena Wanaga¹

¹Life and Earth Sciences Department, Superior Normal School of Bongor, BP 15 Bongor, Chad

²Department of Chimie, Superior Normal School of Ndjaména, BP 206 Ndjamen, Chad

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

ABSTRACT: The market gardening sector is a sector of activity admired by women and men. With a view to improving market gardening production, an experiment was carried out at the Superior Normal School of Bongor (ENS/B) the main objective of this work is to evaluate the effects of pigeon droppings and cow dung on the development parameters of sesame in order to determine the optimal dose of organic fertilizer provided to the plants for a better yield. For this to do so, the agro-phenological parameters were observed, noted and measured. From the result, it appears that the number of flowers and capsules per plant, the number of seeds per capsule, the weight of seeds per capsule, the yields in grams per plant and ton per hectare were obtained in the plants having received the combination 20 g of cow dung and 20 g of pigeon droppings.

KEYWORDS: morphological, phenological and agronomic parameters, *Sesamum indicum* L., fertilizers.

1 INTRODUCTION

Sesame (*Sesamum indicum* L.) is one of the basic agricultural products that can help solve the problem of hunger and malnutrition. Renowned for its nutritional quality and in terms of seed production, sesame is ranked ninth among the top thirteen oilseed crops capable of producing up to 90% of edible oil in the world [1]. Global production is estimated at five and a half million tonnes in 2014 [2]. Sesame production in Chad was estimated at 170,000 tonnes in 2015 [3]. It remains very weak in Mayo-kebbi/East.

This yield failure would be due to major constraints including climatic hazards, late sowing, unsuitability of certain varieties, soil infertility, edaphic factors and attacks from a wide range of harmful organisms that can cause damage economical especially at the seedling and flower bud stages. All of these constraints make production systems more vulnerable and pose problems for the intensification of this crop. Sesame, which was once grown in association with peanuts and reserved only for women, has today become a source of income for the entire population, both urban and rural. Hectares of forests are destroyed for the cause because a good part of the harvest is exported to neighboring Sudan for the manufacture of biscuits called "tania". To increase yield, producers use all kinds of means, especially chemical fertilizers which are expensive and often unavailable. However, the use of organic fertilizers as an input could be one of the solutions to the problem linked to soil infertility, to environmental management where the main objective of this work is to evaluate the effects of pigeon droppings and cow dung on sesame development parameters in order to determine the optimal dose of organic fertilizer provided to the plants for better yield.

2 MATERIALS AND METHOD

2.1 STUDY MATERIALS

2.1.1 STUDY SITE

The present study was carried out within the Superior Normal School of Bongor (ENS/B) with geographical coordinate's 10.280° North latitude and 15.370° East longitude, located in the town of Bongor. The town of Bongor is located on the banks of the Logone River

Test to evaluate the agrophenological parameters of sesame (*Sesamum indicum* L.) subjected to treatments of pigeon droppings and cow dung in Bongor, Chad

oriented towards the South-East-North-West, bordering with the Republic of Cameroon. It is the capital of the Mayo-Kebbi Est province. The climate is Sahelo-Sudanian.

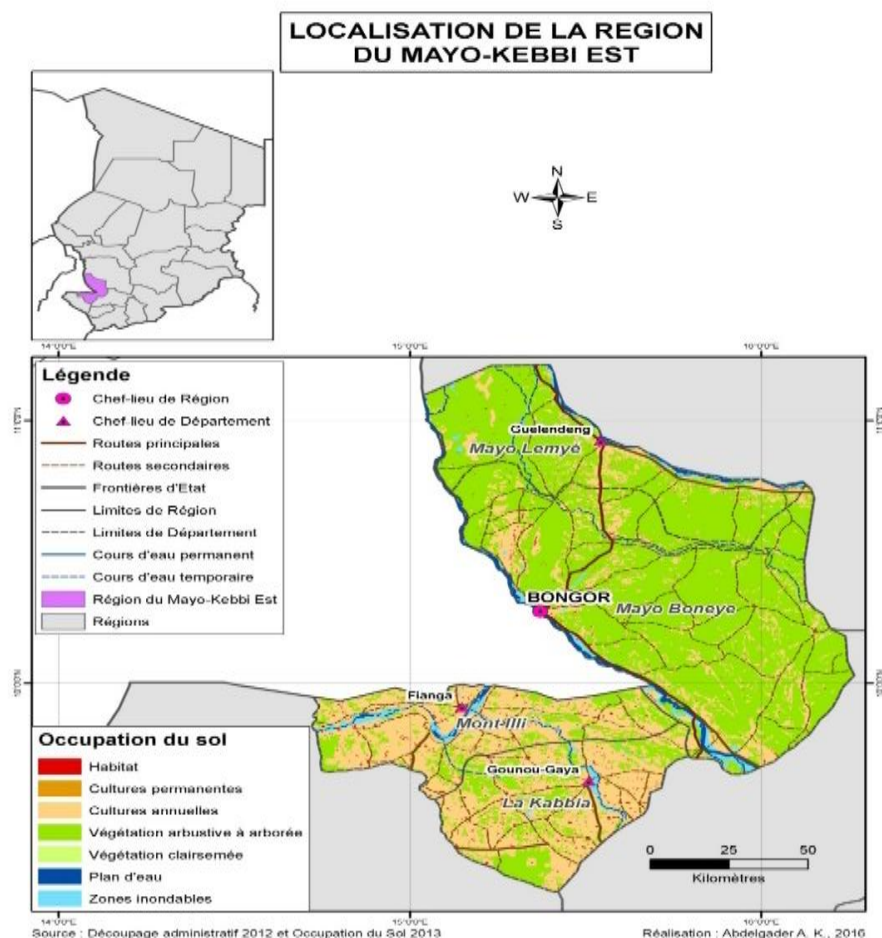


Fig. 1. Map of the Mayo-Kebbi East province

Source: National Research Support Center

2.1.2 SOIL

The result of the soil analysis of the study site is presented in the table below:

Table 1. results of the soil sample

Parameters	Soil sample
Clay (%)	12,65±0,85
Silt (%)	14,7±0,65
Sand (%)	74,47±0,65
Field capacity (%)	31,66 ± 3,05

Source: [4]

2.2 PLANT MATERIAL USED

The seeds used in this study consisted of seeds of the local variety of sesame most cultivated in the province of Mayo-Kebbi.

2.3 ORGANIC MATERIALS USED

The organic materials used consisted of pigeon droppings and dried cow dung. Dried cow dung and pigeon droppings were obtained from local breeders.

2.4 EXPERIMENTAL DESIGN

The trial was conducted during the rainy season from August to October 2021. The experimental design was that of the Fisher model in completely randomized blocks comprising three repetitions each with ten lines and ten treatments. The distance between rows in the block is 60 cm and the distance between plants in the rows is 20 cm. The blocks are separated from each other by a distance of 1 m. Each line was therefore made up of ten sesame pockets, or one hundred pockets per block. The length of the experimental field was 23.6 m and its width was 05 m, giving an area of 118 m².

2.5 WORKING METHODS

2.5.1 APPLICATION OF ORGANIC MATTER

The organic materials were applied in batches. A single application was made two (2) weeks after germination. The collected dry cow dung and pigeon droppings were selected and then dried in the sun for three (3) weeks and then pounded. The powders obtained were weighed according to the following doses: 20 g of cow dung (TV1), 20 g of pigeon droppings (Tf1), 10 g of cow dung and 10 g of pigeon droppings (TVf), 30 g of cow dung (TV2), 30 g of pigeon droppings (Tf2), 15g of cow dung and 15 g of pigeon droppings (TVf1), 40 g of cow dung (TV3), 40 g of pigeon droppings (Tf3), 20 g of cow dung and 20 g of pigeon droppings (TVf2).

2.5.2 PLANT CARE

The plants were watered during the onset of a slight drought. An Emir-fort 104 EC brand insecticide was also used to protect plants against pests.

2.6 MEASUREMENT OF LEAF LENGTH, WIDTH, RATIO AND LEAF AREA

The graduated tape measure was used to measure the length and width of the leaves. The measurements concerned the first three leaves of the plants chosen at random in the treatments constituting the blocks. The end of the tape measure was placed at the level of the petiole to the tip of the leaf. Thus, the values obtained made it possible to determine the Rlf/Lf ratio and the leaf area SF (cm²) = l x L. Five (5) measurements were carried out for the entire cycle of the plant.

2.7 DETERMINATION OF FRUIT DRY MATTER

The capsules from the different blocks were chosen at random then weighed and the weight was recorded. They were then placed in the sun for 72 hours until the net weight was obtained. The dry matter of the fruits is determined using the following formula:

$$MS = 100 - \% H_2O$$

Humidity rate is obtained by calculating the quantity of water contained in the fruits:

$$\text{Humidity rate (\% H}_2\text{O)} = (M_1 - M_2) / (M_1 - M_0) \times 100$$

With M₀ = weight of the empty container; M₁ = weight of the container containing the material to be dried; M₂ = weight of the entire container and dried product and MS = dry matter.

2.8 DETERMINATION OF THE WEIGHT OF THE CAPSULES

The harvested capsules were weighed and the fresh weight was recorded determination of the number of seeds per capsule. The capsules collected by treatment were kept in small bags then dried. After drying the seeds per capsule were counted.

2.9 DETERMINATION OF THE NUMBER OF FLOWERS AND CAPSULES PER PLANT

The flowers and capsules were counted regularly on the plants having been chosen at random in the treatments constituting the blocks and the number was also retained. The counting of flower buds took place 35 days after sowing and the counting of capsules took place 32 days after that of the flowers. Counts were carried out regularly every week. The operation was carried out five times during the plant's cycle. The values obtained made it possible to calculate the average number of flowers and that of capsules per plant.

2.10 DETERMINATION OF THE WEIGHT OF SEEDS PER CAPSULE AND THE WEIGHT OF 100 SEEDS

After determining the number of seeds per capsule, they were weighed and then the weights were recorded. Then, the weight of 100 seeds was also recorded. The dry matter of aerial biomass was determined by weighing the aerial part (stem and leaves). We note, F1 the fresh weight obtained. After drying for approximately 3 weeks, a series of weighings was carried out until the constant weight, noted F2, was obtained. The difference in weight noted ΔF represents the dry matter of the aboveground biomass. $\Delta F = F1 - F2$ Estimation of Yield The yield (Yield) was subsequently estimated by reducing plot production per hectare.

2.11 DATA PROCESSING

In order to determine the differences between the treatments, a statistical analysis of variance (ANOVA) was used on the data entered into the Excel spreadsheet with the XLSTAT 7.5.2 software. Fisher's test at the 5% threshold was used for separation of distinct groups.

3 RESULTS

3.1 PHENOLOGICAL PARAMETERS

The statistical results of the phenological parameters are recorded in table 2. From the table, we see that the parameters were significantly influenced by the different doses provided. Regarding the length of the leaves, it varied between 17.34 and 22.06 cm. The greatest length was noted in plants having received 40 g of pigeon droppings (Tf3) and the smallest length was noted in plants treated with 20 g of cow dung (TV1). Between the parameters there is a significant difference. For the width of the leaves, it varied between 6.50 and 7.49 cm. The highest leaf width was noted in the control (T0) i.e. 7.49 cm and the lowest was recorded in the plants treated with a combination of 20 g of cow dung and 20 g of pigeon droppings. (TVf) or 6.50 cm. There is no significant difference between the treatments ($p=0.85$) for this parameter. The Width/Length ratio of the leaf varied between 0.3 and 0.4. The greatest ratio was noted in plants receiving 20 g of cow dung and the lowest ratio was noted in plants receiving the combination of 20 g of pigeon droppings and 20 g of cow dung. A significant difference was noted between treatments.

The leaf area varied from 120.58 to 156.98 cm². The highest value was observed in plants treated with 40 g of pigeon droppings and the lowest was recorded in plants given 20 g of cow dung. There is a significant difference between the treatments ($P=0.60$). The number of flowers varied between 86.33 and 353 per plant. The plants having received 20 g of cow dung and 20 g of pigeon droppings (Tvf2) had a high number of flowers, i.e. 353 flowers per plant. On the other hand, those having received 20 g of pigeon droppings (Tf1) had a low number of flowers per plant, i.e. 86.33. Between the treatments at the probability threshold $P = 0.007$, the difference is significant. Regarding the number of capsules per plant, it varied between 71 and 142 capsules per plant. The greatest number of capsules per plant was noted in plants treated with 20 g of cow dung and 20 g of pigeon droppings (TVf2) or 142 capsules. The lowest number of capsules was found in plants having received 20 g of pigeon droppings (Tf1) or 71 capsules per plant. For this parameter we note a significant difference between the treatments ($P= 0.138$). The weight of capsules varied between 1.02 and 1.64 g, the largest capsule was recorded in the control (T0) and the smallest was noted in the plants treated with 10 g of cow dung and 10 g of pigeon droppings (TVf). The difference is significant between the treatments at the probability threshold $P = 0.398$ for the parameter.

Table 2. Phenological parameters

Pa	FF	P. a	T0	Tv1	Tf1	TVf	Tv2	Tf2	Tvf1	Tv3	Tf3	Tvf2
LF	2,06	0,66	18,92 ^{bc}	17,34 ^c	19,92 ^{bc}	18,49 ^{bc}	19,14 ^{bc}	20,73 ^{ab}	20,11 ^{ab}	19,28 ^{bc}	22,06 ^a	20,86 ^{ab}
IF	0,50	0,85	7,49 ^a	6,96 ^a	7,05 ^a	7,23 ^a	6,75 ^a	6,67 ^a	7,45 ^a	7,07 ^a	7,11 ^a	6,50 ^a
If/ LF	1,36	0,27	0,39 ^{ab}	0,40 ^a	0,35 ^{ab}	0,38 ^{ab}	0,35 ^{ab}	0,32 ^{ab}	0,37 ^{ab}	0,36 ^{ab}	0,32 ^{ab}	0,30 ^b
SF	0,81	0,60	142,92 ^{ab}	120,58 ^b	140,51 ^{ab}	133,70 ^{ab}	129,30 ^{ab}	139,98 ^{ab}	150,24 ^{ab}	135,57 ^{ab}	156,98 ^a	134,85 ^{ab}
Nfl/p	3,763	0,007	107,33 ^c	137,66 ^{bc}	86,33 ^c	89,33 ^c	105,33 ^c	172,33 ^{bc}	145,66 ^{bc}	258 ^{ab}	252 ^{ab}	353 ^a
Nc/p	1,771	0,138	77,66 ^c	83,66 ^{bc}	71 ^c	74 ^c	84 ^{bc}	96 ^{abc}	91,66 ^{abc}	116,33 ^{abc}	139 ^{ab}	142 ^a
PC	1,113	0,398	1,64 ^a	1,20 ^{ab}	1,22 ^{ab}	1,02 ^b	1,21 ^{ab}	1,09 ^b	1,10 ^b	1,13 ^b	1,34 ^{ab}	1,37 ^{ab}

Legend: the averages to which the different letters are assigned are significantly different; If: width of the sheet; LF: leaf length; IF/IF: width/length ratio of the sheet Pa: parameters; Nfl/p: number of flowers per plant; Nc/p: number of capsules per plant; PC: capsule weight; SF: leaf area; T0: Witness; TV1: 20 g of cow dung; Tf1: 20 g of pigeon droppings; TVf: 10 g of cow dung and 10 g of chicken droppings; TV2: 30 g of cow dung; Tf2: 30 g of pigeon droppings; TVf1: 15g of cow dung and 15g of pigeon droppings; TV3: 40 g of cow dung; Tf3: 40 g of pigeon droppings; Tvf2: 20 g of cow dung and 20 g of pigeon droppings.

3.2 AGRONOMIC PARAMETERS

Table 3 presents the results of the statistical analysis of agronomic parameters. From this table, we see that the parameters studied are significantly influenced by the different doses received. The dry matter of the capsule varied from 25.14 to 40.31%. The greatest material was noted in the plants treated with the combination of 15 g of cow dung and 15 g of pigeon droppings (Tvf1), i.e. 40.31% and the lowest was recorded in the control plants, or 25.14%, there is no significant difference between the treatments ($P = 0.975$). The weight of seeds per capsule varied from 0.14 to 0.55g. The highest weight of seeds per capsule was noted in the plants having received 20 g of cow dung and 20 g of pigeon droppings (Tvf2) i.e. 0.55 g and the smallest was noted in the control i.e. 0.14g. Between the treatments there is a significant difference. For the weight of 100 seeds, the values varied from 0.30 to 0.49 g. The highest weight of 100 seeds was noted in the plant having received 15 g of cow dung and 15 g of pigeon droppings (Tvf1), i.e. 0.49 g and the lowest was found in the control, i.e. 0.30 g. There is a significant difference between the treatments. Regarding the number of seeds per capsule, it varied between 140 and 342 seeds. The highest number of seeds was observed in the capsules from plants treated with 20 g of cow dung and 20 g of pigeon droppings (Tvf2) i.e. 342 seeds and the smallest was recorded in the control i.e. 140. Between the treatments there is a significant difference. The dry matter of aboveground biomass varied from 29.60 to 76.46%. The greatest material was noted in the plants having received a dose of 40 g of cow dung, i.e. 76.46%, and the lowest was observed in the plants treated with 10 g of cow dung and 10 g of cow droppings. Pigeon (Tvf) or 29.60%. There is no significant difference between the treatments for this parameter. The yield varied between 0.13 and 2.72 t/ha. The greatest yield was recorded in plants treated with 20 g of cow dung and 20 g of pigeon droppings (Tvf2) i.e. 2.72 t/ha and the smallest yield was observed in the control i.e. 0.13 t/ha. Between the treatments, there is a significant difference ($P = 0.11$). For the yield in grams per plant, it varied between 4.32 and 82.05 g per plant of sesame. The highest yield in grams per plant was noted in plants treated with 20 g of cow dung and 20 g of pigeon droppings (Tvf2) and the lowest was recorded in control plants (T0). Between the treatments there is a significant difference.

Table 3. Agronomic parameters

Pa	FF	P. a	T0	Tv1	Tf1	TVf	Tv2	Tf2	Tvf1	Tv3	Tf3	Tvf2
MSC	0,273	0,975	25,14 ^a	29,79 ^a	28,98 ^a	28,79 ^a	27,29 ^a	33,04 ^a	40,31 ^a	28,83 ^a	38,14 ^a	26,32 ^a
PG/C	1,792	0,133	0,14 ^c	0,26 ^{bc}	0,25 ^{bc}	0,25 ^{bc}	0,28 ^{bc}	0,30 ^{bc}	0,38 ^{abc}	0,36 ^{abc}	0,40 ^{ab}	0,55 ^a
P100	1,554	0,196	0,30 ^b	0,43 ^{ab}	0,38 ^{ab}	0,43 ^{ab}	0,40 ^{ab}	0,46 ^a	0,49 ^a	0,44 ^a	0,47 ^a	0,48 ^a
NG/c	1,761	0,140	149,33 ^b	176,33 ^b	204,33 ^b	172 ^b	217,33 ^b	196 ^b	225 ^{ab}	235,33 ^{ab}	251,66 ^{ab}	342 ^a
MSBA	2,101	0,080	39,53 ^{bc}	41,83 ^{abc}	46,03 ^{abc}	29,60 ^c	42,40 ^{abc}	68,96 ^{ab}	66,90 ^{ab}	76,46 ^a	65,60 ^{ab}	75,26 ^a
RndG/p	1,889	0,113	4,32 ^b	14,81 ^b	12,86 ^b	9,23 ^b	16,22 ^b	24,32 ^b	31,72 ^b	30,32 ^b	50,21 ^{ab}	82,05 ^a
Rndt/ha	1,872	0,117	0,13 ^b	0,48 ^b	0,42 ^b	0,30 ^b	0,53 ^b	0,82 ^b	1,04 ^b	0,96 ^b	1,66 ^{ab}	2,72 ^a

Legend: the means having assigned the different letters are significantly different; Pa: parameters; P. a: associated probability; FF: Fisher's F; MSC: capsule dry matter; NG/c: Number of seeds per capsule; PG/C: weight of grains per capsule; P100: weight of one hundred seeds; MSBA: aboveground biomass dry matter; RndG/p: yield in grams per plant; Rndt/ha: yield in tonnes per hectare; T0: control; Tv1: 20 g of cow dung; Tf1: 20 g of pigeon droppings; TVf: 10 g of cow dung and 10 g of chicken droppings; Tv2: 30 g of cow dung; Tf2: 30 g of pigeon droppings; Tvf1: 15g of cow dung and 15g of pigeon droppings; Tv3: 40 g of cow dung; Tf3: 40 g of pigeon droppings; Tvf2: 20 g of cow dung and 20 g of pigeon droppings.

4 DISCUSSIONS

The application of two types of organic fertilizers and their combination on sesame allowed us to evaluate the agro-phenological parameters. The results showed that the different doses of fertilizers applied significantly influenced the different parameters.

The length of the leaf was significantly influenced by the dose of fertilizer applied to the plants. This is why the plants that received 40 g of pigeon droppings had longer leaves compared to the others. This could be explained by the fact that the addition of pigeon droppings would have provided major elements for the growth of the plant and which would have favored the development of the leaf lengthwise. This result is similar to that of [5] obtained on pineapple in Benin. These authors, using increasing doses of cow dung, human urine and their combination, obtained a fairly significant growth rate in leaf length. On the other hand, the width of the leaves was not significantly influenced by the dose of fertilizer applied. Which means that, whatever the dose of manure added, the width of the leaves does not change. While [6] using the combination of fertilizer and compost on sesame found sesame plants with broad leaves. This difference may be linked to the culture environment. Furthermore, the leaf surface area was greater in plants which also received 40 g of pigeon droppings. The pigeon droppings provided enough nitrogen to the soil, promoting its absorption by the plant, thus increasing its vegetative and foliar growth. This illustrates the good growth of sesame. This result is in agreement with that obtained by [7] on okra. These authors using chicken droppings, sawdust and mineral fertilizer found different results. But compared to the other treatments and the control, chicken droppings provided the largest leaf surface area. They concluded that this important result obtained with chicken droppings would be due to the continuous mineralization as well as the continuous release of nutrients to the plant during its life cycle. The addition of organic matter improves the penetration of roots into the soil, the circulation of air and water in the soil as well as the formation and maintenance of the clay-humic complex [8].

However, an observation made, the plants having received as treatment the dose of the combination of 20 g of cow dung and 20 g of pigeon droppings (Tvf2) had an early floral initiation. This shows that this combination is useful for flowering. It would have provided necessary elements that could help accelerate the floral initiation process. Similar results were obtained by [9] on eggplant. These authors, using chicken droppings combined with potash from banana peels, found that flowering in eggplant was induced early. [6] also noticed early flowering in sesame by the application of compost and combined fertilizer. Poultry manure has significant agronomic value; 60 to 90% of the nitrogen found there is in mineral form and therefore directly available to the plant [10]. Nitrogen would play an important role in increasing leaf index and production as well as photosynthetic activity [9].

In addition, studies carried out by [11] have shown that the use of dry cow dung as fertilizer provides an amendment of nutrients to the plant and humus. The high number of flowers observed in plants having received the combination of cow dung and pigeon droppings attests to the significant presence of combined phosphorus and nitrogen. However, phosphorus is a major element necessary for fruit production. Our results are also in perfect agreement with those obtained by [12] on pepper in the DRC. These authors also found a high number of flowers when they applied the large dose of chicken droppings. Chicken droppings promoted flower production. A positive correlation was noted between the number of flowers and the number of capsules. The increase in the number of flowers significantly increases the number of capsules per plant. Which shows that a high dose of combination of organic fertilizers can lead to good fruiting. Similar results were obtained by [13] on lettuce. This author, by applying high doses of cow dung (30t/ha and 40t/ha) to lettuce, obtains significant leaf production per plant.

The average number of capsules varied depending on the dose applied. Thus the highest values were observed with the Tvf2 treatments (combination of 20 g of pigeon droppings and cow dung). These results are consistent with those obtained by [14] on okra in Ivory Coast. The author, by combining cow dung and peanut tops, obtained an average number of fruits estimated at 313.20 fruits per block, higher than the value obtained by the two fertilizers taken separately. Similar results were also obtained by [15] on tomatoes grown in Kolwezi in the DRC. These authors, using varying doses of compost, found that the number of fruits increases significantly with the increase in the dose given to the plants. This situation is explained by the fact that the quantity of fertilizing elements such as phosphorus provided by the compost is significant. In this specific case, the pigeon droppings used in the combination would also have provided such a large quantity of phosphorus which could influence the fruiting process. According to [16], phosphorus is an important element for fruit production. The richness of this element (Phosphorus) is recognized in poultry droppings.

For the weight of the capsules, the values obtained differ from the results obtained by [17] on zucchini. This author obtained fruits of 0.39 kg with chicken dropping compost compared to 0.2 kg for the control. In this case, the capsules from the control treatment have a heavier weight than those from the other treatments. This would explain the effect of the fertilizer dose on the weight of the capsules. The higher the dose of organic fertilizer, the more the weight of the sesame decreases. Seed yields varied depending on the doses and nature of the fertilizers. Among the fertilizers used, the 40 g of manure treatment (Tvf2) gave a very high seed yield with a very significant aerial biomass. Indeed, a correlation has been established between yield and dry matter of aboveground biomass. The greater the dry matter of the aboveground biomass, the higher the yield. This would explain a strong photosynthetic activity favoring significant organic matter. The plants resulting from the treatment based on 40 g of manure (20 g of cow dung and 20 g of pigeon droppings) presented significant vegetative development and a high useful yield compared to the others. The presence of pigeon droppings is indicative. According to [18], poultry droppings have a positive influence on plant yield. The yield is thus a function of the application dose of fertilizers. [19] working on Voadzou also showed that the application of chicken droppings and cow dung significantly increased production.

But contrary results were obtained by [20] on corn in Ivory Coast. These authors, by combining 70 g of cow dung and 70 g of sawdust, obtained production values lower than those obtained by dung and sawdust taken separately. This noted difference may be due to the type of soil and the environmental conditions in which the experiment was carried out. Our results are similar to those obtained by [21] on corn and cotton. This author, by studying the effect of combining compost and mineral manure in corn cultivation, obtained yields ranging from 950 to 1709 kg per hectare. Our results are also in agreement with those obtained by [22] on okra grown in Senegal. These showed that the application of the combination of cow dung and peanut hulls significantly increased okra production. The associative fertilization of the two fertilizers at high doses, however, prevented the deficiency of phosphorus, nitrogen and potassium on sesame, the content of these elements was reinforced. Taking these treatments separately, we see that the highest doses gave satisfactory results, their combination still gave very appreciable results. Which demonstrates the effectiveness of cow dung and pigeon droppings as an organic input. Thus the provision of a dose of 20g of pigeon droppings and 20g of cow dung would improve the quality of sesame yield, and it would constitute an optimal value for sesame production.

5 CONCLUSIONS

The agro-phenological parameters of sesame (*Sesamum indicum* L.) subjected to different organic treatments were evaluated. Statistical analyzes proved that plants having received 20 g of cow dung and 20 g of pigeon droppings combined (Tvf2) gave better performances in terms of number of flowers and capsules per plant, number of seeds per capsule, weight of seeds per capsule, yields in grams per plant and tonne per hectare compared to others. Pigeon droppings combined with cow dung seem to be a very good

combination and can be used as an organic fertilizer for local producers. In any case, pigeon droppings could be used to complement the effect of cow dung, due to the valorization of organic waste and the sustainable and rapid fertilization of the soil. Therefore, the idea that fertilization with pigeon droppings and cow dung increases yield is confirmed.

ACKNOWLEDGMENT

We thank the Superior Normal School of Bongor for its financial support.

CONFLICT OF INTEREST

There is no conflict of interest between the authors.

REFERENCES

- [1] Saha R, Dinar A.M, Nabila K.A, Roy P., 2014. Analysis and cell surface receptor binding activities of the crude aqueous and methanolic extract of *Sesamum indicum*. J. Too much. Biomed, 4 (1): 516-520.
- [2] FAO., 2009. The state of world food and agriculture, Roma; Italy, 180 p.
- [3] FAOSTAT., 2017. Food and Agriculture Organization Statistics of the United Nations. Roma, Italy. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx>. Page ID=567.
- [4] Djinet I.A., 2016. Eco-physiological study of ten (10) varieties of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.). Cultivated in Chad and Burkina Faso. Doctoral thesis, Ouaga I University Pr. Joseph KI-ZERBO, Burkina Faso, 124 p.
- [5] Kpéra A, Gandonou C.B, Aboh B.A, Gandaho S, Gnancadja S.L., 2017. Effect of different doses of cow dung, human urine and their combination on the vegetative growth and fruit weight of pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr.) in South Benin. *Journal of Applied Biosciences*.110: 10761-10775.
- [6] Mbaïkar K, Mancharou M.M.S, Dongock N.D, Noubissie T.J.B., 2023. Influence of technical itineraries on the phenology, fruit and grain yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) in the Sudanian zone of Chad. *Universal Journal of Life and Environmental Sciences*. 5 (1): 1-16.
- [7] Kouame N, Beugré M.M, Kouassi N.J, Yatty K. J., 2021. Response to organic and mineral fertilization of two varieties of okra (*abelmoschus esculentus* (L.) Moench, malvaceae) in daloa, ivory coast. *Int. J. Adv. Res.* 9 (06), 51-60.
- [8] Sissoko D, Coulibaly N, Doumbia M, Kéita S., 2009. Economic analysis of the corn fertilization trial using poultry droppings in the peri-urban area of the Bamako District. *Les Cahiers de l'Economie Rurale*; 7: 2-10.
- [9] Alla K.T, Bomisso E.L, Ouattara G, Dick A.E., 2018. Effects of fertilization based on plantain peel by-products on the agromorphological parameters of the F1 Kalenda eggplant variety (*Solanum melongena*) in the locality of Bingerville in Ivory Coast. *Journal of Animal & Plant Sciences*. 38 (3): 6292-6306.
- [10] Shankara N, Van Lidt de Jeude J, De Goffau M, Hilmi M, Van Dam B., 2005. Tomato cultivation production, processing and marketing Agrodok 17, © Agromisa Foundation and CTA, Wageningen, 105p.
- [11] Christophe J., 2016. Cow dung: history, importance and ecosystem. Thesis for the veterinary doctorate, University of Toulouse, 82 p.
- [12] Ngoyi N.A, Masanga K.G, Mukendi T.R, Mualukie M. A and Ngoy N. D., 2020. Influence of the supply of organic matter on the cultivation of pepper (*Capsicum annum* L.) Cultivated on sandy soil in Kabinda, Lomami province, in the Democratic Republic of Congo. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 29 (3): 613-618.
- [13] Tchabi V.I, Azocli D and Biaou G.D, 2012. Effect of different doses of cow dung on the yield of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in Tchatchou in Benin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6 (6): 5078-5084.
- [14] Amadou D, 2019. Diagnosis of use practices and quantification of pesticides in the Niages area of Dakar (Senegal). Doctoral Thesis; University of Littoral Côte d'Opale; 2013, 241 p.
- [15] Kitabala M.A, Kalenda M.A, Tshijika I.M, Mufind K.M., 2016. Effects of different doses of compost on the production and profitability of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) in the town of Kolwezi, Lualaba Province (DR Congo). *Journal of Applied Biosciences*; 102: 9669 – 9679.
- [16] FAO., 2000. Fertilizers and their use – A pocket guide for extension officers. Fourth edition. FAO, Rome, 34p.
- [17] Benjamin J., 2019. Effect of three types of composts and chemical fertilizers on the growth and yield of zucchini (*Cucurbita Pepo* L.) in basalt and limestone soils in the commune of Kenscoff, Haiti. Master's thesis Gembloux, University of Liège, Liège Belgium,; 63 p.
- [18] Akanza K.P, 2015. Effects of manuring on ferrallite, yield components and diagnosis of soil deficiencies under cassava cultivation on ferral soils in Ivory Coast. *Science of life, earth and agronomy. Rev; CAMES* (1).
- [19] Kouakou K., 2019. Effect of poultry litter and cattle manure on some growth parameters of voandzou (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.). Master's Thesis, University of Abobo-Adjamé, Natural Sciences Training and Research Unit, Abidjan (Ivory Coast), 21 p.

- [20] Bakayoko S, Abobi A.H, Konaté Z, Touré N.U., 2019. Comparative effect of dried cattle dung and sawdust on growth and yield of corn (*Zea mays* L.). *African Agronomy* 8, AGRIEDAYS.
- [21] Koulibaly B, Dakao D, Ouattara A, Traoré O, Lompo F, Zombre P.N.A, kouame A.Y., 2015 Effect of the combination of compost and mineral manure on the productivity of a cultivation system based on cotton and corn in Burkina Faso. *TROPICULTURA* 33 (2): 125-134.
- [22] Tidiane P.A.B.S., Siré D., Arfang O.K.G, Mariama D.D, Ibrahima N., 2019. Influence of fertilization based on cow dung and peanut tops as well as their combination on the growth and production of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) in southern Senegal. *African Journal of Environment and Agriculture*, 2 (3), 31-36.

Etat actuel des connaissances sur les vertus et usages de quelques plantes médicinales au Niger: Synthèse bibliographique

[Current state of knowledge on the virtues and uses of some medicinal plants in Niger: Bibliographical summary]

Yahaya Saïdou Abdoul Aziz¹, Douma Soumana¹, Mamadou Aïssa Jazy², Ali Mariame¹, Inoussa Maman Maârouhi¹, and Mahamane Ali¹

¹Département de Biologie, Faculté des Sciences et Techniques, Laboratoire de Gestion et Valorisation de la Biodiversité au Sahel, Université Abdou Moumouni, BP 10662 Niamey, Niger

²Département de Pharmacie, Faculté des Sciences de la Santé, Laboratoire de Botanique-Cryptogamie, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger

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

ABSTRACT: The use of plants by local people for health care has long been observed. This practice still persists in different communities. This study presents a bibliographic summary highlighting the knowledge of plants used in traditional pharmacopoeia in Niger. Analysis of the scientific literature, such as articles, dissertations and theses from the Google Scholar and PubMed search engines, as well as grey literature, revealed a number of items of information. A total of 315 medicinal species, including 8 fungi, were identified, divided into 220 genera and 88 families. The Papilionaceae, Poaceae and Caesalpiniaceae, with 30, 18 and 16 species respectively, are the best represented families. Leaves (28.89%) and bark (18.33%) are the most commonly used plant parts. The predominant methods of preparation are decoction (37%), maceration (23%) and powder (13%), while the oral route (44.87%) is the main method of administering plant-based remedies. Recipes are mainly administered 3 times a day (52.34%) and the predominant duration of treatment is one day (26%). Analysis of the scientific data available on medicinal plants in Niger suggests that further research is needed to gain a better understanding of the practices and uses of plants in traditional medicine.

KEYWORDS: medicinal plants, ethnobotany, methods of use, remedies, dosage, Niger.

RESUME: L'utilisation des plantes par les populations, pour leurs soins de santé, a été longtemps observée. Cette pratique persiste toujours dans les différentes communautés. Ce travail expose la synthèse bibliographique qui met en exergue les connaissances sur les plantes utilisées dans la pharmacopée traditionnelle au Niger. L'analyse de la documentation scientifique tels que des articles, des mémoires et des thèses issus des moteurs de recherches Google Scholar et PubMed, mais aussi de la littérature grise a permis de faire ressortir plusieurs informations. Au total, 315 espèces médicinales, dont 8 champignons, réparties dans 220 genres et 88 familles ont été recensées. Les Papilionaceae, les Poaceae et les Caesalpiniaceae, avec respectivement, 30, 18 et 16 espèces, sont les familles les mieux représentées. Les feuilles (28,89%) et l'écorce avec 18,33%, sont les parties de plante les plus utilisées. Les modes de préparation qui prédominent sont la décoction (37%), la macération (23%) et la poudre avec 13%, tandis que la voie orale (44,87%) constitue le principal mode d'administration des remèdes à base d'espèces végétales. La fréquence d'administration des recettes se fait principalement 3 fois par jours (52,34%) et la durée de traitements qui prédomine est d'une journée avec 26%. L'analyse des données scientifiques disponibles sur les plantes médicinales au Niger, laisse envisager d'autres axes de recherches pour une meilleure connaissance des pratiques et usages des plantes en médecine traditionnelle.

MOTS-CLEFS: plantes médicinales, ethnobotanique, modes d'utilisation, remèdes, posologie, Niger.

1 INTRODUCTION

L'Homme, par son ingéniosité, a toujours fait usage des ressources naturelles particulièrement les végétaux pour ses soins de santé quotidien. C'est ainsi qu'on constate, partout dans le monde, que la pratique phyto-thérapeutique est présente bien que son intensité varie d'un milieu à un autre [1]. Dans les pays en voie de développement, la médecine traditionnelle est fortement appliquée par les différentes populations car n'ayant pas accès facilement et en quantité suffisante aux produits pharmaceutiques [2]. En Afrique de l'ouest, des pays comme le Niger, le Mali, le Burkina Faso, le Nigéria ou le Bénin utilisent considérablement les plantes médicinales à des fins préventives et curatives [3]. Ces plantes leurs sont abordables financièrement et leurs sont proximales. La flore africaine en général dispose d'une diversité importante de plantes à caractère médicinale [4]. Au Niger, beaucoup de résultats issus des différentes investigations dans le domaine de la pharmacopée traditionnelle, vulgarisés par plusieurs chercheurs, mentionnent l'usage local et divers de certaines espèces végétales dans le traitement de nombreuses maladies. En effet, dans l'optique de mettre en place un système sanitaire répondant à nos réalités, c'est-à-dire accessible à toutes les couches de la population, qu'elle soit rurale ou urbaine et surtout à moindre coût, les chercheurs multiplient les investigations sur la médecine traditionnelle [5]. De ce fait, la capitalisation d'informations obtenues sur les espèces végétales ainsi que leurs usages thérapeutiques serviront de recueil pour les populations. Les premières publications faites sur les plantes médicinales du Niger sont celles de [6], [7] et [8]. Par la suite, d'amples informations liées aux connaissances et pratiques phyto-thérapeutiques ont été apportées par [9], [10], [11], [12], [13], [14] et [15], dans différentes localités du Niger. Il s'agit de l'identité des espèces avec leurs noms scientifiques et vernaculaires, de leurs parties utilisées, des différents modes de préparation et d'administration des remèdes phyto-thérapeutique, mais aussi du nombre de prises journalières et de la durée de traitements.

Afin de mieux faire connaître les pratiques médicinales traditionnelles faites à base des plantes et de pouvoir les valorisées, il est nécessaire de disposer d'un bon manuel scientifique descriptif, qui va orienter les populations au sujet de la pharmacopée traditionnelle pour un usage rationnel.

Cette étude a pour objectif de réaliser une revue des données scientifiques disponibles sur les plantes médicinales au Niger. La présente approche vise ainsi à mieux appréhender les connaissances thérapeutiques faites à base d'espèces végétales sur le territoire Nigérien.

2 METHODOLOGIE

2.1 PROCEDURE DE LA RECHERCHE

Tout d'abord, les moteurs de recherches « Google Scholar » et « PubMed » ont été interrogés sur les plantes médicinales utilisées au Niger. L'interrogation s'est faite en français tout comme en anglais, avec comme mots clés: « Plantes médicinales, Ethnobotanique, Niger »; « Medicinal plants, Ethnobotanic, Niger ». Ce qui a permis d'identifier des références électroniques pertinentes dont les fichiers ont été collectés. Ces derniers ont par la suite été associés à la documentation judicieuse triée dans les bibliothèques de la faculté des Sciences et Techniques, de la faculté d'Agronomie et de la faculté des Sciences de la Santé de l'Université Abdou Moumouni de Niamey. Après une lecture intégrale tenant compte de l'éligibilité du document, il convient par la suite à inclure ou à exclure l'étude.

2.2 ELIGIBILITE DES ETUDES

Comme critères d'éligibilité dans la présente revue:

- ✓ l'étude réalisée au Niger, traite de plantes médicinales ou d'ethno-pharmacopée;
- ✓ l'étude fait cas de l'usage de plantes médicinales seules ou par associations d'éléments minéral ou animal;
- ✓ les noms scientifiques des plantes médicinales sont déterminés;
- ✓ les modes de préparation et d'administration des recettes phyto-thérapeutiques sont précisés;

2.3 SELECTION DES ETUDES

Seules les études répondants pertinemment aux critères d'éligibilité ont été incluses dans cette revue après une lecture intégrale. Ainsi, les études collectées plusieurs fois ont été exclues, tout comme celles ne présentant que les titres. De plus, les études faites sur le criblage phytochimique des plantes médicinales ou qui mentionnent uniquement les noms de la flore médicinale ont été exclues, pareillement à celles faisant cas uniquement des noms de plantes médicinales et de leurs parties

utilisées. Les études qui manquent de données précises sur le mode d'administration de recettes phyto-thérapeutiques ont été aussi exclues.

2.4 EXTRACTION DES DONNEES

Les données extraites suite à l'inclusion d'une étude, portent sur les noms scientifiques des espèces, les différents modes d'utilisation des recettes, les différentes parties de plante utilisées, les maladies traitées et les localités d'études. Aussi, les informations sur les noms d'auteurs, les titres d'études, les types d'études, les années des publications ou des soutenances d'études, ont été recueillies. Cependant, les noms des plantes mal orthographiés ont été rectifiés grâce à Basic List. Les espèces notées "sp" ont été incluses, mais comptées que si seulement aucune espèce du même genre n'a été enregistrée.

2.5 TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNEES

Les informations obtenues et extraites ont été saisies dans le tableur Excel version 2016 afin de ressortir des figures et tableau. A cet effet, la formule de la fréquence de citation a été utilisée:

$$FC = \frac{\text{Nombre de citations}}{\text{Nombre total de références}} \times 100$$

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 RESULTATS

3.1.1 RECHERCHE DE LA LITTERATURE ET ELIGIBILITE DES ETUDES

Cette investigation a permis de trouver 119 études, dont 106 ont été téléchargées suite à l'insertion des mots clés dans les moteurs de recherches et 13 issues de la littérature grise. Les doublons électroniques au nombre de 3 ont été retrouvés et exclus. Les études qui présentent seulement des titres au nombre de 7 ont été retirées, tout comme celles qui portent sur le criblage phytochimique de plantes médicinales (46) et celles qui mentionnent uniquement les noms de plantes médicinales et leurs parties utilisées (21). De plus, 5 références ont été exclues car elles mentionnent uniquement les noms de la flore médicinale. Les Références exclues par manque de données précises sur le mode d'administration de recettes phyto-thérapeutiques sont au nombre de 20. A la fin, seules 17 études dont 9 articles, 5 mémoires et 3 thèses ont été retenues.

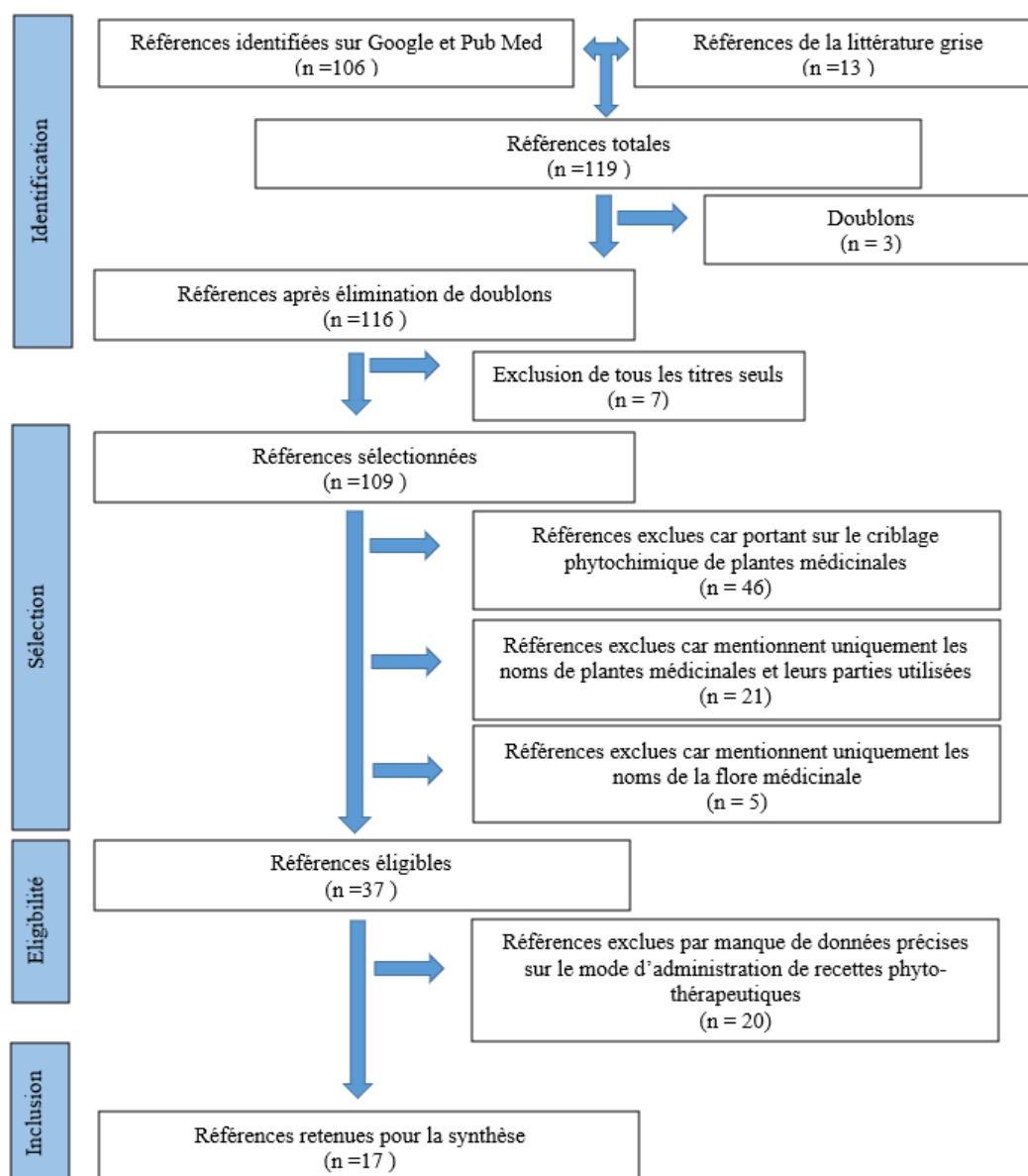


Fig. 1. Diagramme de sélection des études éligibles

3.1.2 FAMILLES ET RICHESSE FLORISTIQUE MEDICINALE

Il a été recensé 315 espèces entrant dans la pharmacopée traditionnelle Nigérienne, dont 8 champignons, repartis en 220 genres et 88 familles. Les familles les mieux représentées en nombre d'espèces sont les Papilionaceae avec 30 espèces, les Poaceae avec 18 espèces, les Caesalpiniaceae et les Mimosaceae avec 16 espèces chacune, puis les Euphorbiaceae avec 14 espèces. Les familles comme celles des Araceae, des Ebenaceae, des Nymphaeaceae, des Rosaceae, des Zygophyllaceae sont faiblement représentées.

Tableau 1. Répartition des espèces par familles botaniques répertoriées

Famille	Genres	Espèces
Acanthaceae	3	(1) <i>Blepharis linariifolia</i> Pers., (2) <i>Blepharis maderaspatensis</i> (L.) Heyne ex Roth, (3) <i>Hygrophila senegalensis</i> (Nees) T.Anderson, (4) <i>Lepidagathis anobrya</i> Nees
Agaricaceae	1	(1) <i>Podaxis aff. termitophilus</i> Jum. & H. Perrier, (2) <i>Podaxis pistillaris</i> (L.) Fr.
Aizoaceae	2	(1) <i>Limeum pterocarpum</i> (Gay) Heimerl, (2) <i>Mollugo nudicaulis</i> Lam.,
Alliaceae	1	(1) <i>Allium cepa</i> L., (2) <i>Allium sativum</i> L.
Amaranthaceae	5	(1) <i>Achyranthes aspera</i> L., (2) <i>Aerva javanica</i> (Burm.f.) Juss. ex Schult., (3) <i>Amaranthus spinosus</i> L., (4) <i>Celosia trigyna</i> L, (5) <i>Pupalia lappacea</i> (L.) A.Juss.
Amaryllidaceae	1	(1) <i>Crinum ornatum</i> (L.f. ex Aiton) Bury
Anacardiaceae	4	(1) <i>Lannea acida</i> A. Rich., (2) <i>Lannea microcarpa</i> Engl. & K. Krause, (3) <i>Mangifera indica</i> L., (4) <i>Ozoroa insignis</i> Delile, (5) <i>Sclerocarya birrea</i> (A.Rich.) Hochst.
Annonaceae	1	(1) <i>Annona senegalensis</i> Pers.
Apiaceae	1	(1) <i>Petroselinum crispum</i> (Mill.) Fuss
Araceae	1	(1) <i>Pistia stratiotes</i> L.
Arecaceae	4	(1) <i>Borassus aethiopicum</i> Mart., (2) <i>Cocos nucifera</i> L., (3) <i>Hyphaene thebaica</i> (L.) Mart., (4) <i>Phoenix dactylifera</i> L.
Aristolochiaceae	1	(1) <i>Aristolochia bracteolata</i> Lam.
Asclepiadaceae	8	(1) <i>Calotropis procera</i> (Aiton) R.Br., (2) <i>Caralluma adscendens</i> (Roxb.) R.Br., (3) <i>Ceropegia aristolochioides</i> Decne., (4) <i>Glossonema boveanum</i> (Decne.) Decne., (5) <i>Leptadenia hastata</i> (Pers.) Decne., (6) <i>Leptadenia pyrotechnica</i> (Forssk.) Decne., (7) <i>Pergularia daemia</i> (Forssk.) Chiov., (8) <i>Pergularia tomentosa</i> L., (9) <i>Solenostemma argel</i> (Delile) Hayne, (10) <i>Tacazzea apiculata</i> Oliv.
Asparagaceae	2	(1) <i>Asparagus africanus</i> Lam., (2) <i>Asparagus flagellaris</i> (Kunth) Baker, (3) <i>Dipcadi taccazeanum</i> Hochst ex A. Rich
Asphodelaceae	1	(1) <i>Aloe vera</i> (L.) Burm.f.
Asteraceae	7	(1) <i>Acanthospermum hispidum</i> DC., (2) <i>Artemisia judaica</i> L., <i>Artemisia</i> sp, (3) <i>Blumea viscosa</i> (Mill.) Badillo, (4) <i>Centaurea perrottetii</i> DC., (5) <i>Dicoma tomentosa</i> Cass., (6) <i>Sonchus chevalieri</i> (O. Hoffm & Muschl.) Dandy, (7) <i>Vernonia amygdalina</i> Delile, <i>Vernonia</i> sp
Balanitaceae	1	(1) <i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Delile
Bignoniaceae	2	(1) <i>Kigelia africana</i> (Lam.) Benth., (2) <i>Stereospermum kunthianum</i> Cham.
Bombacaceae	3	(1) <i>Adansonia digitata</i> L., (2) <i>Bombax costatum</i> Pellegr. & Vuillet, (3) <i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.
Boraginaceae	1	(1) <i>Heliotropium ovalifolium</i> Forssk.
Brassicaceae	1	(1) <i>Lepidium sativum</i> L.
Bromeliaceae	1	(1) <i>Ananas comosus</i> (L.) Merr.
Burseraceae	2	(1) <i>Boswellia dalzielii</i> Hutch., (2) <i>Commiphora africana</i> (A.Rich.) Engl., <i>Commiphora</i> sp
Caesalpiniaceae	9	(1) <i>Afzelia africana</i> Sm. ex Pers., (2) <i>Bauhinia rufescens</i> Lam., (3) <i>Cassia sieberiana</i> DC., (4) <i>Chamaecrista mimosoides</i> (L.) Greene, (5) <i>Chamaecrista nigricans</i> (Vahl) Greene, (6) <i>Detarium microcarpum</i> Guill. & Perr., (7) <i>Detarium senegalense</i> J.F.Gmel., (8) <i>Isobertinia doka</i> Craib & Stapf, (9) <i>Piliostigma reticulatum</i> (DC.) Hochst., (10) <i>Senna italica</i> Mill., (11) <i>Senna obtusifolia</i> (L.) Irwin & Barneby, (12) <i>Senna occidentalis</i> (L.) Link, (13) <i>Senna siamea</i> (Lam.) Irwin & Barneby, (14) <i>Senna singueana</i> (Delile) Lock, (15) <i>Senna tora</i> (L.) Roxb., (16) <i>Tamarindus indica</i> L.
Capparaceae	5	(1) <i>Boscia angustifolia</i> A. Rich., (2) <i>Boscia salicifolia</i> Oliv., (3) <i>Boscia senegalensis</i> (Pers.) Lam. ex Poir., (4) <i>Cadaba farinosa</i> Forssk., (5) <i>Cadaba glandulosa</i> Forssk., (6) <i>Capparis</i> sp, (7) <i>Cleome brachycarpa</i> Vahl ex DC., (8) <i>Cleome gynandra</i> L., (9) <i>Maerua angolensis</i> DC., (10) <i>Maerua crassifolia</i> Forssk.

Caricaceae	1	(1) <i>Carica papaya</i> L.
Caryophyllaceae	1	(1) <i>Polycarpha eriantha</i> Hochst., (2) <i>Polycarpha linearifolia</i> (DC.) DC.
Celastraceae	1	(1) <i>Maytenus senegalensis</i> (Lam.) Exell
Chrysobalanaceae	2	(1) <i>Neocarya macrophylla</i> (Sabine) Prance, (2) <i>Parinari curatellifolia</i> Planch. ex Benth.
Clusiaceae	1	(1) <i>Garcinia kola</i> Heckel
Cochlospermaceae	1	(1) <i>Cochlospermum planchonii</i> Hook.f., (2) <i>Cochlospermum tinctorium</i> Perr. ex A.Rich.
Combretaceae	5	(1) <i>Anogeissus leiocarpa</i> (DC.) Guill. & Perr., (2) <i>Combretum aculeatum</i> Vent., (3) <i>Combretum glutinosum</i> Perr., (4) <i>Combretum micranthum</i> G. Don, (5) <i>Combretum nigricans</i> Lepr. ex Guill. & Perr., (6) <i>Combretum paniculatum</i> Vent., (7) <i>Guiera senegalensis</i> J.F.Gmel., (8) <i>Pteleopsis suberosa</i> Engl. & Diels, (9) <i>Terminalia avicennioides</i> Guill. & Perr., (10) <i>Terminalia mantaly</i> H.Perrier
Commelinaceae	1	(1) <i>Commelina forskaolaei</i> Vahl
Convolvulaceae	3	(1) <i>Evolvulus alsinoides</i> (L.) L., (2) <i>Ipomoea aquatica</i> Forssk., (3) <i>Ipomoea asarifolia</i> (Desr.) Roem. & Schult., (4) <i>Ipomoea coscinosperma</i> Hochst. ex Choisy, (5) <i>Ipomoea dichroa</i> Hochst. ex Choisy, (6) <i>Merremia pinnata</i> (Choisy) Hallier f., (7) <i>Merremia tridentata</i> (L.) Hallier f.
Cucurbitaceae	6	(1) <i>Citrullus colocynthis</i> (L.) Schrad., (2) <i>Citrullus lanatus</i> (Thunb.) Matsum. & Nakai, (3) <i>Cucumis ficifolius</i> A.Rich., (4) <i>Cucumis melo</i> L., (5) <i>Cucumis metuliferus</i> Naudin, (6) <i>Cucumis prophetarum</i> L., (7) <i>Cucurbita pepo</i> L., (8) <i>Lagenaria siceraria</i> (Molina) Standl., (9) <i>Luffa cylindrica</i> (L.) M.Roem., (10) <i>Momordica balsamina</i> L., (11) <i>Momordica charantia</i> L.
Cyperaceae	1	(1) <i>Cyperus alopecuroides</i> Rottb., (2) <i>Cyperus esculentus</i> L.
Dracaenaceae	1	(1) <i>Sansevieria liberica</i> Gérôme & Labroy
Ebenaceae	1	(1) <i>Diospyros mespiliformis</i> Hochst ex A. DC.
Elatinaceae	1	(1) <i>Bergia suffruticosa</i> (Delarbre) Fenzl
Euphorbiaceae	9	(1) <i>Chrozophora brocchiana</i> Vis, (2) <i>Chrozophora senegalensis</i> (Lam.) A.Juss. ex Spreng., (3) <i>Croton gratissimus</i> Burch, (4) <i>Dalechampia scandens</i> L., (5) <i>Euphorbia balsamifera</i> Ait, (6) <i>Euphorbia forskalii</i> J.Gay, (7) <i>Euphorbia hirta</i> L., (8) <i>Euphorbia sudanica</i> A.Chev., (9) <i>Flueggea virosa</i> (Roxb. ex Willd.) Voigt, (10) <i>Jatropha curcas</i> L., (11) <i>Manihot esculenta</i> Crantz, (12) <i>Phyllanthus pentandrus</i> Schumach. & Thonn., (13) <i>Phyllanthus reticulatus</i> Poir., (14) <i>Ricinus communis</i> L.
Flacourtiaceae	1	(1) <i>Oncoba spinosa</i> Forssk.
Ganodermataceae	1	(1) <i>Ganoderma applanatum</i> (Pers.) Pat., (2) <i>Ganoderma colossus</i> (Fr.) C.F. Baker, (3) <i>Ganoderma lucidum</i> (Curtis) P. Karst.
Hippocrateaceae	1	(1) <i>Loeseneriella africana</i> (Willd.) R.Wilczek ex N.Hallé
Hymenochaetaceae	2	(1) <i>Inonotus cf. ochroporus</i> (Van der Byl) Pegler, (2) <i>Phellinus aff. merrillii</i> (Murrill) Ryvarden, (3) <i>Phellinus allardii</i> (Bres.) S. Ahmad
Lamiaceae	3	(1) <i>Hyptis spicigera</i> Lam., (2) <i>Mentha X piperita</i> L., (3) <i>Ocimum americanum</i> L., (4) <i>Ocimum basilicum</i> L., (5) <i>Ocimum gratissimum</i> L.
Lauraceae	1	(1) <i>Persea americana</i> Mill.
Loganiaceae	1	(1) <i>Strychnos innocua</i> Delile, (2) <i>Strychnos spinosa</i> Lam.
Loranthaceae	1	(1) <i>Tapinanthus globiferus</i> (A.Rich.) Tiegh.
Lythraceae	1	(1) <i>Lawsonia inermis</i> L.
Malvaceae	6	(1) <i>Abelmoschus esculentus</i> (L.) Moench, (2) <i>Abutilon pannosum</i> (G.Forst.) Schltld., (3) <i>Gossypium barbadense</i> L., (4) <i>Gossypium herbaceum</i> L., (5) <i>Gossypium hirsutum</i> L., (6) <i>Hibiscus sabdariffa</i> L., (7) <i>Pavonia senegalensis</i> (Cav.) Leistner, (8) <i>Sida cordifolia</i> L., (9) <i>Sida ovata</i> Forssk.
Meliaceae	3	(1) <i>Azadirachta indica</i> A. Juss., (2) <i>Khaya senegalensis</i> (Desr.) A. Juss., (3) <i>Pseudocedrela kotschy</i> (Schweinf.) Harms
Menispermaceae	1	(1) <i>Chasmanthera dependens</i> Hochst.

Mimosaceae	9	(1) <i>Acacia ehrenbergiana</i> Hayne, (2) <i>Acacia erythrocalyx</i> Brenan, (3) <i>Acacia macrostachya</i> Rchb. ex DC., (4) <i>Acacia nilotica</i> (L.) Willd. ex Delile, (5) <i>Acacia Senegal</i> (L.) Willd., (6) <i>Acacia seyal</i> Delile, (7) <i>Acacia tortilis</i> (Forssk.) Hayne, (8) <i>Albizia chevalieri</i> Harms, (9) <i>Amblygonocarpus andongensis</i> (Welw. ex Oliv.) Exell & Torre, (10) <i>Dichrostachys cinerea</i> (L.) Wight & Arn., (11) <i>Entada africana</i> Guill. & Perr., (12) <i>Faidherbia albida</i> (Delile) A. Chev., (13) <i>Neptunia oleracea</i> Lour., (14) <i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) R.Br. ex G.Don, (15) <i>Prosopis africana</i> (Guill. & Perr.) Taub., (16) <i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.
Moraceae	1	(1) <i>Ficus carica</i> L., (2) <i>Ficus ingens</i> (Miq.) Miq., (3) <i>Ficus platyphylla</i> Delile, (4) <i>Ficus polita</i> Vahl, <i>Ficus</i> sp., (5) <i>Ficus sycomorus</i> L., (6) <i>Ficus thonningii</i> Blume
Moringaceae	1	(1) <i>Moringa oleifera</i> Lam.
Musaceae	1	(1) <i>Musa paradisiaca</i> L.
Myrtaceae	3	(1) <i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh., (2) <i>Eucalyptus globulus</i> Labill., (3) <i>Psidium guajava</i> L., (4) <i>Syzygium aromaticum</i> (L.) Merr. & L.M.Perry
Nymphaeaceae	1	(1) <i>Nymphaea lotus</i> L.
Olacaceae	1	(1) <i>Ximenia americana</i> L.
Oleaceae	1	(1) <i>Olea europaea</i> L.
Onagraceae	1	(1) <i>Ludwigia erecta</i> (L.) Hara
Papilionaceae	17	(1) <i>Abrus precatorius</i> L., (2) <i>Aeschynomene afraspera</i> J.Léonard, (3) <i>Aeschynomene indica</i> L., (4) <i>Alysicarpus ovalifolius</i> (Schumach.) J.Léonard, (5) <i>Andira inermis</i> (Wright) DC., (6) <i>Arachis hypogaea</i> L., (7) <i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp., (8) <i>Crotalaria arenaria</i> Benth., (9) <i>Crotalaria pallida</i> Aiton, (10) <i>Crotalaria podocarpa</i> DC., (11) <i>Indigofera astragalina</i> DC., (12) <i>Indigofera berhautiana</i> J. B. Gillett, (13) <i>Indigofera diphylla</i> Vent., (14) <i>Indigofera hirsuta</i> L., (15) <i>Indigofera leptoclada</i> Harms, (16) <i>Indigofera pilosa</i> Poir., (17) <i>Indigofera tinctoria</i> L., (18) <i>Lonchocarpus laxiflorus</i> Guill. & Perr., (19) <i>Lonchocarpus sericeus</i> (Poir.) Humb., Bonpl. & Kunth, (20) <i>Medicago sativa</i> L., (21) <i>Pterocarpus erinaceus</i> Poir., (22) <i>Requienia obcordata</i> (Lam. ex Poir.) DC., (23) <i>Stylosanthes erecta</i> P. Beauv., (24) <i>Tephrosia linearis</i> (Willd.) Pers., (25) <i>Tephrosia lupinifolia</i> DC., (26) <i>Tephrosia pedicellata</i> Baker, (27) <i>Tephrosia purpurea</i> (L.) Pers., (28) <i>Trigonella foenum-graecum</i> L., (29) <i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp., (30) <i>Zornia glochidiata</i> Rchb. ex DC.
Pedaliaceae	3	(1) <i>Ceratotheca sesamoides</i> Endl., (2) <i>Rogeria adenophylla</i> J.Gay ex Delile, (3) <i>Sesamum alatum</i> Thonn., (4) <i>Sesamum indicum</i> L.
Piperaceae	1	(1) <i>Piper guineense</i> Schumach. & Thonn., (2) <i>Piper nigrum</i> L.
Poaceae	12	(1) <i>Andropogon gayanus</i> Kunth, (2) <i>Aristida sieberiana</i> Trin., (3) <i>Cenchrus prieurii</i> (Kunth) Maire, (4) <i>Cymbopogon citratus</i> (DC.) Stapf, (5) <i>Cymbopogon giganteus</i> Chiov., (6) <i>Cymbopogon schoenanthus</i> (L.) Spreng, (7) <i>Echinochloa colona</i> (L.) Link, (8) <i>Echinochloa stagnina</i> (Retz.) P. Beauv., (9) <i>Eragrostis pilosa</i> (L.) P.Beauv, (10) <i>Eragrostis tenella</i> (L.) Roem. & Schult., (11) <i>Loudetia hordeiformis</i> (Stapf) C.E.Hubb., (12) <i>Oryza sativa</i> L., (13) <i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R.Br., (14) <i>Pennisetum pedicellatum</i> Trin., (15) <i>Sorghum arundinaceum</i> (Desv.) Stapf, (16) <i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench, <i>Sorghum</i> sp, (17) <i>Vetiveria nigritana</i> (Benth.) Stapf, (18) <i>Zea mays</i> L.
Polygalaceae	2	(1) <i>Polygala erioptera</i> DC., (2) <i>Securidaca longipedunculata</i> Fresen.
Pontederiaceae	1	(1) <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms
Portulacaceae	1	(1) <i>Portulaca oleracea</i> L.
Punicaceae	1	(1) <i>Punica granatum</i> L.
Ranunculaceae	1	(1) <i>Nigella sativa</i> L.
Rhamnaceae	1	(1) <i>Ziziphus mauritiana</i> Lam., (2) <i>Ziziphus mucronata</i> Willd., (3) <i>Ziziphus spina-christi</i> (L.) Desf.
Rosaceae	1	(1) <i>Rubus idaeus</i> L.
Rubiaceae	9	(1) <i>Crossopteryx febrifuga</i> (G.Don) Benth., (2) <i>Feretia apodanthera</i> Delile, (3) <i>Gardenia erubescens</i> Stapf & Hutch, (4) <i>Gardenia sokotensis</i> Hutch., (5) <i>Gardenia ternifolia</i>

		Schumach. & Thonn., (6) <i>Kohautia grandiflora</i> DC., (7) <i>Mitracarpus hirtus</i> (L.) DC., (8) <i>Mitragyna inermis</i> (Willd.) Kuntze., (9) <i>Pavetta crassipes</i> K. Schum., (10) <i>Sarcocephalus latifolius</i> (Sm.) E.A.Bruce, (11) <i>Spermacoce stachydea</i> DC.
Rutaceae	1	(1) <i>Citrus limon</i> (L.) Burm.f.
Salvadoraceae	1	(1) <i>Salvadora persica</i> L.
Sapindaceae	1	(1) <i>Paullinia pinnata</i> L.
Sapotaceae	1	(1) <i>Vitellaria paradoxa</i> C.F.Gaertn.
Scrophulariaceae	3	(1) <i>Bacopa crenata</i> (P. Beauv.) Hepper., (2) <i>Scoparia dulcis</i> L., (3) <i>Striga hermonthica</i> (Delile) Benth.
Solanaceae	5	(1) <i>Capsicum annum</i> L., (2) <i>Capsicum frutescens</i> L., (3) <i>Datura fastuosa</i> L., (4) <i>Nicotiana tabacum</i> L., (5) <i>Schwenkia americana</i> L., (6) <i>Solanum aethiopicum</i> L., (7) <i>Solanum incanum</i> L., (8) <i>Solanum lycopersicum</i> L., (9) <i>Solanum tuberosum</i> L.
Sterculiaceae	3	(1) <i>Cola laurifolia</i> Mast., (2) <i>Cola nitida</i> (Vent.) Schott & Endl., (3) <i>Sterculia setigera</i> Delile, (4) <i>Waltheria indica</i> L.
Tamaricaceae	1	(1) <i>Tamarix aphylla</i> (Jusl.) H.Karst.
Tiliaceae	2	(1) <i>Corchorus olitorius</i> L., (2) <i>Grewia bicolor</i> Juss., (3) <i>Grewia flavescens</i> Juss.
Typhaceae	1	(1) <i>Typha domingensis</i> Pers.
Ulmaceae	1	(1) <i>Celtis toka</i> (Forssk.) Hepper & J.R.I.Wood
Verbenaceae	2	(1) <i>Gmelina arborea</i> Roxb., (2) <i>Vitex doniana</i> Sweet
Vitaceae	2	(1) <i>Ampelocissus africanus</i> (Lour.) Merr., (2) <i>Cissus populnea</i> Guill. & Perr., (3) <i>Cissus quadrangularis</i> L.
Zingiberaceae	1	(1) <i>Zingiber officinale</i> Roscoe
Zygophyllaceae	1	(1) <i>Tribulus terrestris</i> L.

3.1.3 PLANTES MEDICINALES LES PLUS CITEES

Le tableau 2 présente les noms scientifiques et vernaculaires (Hausa et Zarma) de 20 espèces à plus fortes citations dans la médecine traditionnelle du Niger. Il s'agit de *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile, de *Combretum micranthum* G. Don, de *Acacia nilotica* (L.) Willd. ex Delile, de *Guiera senegalensis* J.F.Gmel., de *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. ex Poir. et de *Cassia sieberiana* DC. Ces dernières entrent dans le traitement de plusieurs maladies comme les hémorroïdes, le paludisme, la diarrhée, l'ulcère, les hépatites, l'hypertension artérielle, le diabète, la plaie, l'anémie, le rhume, les maux de ventre et la faiblesse sexuelle.

Tableau 2. Les espèces à forte citation

Noms scientifiques	Noms vernaculaires		Nombre de citations
	Hausa	Zarma	
<i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Delile	Adua	Garbey	13
<i>Combretum micranthum</i> G. Don	Guéza	Kubu	12
<i>Acacia nilotica</i> (L.) Willd. ex Delile	Bagarua	Baani	12
<i>Guiera senegalensis</i> J.F.Gmel.	Sabara	Sabara	11
<i>Boscia senegalensis</i> (Pers.) Lam. ex Poir.	Anza	Anza, ortha	11
<i>Cassia sieberiana</i> DC.	Malga	Sinsan	11
<i>Bauhinia rufescens</i> Lam.	Dirga, Girga, Jirga	Namari, Haiga hampa	10
<i>Khaya senegalensis</i> (Desr.) A. Juss.	Madatchi	Farey	10
<i>Piliostigma reticulatum</i> (DC.) Hochst.	Kalgo	Kossey, Kosorey	10
<i>Anogeissus leiocarpa</i> (DC.) Guill. & Perr.	Marké	Bonga, Kogel	10
<i>Sclerocarya birrea</i> (A.Rich.) Hochst.	Luley	Diney	9
<i>Prosopis africana</i> (Guill. & Perr.) Taub.	Kiryaa	Zamturi	9
<i>Annona senegalensis</i> Pers.	Godda	Mufa	9
<i>Calotropis procera</i> (Aiton) R.Br.	Tunfafia	Sagay	9
<i>Pterocarpus erinaceus</i> Poir.	Madobia	Tolo	9

<i>Boswellia dalzielii</i> Hutch.	Hano	Hano	9
<i>Kigelia africana</i> (Lam.) Benth.	Rawaya, Yawuriya	Kombey	9
<i>Tamarindus indica</i> L.	tsamia	Bossey	8
<i>Azadirachta indica</i> A. Juss.	Dogon yaro, Bédi	Milia, Turifuata	8
<i>Combretum glutinosum</i> Perr.	Taramnia	Kokorbé	8

3.1.4 PARTIES DE PLANTES UTILISEES DANS LA PHYTOTHERAPIE

En médecine traditionnelle, différentes parties de plantes identifiées, en particulier les feuilles, les écorces, les racines, les fruits ou même les plantes entières sont exploitées par la population du Niger. D'après la figure 2, les feuilles sont les plus utilisées avec une fréquence de 28,89%; suivies de l'écorce avec 18,33%; puis des racines avec 16,11%; en suite des fruits avec 11,39% et de la plante entière avec 8,33%. Les graines, partie aérienne et autres ont respectivement 7,22%; 4,44% et 3,33%. Enfin, une légère utilisation de carpophore est faite à 1,94%.

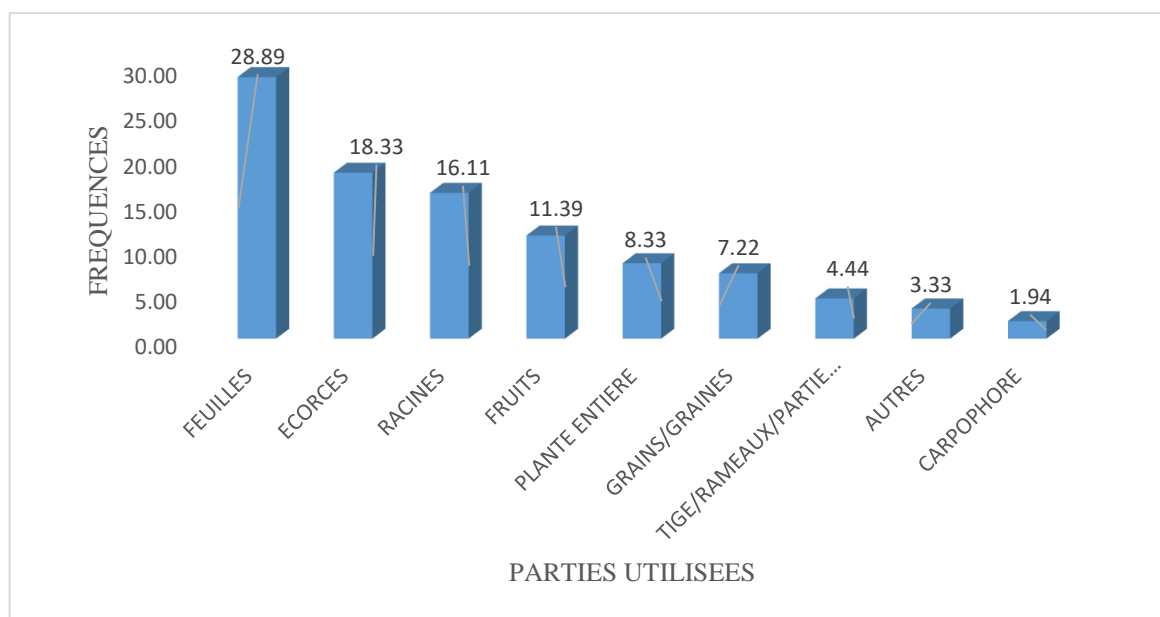


Fig. 2. Parties de plantes utilisées

3.1.5 MODE DE PREPARATION DE REMEDES

Plusieurs méthodes de préparation des recettes sont utilisées pour extraire les principes actifs des plantes médicinales afin de faciliter leur administration. La décoction a la plus forte fréquence avec 37%. Les modes macération, poudre, trituration et infusion viennent respectivement avec 23%, 13%, 10% et 9%. La fumigation et la cuisson ont chacune 3% et les autres 2%. Des ingrédients d'origine animale ou minérale tels que du sel, du lait, du natron, du beurre sont, des fois, associés à la préparation des remèdes.

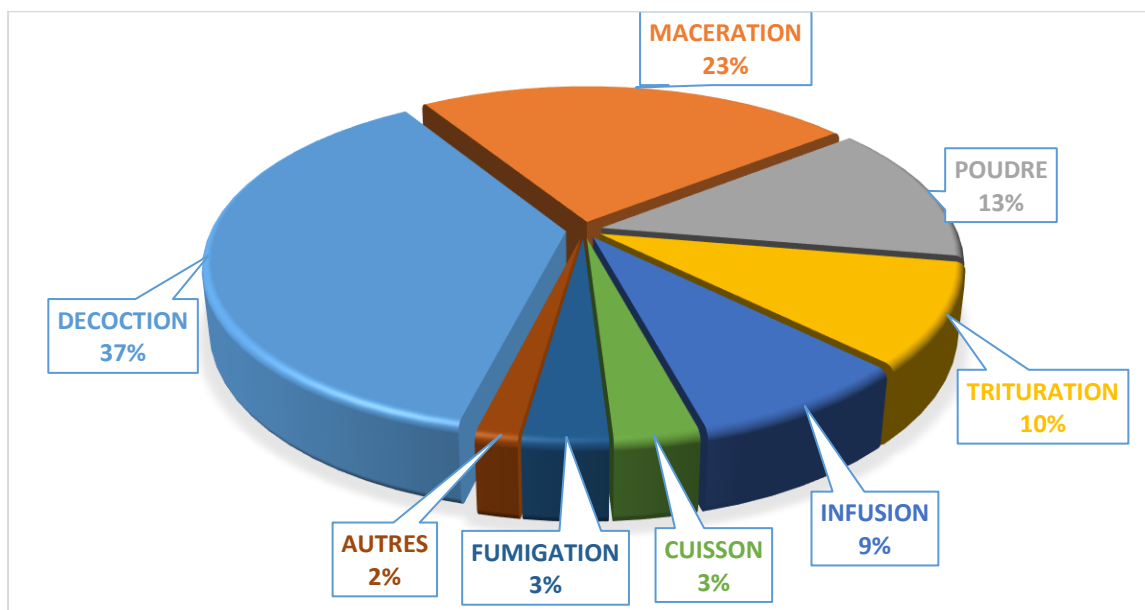


Fig. 3. Répartition des modes de préparation des recettes médicinales

3.1.6 MODES D'ADMINISTRATION DE REMEDES

Les voies d'administration en médecine traditionnelle sont diverses. La plupart des médicaments à base de plantes sont consommés par voie orale avec 44,87%. L'usage par la voie cutanée est de 27,38% et par inhalation de 12,55%. Les autres modes d'administration sont faiblement représentés.

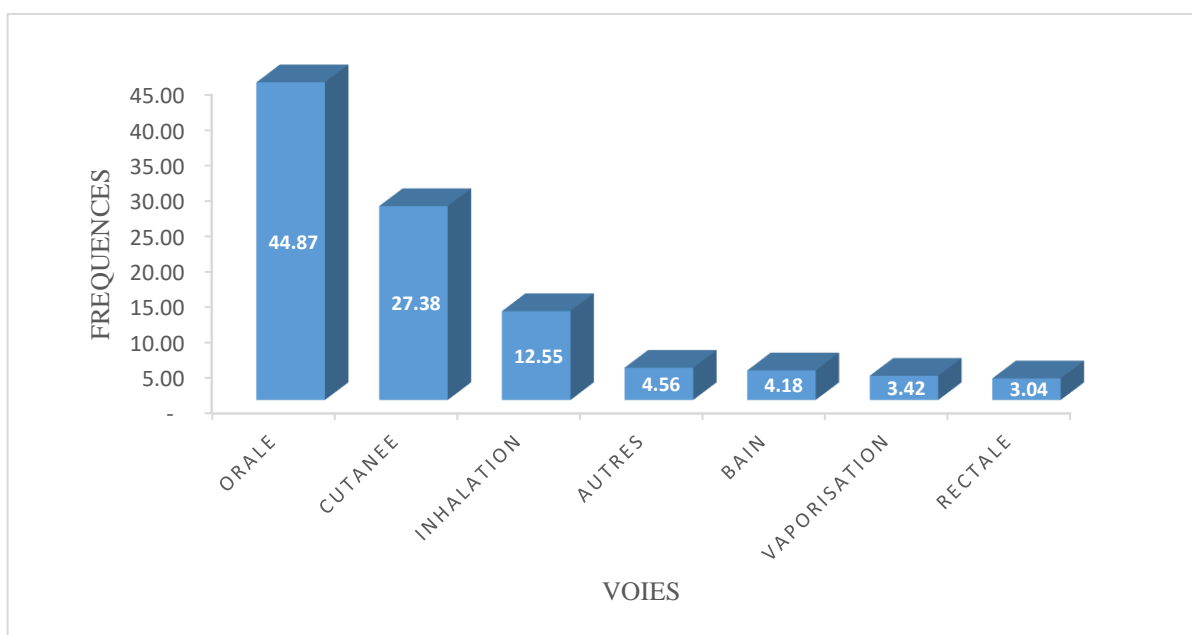


Fig. 4. Répartition des modes d'administration des recettes médicinales

3.1.7 POSOLOGIE

La figure 5 porte les fréquences de prise par jour de médicaments traditionnels. Les recettes sont présent 3 fois par jour avec une fréquence prédominante de 52,34%, suivie de la prise 2 fois par jour avec 28,97% et d'une fois par jour avec 13,08%. Les prises 2 à 3 fois par jour et 4 fois par jour ont 1,87% chacune; à volonté et une fois par 2 jours ont chacune 0,93%.

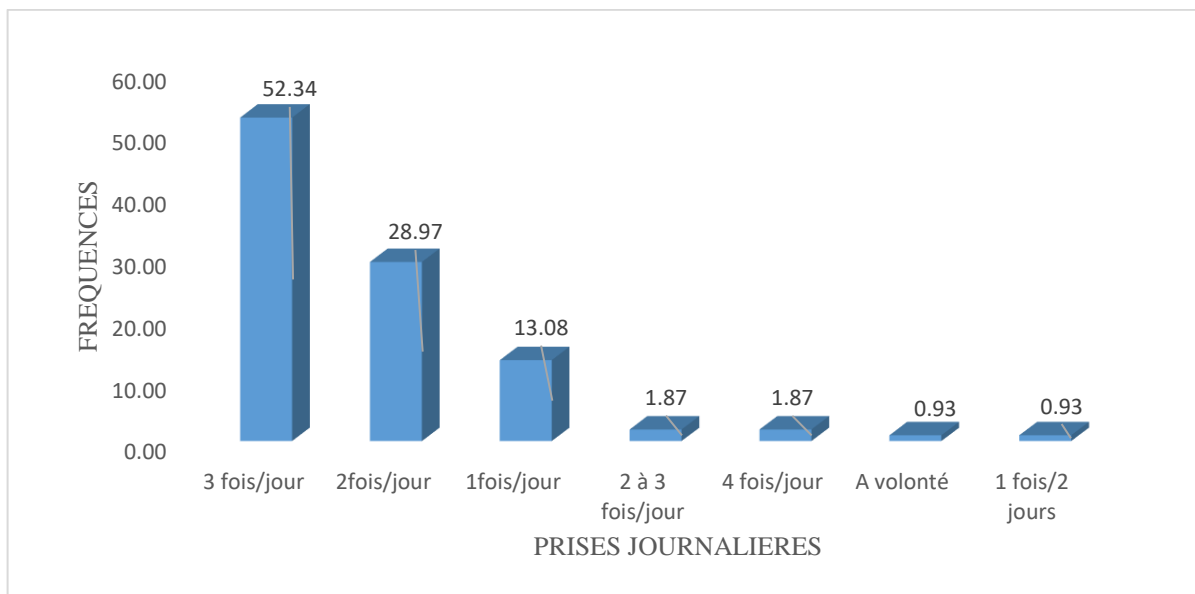


Fig. 5. Répartition de la dose journalière

3.1.8 DUREES DE TRAITEMENTS

La figure 6 présente les fréquences des durées de traitements à base de plantes médicinales. L'analyse des résultats montre que la durée de traitements d'une journée prédomine avec 26%. Les traitements en 2 jours, jusqu'à la guérison, 3 jours et 3 à 7 jours ont respectivement 24%, 22%, 14% et 4%. Les autres sont peu représentées avec 2% chacune.

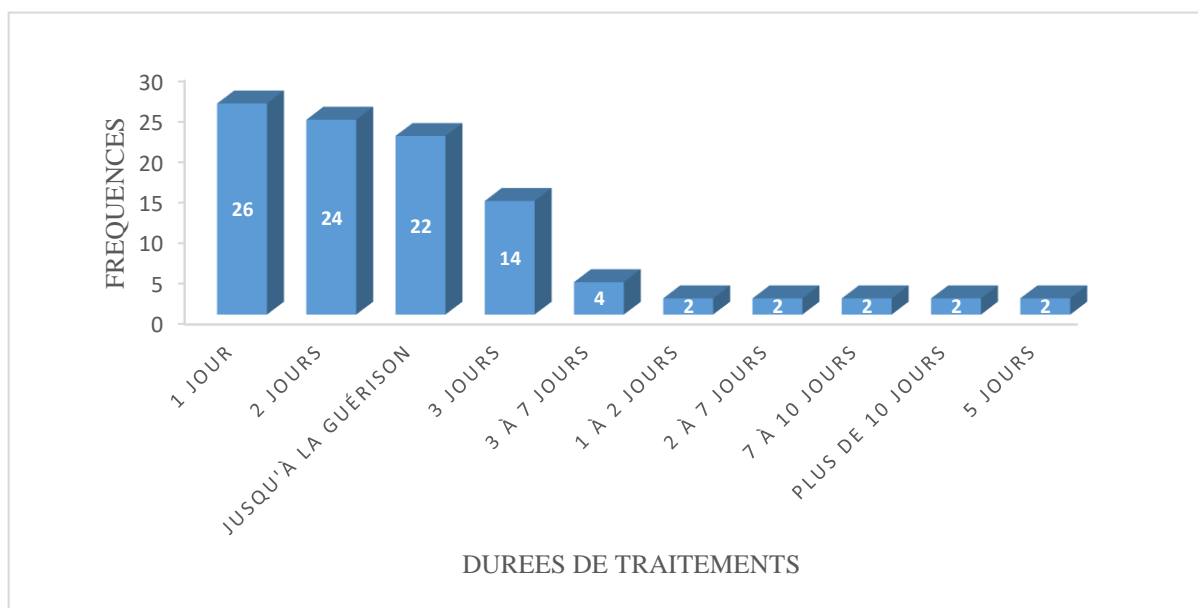


Fig. 6. Répartition des durées de traitements

3.1.9 FREQUENCE DE DONNEES SELON LES REGIONS DU NIGER

Sur les 8 régions que compte le Niger, celle de Tillabéri a le plus de données sur les plantes médicinales à hauteur de 32%, suivie des régions de Niamey et de Dosso avec respectivement 24% et 20%. Les données ayant fait cas du Niger sans préciser les localités ne représentent que 8%, tout comme celles portant sur Maradi et Tahoua. Aucune donnée sur les plantes médicinales d'Agadez, de Zinder et de Diffa ne figure dans cette étude.

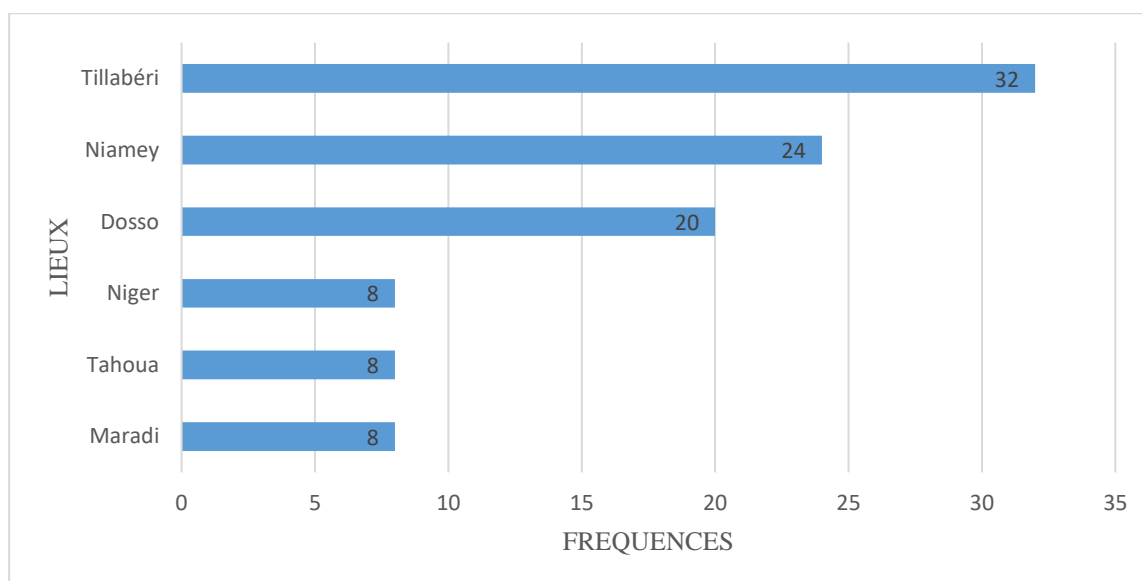


Fig. 7. Proportion des études menées dans les différentes régions du Niger

3.2 DISCUSSION

La recherche bibliographique a conduit à l'obtention de 119 études. Celles dont les résultats sont peu pertinents ont été exclues de la présente revue pour ne retenir que 17 études qui donnent des informations appropriées sur les plantes médicinales et leurs modes d'utilisation au Niger.

La présente étude a permis de recenser 315 espèces végétales appartenant à 220 genres et 88 familles. Cependant, 245 espèces médicinales ont été recensées sur toute l'étendue du territoire Nigérien [9]. La forte composition floristique obtenue indique une bonne disponibilité et une large utilisation des espèces végétales dans la pharmacopée traditionnelle du Niger. La prédominance de la famille des Papilionaceae avec le plus grand nombre d'espèces et le signalement de *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile, de *Combretum micranthum* G. Don, de *Acacia nilotica* (L.) Willd. ex Delile, de *Guiera senegalensis* J.F.Gmel., de *Boscia senegalensis* (Pers.) Lam. ex Poir. et de *Cassia sieberiana* DC., comme espèces les plus citées dans cette étude, témoigne de leur grande importance dans l'usage thérapeutique en médecine traditionnelle au Niger [4], [11].

Parmi les parties de plantes les plus utilisées dans la pharmacopée traditionnelle au Niger, les feuilles sont prédominantes à 28,89%. En effet, siège de la photosynthèse, les feuilles sont également abondantes et très accessibles pour être prélevées par les populations [12].

Pour extraire les principes actifs dans les différents organes de plantes, plusieurs modes de préparation des phytomédicaments sont utilisés. Ainsi, la décoction est le mode de préparation de remèdes à base de plantes le plus utilisé avec 37%. Cette pratique, permet de recueillir le plus de principes actifs des différentes parties de plantes, mais aussi d'augmenter la durée de conservation tout en atténuant voire même d'annuler l'effet toxique de certaines recettes, surtout avec l'ajout d'ingrédients d'origine animale ou minérale [1].

Le mode oral avec 44,87% est la principale voie d'administration des phytomédicaments. Cette prescription peut s'expliquer par le fait que les principes actifs agissent plus efficacement en étant ingurgités [2].

En générale, un médicament est inefficace en dessous d'une certaine dose, efficace lorsque la dose est atteinte et toxique quand la dose est élevée. En effet, l'absence d'une bonne précision sur le dosage ou la mauvaise utilisation des médicaments traditionnels peut avoir des effets nuisibles chez le patient. Ainsi, 3 fois par jour avec 52,34% est la prise journalière la plus représentée dans la présente étude.

La durée de traitements dépend de la maladie et de sa gravité. Cependant, pour qu'un produit puisse agir efficacement jusqu'à la guérison, un temps utile est nécessaire. Dans cette revue, la durée de traitements d'une journée prédomine avec 26%.

En terme de données obtenues, les régions de Tillabéri, Niamey et Dosso possèdent le plus de données sur les plantes médicinales avec des fréquences respectives de 33%; 24% et 20%. Cela peut se justifier par le fait que ces localités, situées au

sud-ouest du Niger et objet de nombreuses études [3], [16], possèdent une plus grande biodiversité végétale par rapport au reste du pays, nécessitant ainsi des investigations afin de déterminer leurs multiples valeurs.

4 CONCLUSION ET PERSPECTIVES D'ETUDE

La présente synthèse bibliographique a permis de faire un bilan des travaux déjà réalisés sur les plantes médicinales au Niger. Les résultats obtenus ont permis de rassembler plusieurs informations sur l'importance accordée à la phytothérapie dans le traitement de diverses maladies. Nombreuses espèces végétales médicinales ont été recensées, réparties en plusieurs genres et familles botaniques dont les Papilionaceae sont les plus représentées. Les organes végétaux les plus utilisées sont les feuilles et la plupart des recettes sont administrées par voie orale sous forme de décoction. De plus, plusieurs informations sur la posologie, à savoir les fréquences de prise de médicaments traditionnels et les durées de traitements ont été apportées. Ainsi, des investigations dans le domaine de la pharmacopée traditionnelle doivent être poursuivies, surtout dans les zones du pays à forte diversité végétale.

Cette revue peut constituer de référence pour des éventuelles recherches scientifiques.

Des nouvelles pistes de recherches peuvent porter sur l'écologie et les connaissances phyto-thérapeutiques dans le sud-ouest du Niger pour:

- caractériser la diversité des plantes utilisées dans la pharmacopée traditionnelle de la zone sud-ouest du Niger;
- évaluer la diversité floristique de la zone sud-ouest du Niger;
- établir une typologie de pressions anthropiques et leurs effets sur les plantes médicinales;
- mettre en place un plan de conservation communautaire des plantes médicinales en faveur des populations autochtones, pour une gestion durable.

REFERENCES

- [1] S. Mounkaila, S. Barmo, M. Boube, K. Saley, B-A. I. Hassane, A. Mahamane, K. Ikhiri and M. Saadou, Inventaire Et Gestion Des Plantes Médicinales Dans Quatre Localités Du Niger, *European Scientific Journal*, vol. 13, no. 24, pp. 1857-7881, 2017.
- [2] L. M. Manzo, M. Idrissa and K. Ikhiri, Les plantes médicinales utilisées dans le traitement des diarrhées au Niger: Etude ethnobotanique, *Algerian Journal of Natural Products*, vol. 5, no. 2, pp. 475-482, 2017.
- [3] A. R. I. Garba, H. Adakal, T. Abasse, K. Koudouvo, S. Karim, A. Akourki, M. Gbeassor and S. Mahamane, Etudes ethnobotaniques des plantes utilisées dans le traitement des parasitoses digestives des petits ruminants (ovins) dans le Sud-Ouest du Niger, *International Journal of Biological And Chemical Sciences*, vol. 13, no 3, pp 1534-1546, 2019.
- [4] I. Yolidje, D. A. Keita, I. Moussa, A. Toumane, S. Bakasso, K. Saley, T. Much, J., L. Pirat and J. M. Ouamba, Enquête ethnobotanique sur les plantes utilisées traditionnellement au Niger dans la lutte contre les moustiques vecteurs des maladies parasitaires, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 14, no. 2, pp. 570-579, 2020.
- [5] C. Moctar, B. A. N. Moussa, I. Moussa, I. A. Tidjani and K. Ikhiri, Etude Bibliographique et Phytochimique de Quelques Plantes Médicinales Utilisées Pour Le Traitement de Certaines Maladies par les Tradipraticiens de la Zone de l'Azawagh au Niger, *European Scientific Journal*, vol. 16, no. 6, pp. 1857-7881, 2020.
- [6] J. G. Adam, N. Echard and M. Lescot, Plantes médicinales Hausa de l'Ader (République du Niger), *Journal d'Agriculture Tropicale et de Botanique appliquée*, vol. 19, no. 8-9, pp. 259-399, 1972.
- [7] Adjanohoun E. J., Ahyi A. M., R., Ake Assi L., Dan Dicko L., Daouda H., Delmas M., de Souza S., Garba M., Guinko S., Kayonga A., N'Golo D., Raynal J. L. and Saadou M., 1980. Médecine et pharmacopée, Contribution aux études ethnobotaniques et floristiques au Niger, ACCT. 251p.
- [8] Ikhiri K., Saadou M. et Garba M., 1984. Recherche sur la pharmacopée au Niger, CELHTO, UNESCO, Niamey, Niger. 45p.
- [9] M. Saadou, Les plantes médicinales du Niger: premier supplément à l'enquête ethnobotanique de 1979, *Revue de Médecines et pharmacopées africaines*, vol. 7, no. 1, pp. 11-24, 1993.
- [10] W. Alexander, Plantes médicinales et leur utilisation traditionnelle chez les paysans au Niger, *Etudes floristiques et végétales Burkina Faso*, vol. 6, pp. 9-18, 2002.
- [11] A. J. Mamadou, K. Saley, M. Boubé, S. Rokia and M. Saadou, Enquête Ethnobotanique Auprès Des Tradipraticiens De Santé Des Régions De Niamey Et Tillabéri Au Niger: Données 2012-2017, *European Scientific Journal*, vol. 13, no. 33, pp. 1857-7881, 2017.
- [12] L. Abdou, M. B. Moussa, I. Bagnian and A. Mahamane, Diversité et usages des plantes médicinales à l'ouest du Niger, *Journal of Animal & Plant Sciences*, vol. 46, no 2, pp. 8164-8174, 2020.

- [13] M. M. S. Sani, H. Sabo, K. M. Souley, M. R. Maman and H. Sadou, Caractérisation Phytochimique des Graines et des Pulpes de *Lagenaria siceraria* (Molina) Standley Utilisées en Pharmacopée dans Six (6) Régions du Niger, *European Scientific Journal*, vol. 15, no. 27, pp. 172-186, 2019.
- [14] I. Yolidje, A. K. Djibo, M. Idrissa, T. Abdoulaye, M. M. Inoussa, S. Karim, P. Jean-Luc, M. Tilman and M. O. Jean, Caractérisation Phytochimique et Activité Larvicide d'extraits Bruts de Plantes Issues de la Pharmacopée Traditionnelle du Niger sur les Larves d'*Anopheles gambiae* S.L., *European Scientific Journal*, vol. 15, no. 12, pp. 30-51, 2019.
- [15] Kossomi A. R. M., 2021. Etude ethnobotanique à propos de quelques plantes médicinales utilisées au Kavar: Région d'Agadez (Département de Bilma, 2019), Thèse de Doctorat en Pharmacie, Faculté des Sciences de la Santé, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger. 77p.
- [16] A. Garba, A. Amani, L. Abdou and A. Mahamane, Perceptions et usages socioéconomiques du tamarinier (*Tamarindus indica* L.) dans le Sud-Ouest du Niger: Implications pour une domestication et une conservation durable, *Journal of Animal & Plant Sciences*, vol. 40, no. 2, pp. 6584-6602, 2019.

Effect of a hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* (Bak.) Pierre (Sapotaceae) on formaldehyde-induced arthritis in Wistar rats

N'Dia Kouadio Frédéric¹, Kouame Djè Kouamé Wenceslas², Diby Yao Bernard³, Kouakou Kouakou Léandre¹, and Yapo Angoué Paul¹

¹Nangui ABROGOUA University, Nature Sciences Training and Research Unit, Laboratory of Physiology, Pharmacology and Pharmacopoeia, PO Box 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

²Université Polytechnique de Man, Unité de Formation et de Recherche-Ingénierie, Agronomique, Forestière et Environnementale (UFR-IAFE), BP 20 Man, Côte d'Ivoire

³Jean Lorougnon GUEDE University, Training and Research Unit of Agroforestry, Laboratory of Agrovalorisation, PO Box 150 Daloa, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: *Malacantha alnifolia* (Sapotaceae) is a perennial plant found in the tropical rainforests of West Africa. In Côte d'Ivoire, this species usually used rheumatism and diarrhea children treatment. This study evaluated anti-arthritic effect of hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* (HEMA) at doses of 125, 250 and 500 mg/kg bw in rats. HEMA is prepared by cold maceration of 100 g of *M. alnifolia* trunk bark powder in one liter of a 30% water/70% ethanol mixture for 24 h. Thirty-six albino *Rattus norvegicus* rats (130-185 g), aged 8 to 16 weeks, were divided into 6 batches of 6 rats each and treated daily during 10 days. Healthy and arthritic rats control received NaCl 9‰ (10 mL/kg bw) by gavage, those from batches 2, 3 and 4 received HEMA at 125, 250 and 500 mg/kg bw, respectively. Positive control rats received methotrexate at 0.75 mg/kg bw by gavage. Non-immunological arthritic model induced by injection of 0.1 mL 2.5% formaldehyde was used. Arthritic was assessed through paw and knee edema, arthritic index scores, sedimentation rate, and inflammation-related hematological and biochemical parameters. Percentages inhibition of these parameters were calculated for each treated group of rats compared to the control group with arthritis. Edema established for 3 days by formaldehyde was significantly reduced by HEMA at doses of 250 and 500 mg/kg bw with reductions in paw thickness ranging from 23.18 to 28, respectively. 89% and 25.60 to 31.34% compared to paw thickness of arthritic control rats. Hydroethanolic extract of *Malacantha alnifolia* has remarkable anti-arthritic properties similar to that of methotrexate.

KEYWORDS: *Malacantha alnifolia*, anti-arthritic, formaldehyde, rat.

1 INTRODUCTION

Rheumatoid arthritis is the most common autoimmune disease. It is a chronic, progressive, systemic inflammatory disease affecting the joints and associated with long-term disability and premature mortality [1]. Epidemiological study has shown that around 1% of the world's population has rheumatoid arthritis, which has a significant impact on their life quality [2]. In Côte d'Ivoire, a study carried out in the rheumatology department of the CHU de Cocody (Abidjan) by [3] showed that around 2% of rheumatoid arthritis patients were affected. Despite advances in conventional medicine, the cause of the disease is still unknown. HLA-DR genes are the most important genetic risk factor. In addition, this disease induced inflammation of the synovium, hyperplasia, cartilage destruction, bone deformation and systemic complications (cardiovascular, pulmonary, psychological and skeletal disorders) [4]. In modern medicine, treatments with non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs) and steroids, biological agents such as antagonists of pro-inflammatory cytokines (tumour necrosis factor alpha (TNF α) and interleukin-1 beta (IL-1 β)) and analgesics are prescribed to treat this disease without any real success [5,6]. However, the prolonged using of anti-inflammatory pharmaceutical substances is accompanied by secondary undesirable effects [7] Prolonged using of NSAIDs can lead to gastrointestinal disorders, kidney and skin toxicities, infections and cardiovascular risks [8,9]. Then, research is needed into new anti-inflammatory and analgesic substances that are more effective in reducing inflammation and pain. Medicinal plants are becoming an important sources to explore in the search for effective drugs with fewer side effects [10,11]. Several medicinal plant species and recipes have been identified in Côte d'Ivoire [12,13]. Among these plants *Malacantha alnifolia* (Bak.)

Pierre, commonly used in traditional medicine to treat children diarrhoea, rheumatism, conjunctivitis of the eyes and stomach ache, and as a purgative in the treatment of poisoning and elephantiasis of the scrotum [14]. The aim of this study was to evaluate chronic and anti-inflammatory potential of a hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* trunk bark. Specifically, chronic and anti-inflammatory activity of formaldehyde oedema induction method will be assessed by determining haematological and biochemical parameters associated with inflammation.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 PLANT MATERIAL

Plant material consists of *Malacantha alnifolia* trunk bark harvested in *Béoumi* in August 2021. The species was identified at Nangui ABROGOUA University in Abidjan and authenticated by lecturers from the university's botany laboratory.

2.2 ANIMALS

Rats, (*Rattus norvegicus*) aged 8 to 16 weeks and weighing between 130 and 185 g were used in the study. These animals were supplied and bred in the animal house of the Physiology, Pharmacology and Pharmacopoeia laboratory of the Natural Sciences Training and Research Unit (UFR-SN) of Nangui ABROGOUA University (Côte d'Ivoire). They had free access to water and food (Ivograin®) with a photoperiod of 12 h of light and 12 h of darkness in accordance with standards of good laboratory practice. Various experimental protocols were drawn up in accordance with the laboratory animal protection protocols of the European Council of Legislation 2012/707/EU [15].

2.3 LABORATORY EQUIPMENT

Equipment consisted of an electric grinder (Culati, France), electronic digital balance (Digital scal- SF-400, China), magnetic stirrer (OVAN, USA), oven (Heto type CD 52- I, France), digital micrometer or calliper (Hardened Stainless, China), a Coulter haematological analyser (Mindray BC-2800, China), semi-automatic spectrophotometer (Prietest Touch Robonik, India) and a camera (TECNO, China).

2.4 PHARMACODYNAMIC REAGENTS AND SUBSTANCES

Reagents used in this study were hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia*, methotrexate (Bellon®) (Sanofi, France) as the reference anti-inflammatory, 2.5% formalin solution, ether and 9‰ NaCl solution as the reference physiological solution.

2.5 METHODS

2.5.1 PREPARATION OF HYDROETHANOLIC EXTRACT OF MALACANTHA ALNIFOLIA

Hydroethanolic extract of *Malacantha alnifolia* was prepared according to the method described by [16]. *Malacantha alnifolia* trunk bark was washed with distilled water, dried at room temperature for 15 days and then finely pulverised using an electric grinder (Culati, France). Then quantity of 100 g of powder obtained from *Malacantha alnifolia* was cold macerated for 24 h in a litre of a mixture of 30% water and 70% ethanol. Resulting solution was filtered through cotton wool and then Whatman Number 3 mm filter paper. Half a litre of the hydroethanol mixture was added to the pellet and a further cold maceration was carried out for 24 h, followed by filtration. Filtrate substances obtained were evaporated and dried in an oven at 45°C for 48 h. A 6.7 g yellow paste corresponding to the hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* (HEMA) was obtained.

2.5.2 ASSESSMENT OF CHRONIC ANTI-INFLAMMATORY ACTIVITY (ARTHRITIS) INDUCED BY 2.5% FORMALDEHYDE 2.5%

Non-immunological arthritis model described by [17] was used with slight modification. Experiments lasted 14 days and the curative model was used. 36 rats were divided into 6 batches and 6 rats received various treatments. Arthritis was induced by injecting 0.1 mL of freshly prepared 2.5% formaldehyde into the right hind paw of rats from all batches except batch 1 (healthy control) on days 1 and 3. Firstly, initial thickness of the rats' right hind leg or knee was measured using a calliper prior to any treatment. Then, after the 3rd day of formaldehyde injection, rats from batch 1 (healthy control) and batch 2 (arthritic control) were given NaCl 9‰ at a rate of 10 mL/kg bw by gavage. Rats in batches 3, 4 and 5 were force-fed with hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* at doses of 125, 250 and 500 mg/kg bw respectively. Finally, rats in batch 6 received methotrexate at a dose of 0.75 mg/kg bw by gavage. These different substances were administered daily for 10 days to each rat. Progression of arthritis was assessed by measuring the thickness of the rats' leg or knee again. Percentage of INH inhibition (%) of oedema was calculated for each group of treated rats compared to the arthritic control group according to the formula used in the work of [18]:

$$\% INH (\%) = \frac{Ec - Et}{Ec} \times 100$$

Ec: thickness of oedema in the right hind leg or knee of rats in the arthritic control group

Et: thickness of oedema in the right hind leg or knee of rats from treated batches.

2.5.3 CALCULATION OF ARTHRITIC INDEX SCORES

Determination of clinical symptoms in the formaldehyde-induced arthritis test was assessed by a visual scoring system on a scale from 0 to 4. A score of 0 means that no change is visible. A score of 1 indicates slight swelling of the limb and a score of 2 indicates slight swelling and skin redness of the limb. A score of 3 indicates significant swelling and reddening of the skin of the limb, and a score of 4 indicates significant deformity and incapacity of the limb. Every three days, scores were determined on each rat and then averaged for the group [1].

2.5.4 RAT BODY WEIGHT MEASUREMENT

Body weights of the rats were assessed on days D0, D4 and D14 of the experiment using a balance (Digital scal-SF 400, China).

2.5.5 BLOOD SAMPLING

During this study, three blood samples were taken on D0, D4 and D14 of the experiment. Rats were anesthetized with ether then blood samples were taken by puncture from the orbital sinus of the eye using a Pasteur pipette according to the technique described by [19]. Pasteur pipette was rotated, and once introduced into the animal's retro-orbital sinus, blood was drawn up into the pipette. Blood samples were introduced into EDTA tubes for blood count analysis using an automatic haematological analyser, coulter (Mindray BC-2800, China), which is an impedance variance device, and into dry tubes for determination of biochemical parameters using an automatic spectrophotometer (Prietest Touch Robonick, India).

2.5.6 PRINCIPLE OF IMPEDANCE MEASUREMENT

Impedance measurement technique, also known as the Coulter principle after its inventor Wallace Coulter, is designed to count particles and cells and measure their size. The cells pass through an opening to which an electric current is applied. Each time a cell passes through the aperture, the electrical resistance increases, which is translated into electrical impulses whose height is directly proportional to the cell volume.

2.5.7 DETERMINATION OF BLOOD COUNT

13 μ L sample of whole blood taken on EDTA is diluted in an iso-osmotic buffer solution and aspirated through an orifice that separates two chambers, one containing a positive electrode and the other a negative electrode. Each particle passing through the orifice momentarily produces an increase in electrical resistance which is recorded as a pulse. Coulter Hematology Analyzer (Mindray BC-2800, China) enumerates platelets and red blood cells on the same dilution channel and considers particles of small sizes between 2 and 36 fL as platelets and those larger than 36 fL like red blood cells. Erythrocyte indices are determined from the histogram whose height is directly proportional to the mean corpuscular volume (MCV).

2.5.8 DETERMINATION OF BIOCHEMICAL PARAMETERS

Blood collected in dry tubes was used to determine serum levels of various biochemical parameters using a spectrophotometer (Prietest touch Robonik, India) and various diagnostic kits. Alkaline phosphatase (ALP), alanine aminotransferase (ALT) and aspartate aminotransferase (AST) were determined by the kinetic method [20,21]. Serum concentrations of total protein, calcium, albumin and phosphorus were measured by colorimetric assay [22].

2.5.9 SHOOTING

To associate the percentage inhibition of oedema thickness with the photographs, photos were taken on days 0, 4 and 14 of the experiment. The instrument used was a mobile phone (TECNO, China) fitted with a camera.

2.5.10 STATISTICAL ANALYSIS

Results were given as mean followed by standard error on the mean ($M \pm SEM$) and percentage inhibition. Statistical analysis was carried out using Graph Pad Prism 5.01 software (San Diego, California, USA). Student's t-test and ANOVA1 (one-way analysis of variance) followed by Dunnett's comparison test were used to identify differences between the treated batches and the negative and positive control batches. Differences are significant for $p < 0.05$.

3 RESULTS

3.1 EFFECT OF HYDROETHANOL EXTRACT OF MALACANTHA ALNIFOLIA ON FORMALIN-INDUCED PAW OEDEMA IN RATS

At day 0, initial mean thickness of the legs varied non-significantly and ranged from 2.25 ± 0.14 to 2.31 ± 0.16 mm. There were no signs of arthritis or inflammation (oedema). Three days later of formalin arthritis induction, the mean leg thickness of arthritic rats increased significantly ($p < 0.001$) from 6.38 ± 0.12 to 6.96 ± 0.16 mm compared with the mean leg thickness of healthy control rats (2.34 ± 0.13 mm) (Table 1). Arthritic and inflammatory signs of arthritic rats were apparent in the presence of oedema, redness, swelling and deformation of the paw (figure 1). The mean thickness of the paw of the arthritic control rats increased and reached a maximum of 7.37 ± 0.35 mm on day 3 after treatment, with a slight and non-significant decrease to 6.68 ± 0.16 mm on day 10. In arthritic rats treated with HEMa at 125 mg/kg bw, mean leg thickness was significantly reduced, ranging from 20.62% (day 1 post-treatment) to 26.86% (day 7th post-treatment) compared with the arthritic control. Arthritic rats treated with EHMa at doses of 250 and 500 mg/kg bw, respective decreases in leg thickness ranging from 23.18 to 28.89% and from 25.60 to 31.34% compared with the mean leg thickness of arthritic control rats were recorded. The reduction of leg oedema in methotrexate-treated rats ranged from 26.74% (day 1 post-treatment) to 35.47% (day 10 post-treatment) compared with arthritic control rats (table 1). Photographs of arthritic legs treated with HEMa at 125, 250 and 500 mg/kg bw and methotrexate showed reduction in redness and swelling at the sites of arthritis and inflammation (Figure 1).

Table 1. Effect of hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* on paw thickness during formaldehyde-induced arthritis in rats

Lots (mg/kg bw)	Average leg thickness (mm)/Percentage reduction in oedema in brackets (%)					
	Day 0	Day 3 after induction	Day 1 after treatment	Days 3 after treatment	Days 7 after treatment	Days 10 after treatment
Healthy control (NaCl 9%)	2.31 ± 0.25	2.34 ± 0.13	2.30 ± 0.19	2.32 ± 0.11	2.27 ± 0.15	2.29 ± 0.15
Arthritic control (NaCl 9%)	2.25 ± 0.14	$6.65 \pm 0.25^{###}$	$7.03 \pm 0.31^{###}$	$7.37 \pm 0.35^{###}$	$6.96 \pm 0.27^{###}$	$6.68 \pm 0.16^{###}$
HEMa 125	2.31 ± 0.16	$6.43 \pm 0.17^{###}$	$5.58 \pm 0.15^{***}$ (20.62)	$5.66 \pm 0.23^{***}$ (23.20)	$5.09 \pm 0.26^{***}$ (26.86)	$5.01 \pm 0.19^{***}$ (25)
HEMa 250	2.28 ± 0.27	$6.52 \pm 0.12^{###}$	$5.40 \pm 0.22^{***}$ (23.18)	$5.46 \pm 0.22^{***}$ (25.91)	$4.96 \pm 0.12^{***}$ (28.73)	$4.75 \pm 0.27^{***}$ (28.89)
HEMa 500	2.29 ± 0.11	$6.96 \pm 0.16^{###}$	$5.23 \pm 0.17^{***}$ (25.60)	$5.06 \pm 0.15^{***}$ (31.34)	$4.83 \pm 0.23^{***}$ (30.60)	$4.66 \pm 0.16^{***}$ (30.23)
Methotrexate 0.75	2.27 ± 0.16	$6.38 \pm 0.12^{###}$	$5.15 \pm 0.21^{***}$ (26.74)	$5.20 \pm 0.22^{***}$ (29.44)	$4.54 \pm 0.19^{***}$ (34.77)	$4.31 \pm 0.26^{***}$ (35.47)

$p < 0.001$: significant difference compared to the mean leg thickness of the healthy control for each evaluation period. *** $p < 0.001$; $n = 6$: significant difference compared with the arthritic control for each evaluation period. HEMa: Hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia*.



Fig. 1. Photographs of the right legs of rats before and after formaldehyde injection D0: day 0, D4: day 4 and D14: day 14

3.2 EFFECT OF HYDROETHANOL EXTRACT OF MALACANTHA ALNIFOLIA ON FORMALIN-INDUCED KNEE OEDEMA IN RATS

The mean initial knee thickness of the rats ranged from 4.04 ± 0.22 to 4.19 ± 0.16 mm. Three days later of arthritis induction by formaldehyde, the knee of all rats (except healthy control rats) underwent a significant increase ($p < 0.001$) ranging from 6.64 ± 0.47 to 6.93 ± 0.23 mm compared with that of healthy controls (4.17 ± 0.19 mm). The mean knee thickness of rats treated with HEMA at 125 mg/kg bw was significantly reduced ($p < 0.01$) from 11.77% to 16.74% compared with the mean knee thickness of arthritic control rats. Knees of arthritic rats treated with HEMA at 250 and 500 mg/kg bw had reductions in oedema ranging from 15.10% to 22.96% and from 18.03% to 31.11% respectively compared with the knees of arthritic control rats. Knees of rats treated with methotrexate underwent a significant ($p < 0.001$) slightly greater reduction than HEMA at these different doses. This reduction in knee thickness in rats pre-treated with methotrexate at 0.75 mg/kg bw corresponded to a maximum reduction of 35.34% (at day 7th post-treatment) compared with the arthritic control rat (Table 2).

3.3 EFFECT OF HYDROETHANOL EXTRACT OF MALACANTHA ALNIFOLIA ON SCORES DURING FORMALIN-INDUCED ARTHRITIS IN RATS

At day 0, absence of arthritic signs and inflammation in all rats corresponds to a score of 0. Three days later of arthritis induction by formaldehyde, arthritic and inflammatory signs appeared in all rats (except healthy control rats). These signs corresponded to mean scores ranging from 3.64 ± 0.38 to 3.98 ± 0.22 . After treatment with HEMA at doses of 125 and 250 mg/kg bw, a reduction in arthritic and inflammatory signs corresponding respectively to a reduction in the arthritic index score ranging from 3.41 to 16.53% and from 5.14 to 38.13% compared with the score of arthritic control rats was recorded. The scores of rats treated with HEMA at 500 mg/kg and methotrexate at 0.75 mg/kg bw underwent significant ($p < 0.001$) and maximum decreases of 41.06% and 43.73% respectively compared with the scores of arthritic control rats (Table 3).

Table 2. Effect of hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* on knee thickness during formaldehyde-induced arthritis in rats

Lots (mg/kg bw)	Average knee thickness (mm) / Percentage reduction in oedema in brackets (%)					
	Day 0	Day 3 after induction	Days 1 after treatment	Days 3 after treatment	Days 7 after treatment	Days 10 after treatment
Healthy control (NaCl 9%)	4.06 ± 0.15	4.17 ± 0.19	4.11 ± 0.31	4.16 ± 0.27	4.09 ± 0.18	4.18 ± 0.14
Arthritic control (NaCl 9%)	4.10 ± 0.24	6.68 ± 0.19 ^{####}	6.82 ± 0.22 ^{####}	6.71 ± 0.47 ^{####}	6.62 ± 0.28 ^{####}	6.45 ± 0.14 ^{####}
HEMa 125	4.05 ± 0.23	6.67 ± 0.41 ^{####}	5.94 ± 0.18 (12.90)	5.92 ± 0.47* (11.77)	5.627 ± 0.18** (16.01)	5.37 ± 0.15*** (16.74)
HEMa 250	4.19 ± 0.16	6.93 ± 0.23 ^{####}	5.79 ± 0.25 (15.10)	5.61 ± 0.34*** (16.39)	5.10 ± 0.30*** (22.96)	5.14 ± 0.2*** (20.31)
HEMa 500	4.04 ± 0.22	6.65 ± 0.16 ^{####}	5.52 ± 0.22* (20.96)	5.50 ± 0.22*** (18.03)	4.56 ± 0.18*** (31.11)	4.61 ± 0.13*** (28.52)
Methotrexate 0.75	4.09 ± 0.13	6.64 ± 0.47 ^{####}	5.48 ± 0.48* (21.61)	5.05 ± 0.24*** (24.73)	4.28 ± 0.38*** (35.34)	4.46 ± 0.16*** (30.85)

####p < 0.001: significant difference compared to the mean knee thickness of healthy control rats for each evaluation period. *p < 0.05; **p < 0.01; ***p < 0.001; n = 6: significant difference compared with the respective arthritic control for each evaluation period. HEMa: Hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia*.

Table 3. Effect of hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* on arthritis index scores

Lots (mg/kg bw)	Score/Percentage reduction in score in brackets (%)				
	Day 3 after induction	Days 1 after treatment	Days 3 after treatment	Days 7 after treatment	Days 10 after treatment
Healthy control (NaCl 9%)	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
Arthritic control (NaCl 9%)	3.91 ± 0.28	3.89 ± 0.37 ^{####}	3.81 ± 0.39 ^{####}	3.77 ± 0.36 ^{####}	3.75 ± 0.63 ^{####}
HEMa 125	3.95 ± 0.33	3.74 ± 0.27 (3.89)	3.68 ± 0.42 (3.41)	3.52 ± 0.62 (6.63)	3.13 ± 0.44** (16.53)
HEMa 250	3.97 ± 0.21	3.69 ± 0.41 (5.14)	3.59 ± 0.28 (5.77)	2.41 ± 0.36** (36.07)	2.32 ± 0.38*** (38.13)
HEMa 500	3.95 ± 0.32	3.65 ± 0.46 (6.16)	3.52 ± 0.47* (7.61)	2.39 ± 0.27*** (36.60)	2.21 ± 0.57*** (41.06)
Methotrexate 0.75	3.98 ± 0.22	3.64 ± 0.38 (6.42)	3.51 ± 0.51* (7.87)	2.29 ± 0.46*** (39.25)	2.11 ± 0.62*** (43.73)

####p < 0.001: significant difference compared to the scores of the healthy control rats for each evaluation period. *p < 0.05, **p < 0.01, ***p < 0.001; n = 6: significant difference compared with the respective arthritic control for each evaluation period. HEMa: Hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia*

3.4 EFFECT OF HYDROETHANOL EXTRACT OF MALACANTHA ALNIFOLIA ON BODY WEIGHT

On day 0, the average body weight of the rats varied non-significantly and ranged from 138.3 ± 2.65 to 146.5 ± 2.59. On day 4 later of arthritis induction, the mean body weight of the rats decreased significantly (p < 0.001) from 129.3 ± 3.30 to 134.5 ± 4.48 g compared with the mean weight of healthy control rats (141.9 ± 2.97 g). 14th day later of treatment, the mean body weights of rats treated with HEMa at doses of 250 and 500 mg/kg bw increased significantly by 3.5% and 5.89% respectively compared with the body weights of arthritic control rats. The mean body weight of methotrexate-treated rats increased by 6.30% compared with the body weight of arthritic control rats (Table 4).

3.5 EFFECT OF HYDROETHANOL EXTRACT OF MALACANTHA ALNIFOLIA ON WHITE BLOOD CELLS

At day 0, the mean white blood cell count varied non-significantly and ranged from 11.92 ± 2.54 to 12.98 ± 0.87.10³/μL. Three days later of arthritis induction, the mean white blood cell count increased significantly (p < 0.001) in all rats, from 17.4 ± 3.44 to 20.1 ±

$3.07.10^3/\mu\text{L}$ compared with healthy control rats (12.03 ± 2.61). 14th day later, white blood cell counts of rats treated with HEMa at doses of 250 and 500 mg/kg bw were significantly ($p < 0.05$) reduced by 19.01 % and 21.01 % respectively compared to the white blood cell counts of arthritic control rats (Table 5).

3.6 EFFECT OF HYDROETHANOL EXTRACT OF MALACANTHA ALNIFOLIA ON RED BLOOD CELLS

On day 0, the mean red blood cell count varied non-significantly from 6.79 ± 2.25 to $7.78 \pm 3.14.10^6/\mu\text{L}$. On day 4 later of arthritis induction, the mean red blood cell count showed no significant decrease ($p > 0.05$) with a maximum value of 13.02 % compared to healthy control rats. 14th day later of treatment, HEMa at the doses tested had no impact on the mean number of red blood cells compared with the number of red blood cells in the arthritic control rats. In rats treated with methotrexate, a non-significant variation in red blood cell count was also recorded compared with the red blood cell count of arthritic control rats (Table 6).

Table 4. Effect of hydroethanol extract of Malacantha alnifolia on body weight

Lots (mg/kg bw)	Average body weight of rats (g)/(percentage reduction or gain) (%)		
	Day 0	Day 4	Day 14
Healthy control (NaCl 9‰)	141.2 ± 3.14	141.9 ± 2.97	144.62 ± 1.93
Arthritic control (NaCl 9‰)	144.0 ± 2.67	131.5 ± 3.57 ^{###} (7.32)	127.62 ± 4.21 ^{###}
HEMa 125	138.3 ± 2.65	129.3 ± 3.30 ^{###} (8.87)	129.73 ± 3.51 (1.62)
HEMa 250	139.3 ± 4.21	130.0 ± 3.69 ^{###} (8,38)	132.26 ± 2.71* (3.5)
HEMa 500	146.5 ± 2.598	133.0 ± 6.84 ^{###} (6.27)	135.61 ± 3.52** (5.89)
Methotrexate 0.75	140.3 ± 3.67	134.5 ± 4.48 ^{###} (4.58)	136.21 ± 3.19** (6.30)

^{###} $p < 0.001$: significant difference compared to the body weight of healthy control rats for each evaluation period. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$; $n = 6$: significant difference compared with the respective arthritic control for each evaluation period. HEMa: Hydroethanol extract of Malacantha alnifolia.

Table 5. Effect of hydroethanol extract of Malacantha alnifolia on white blood cell count

Lots (mg/kg bw)	Mean white blood cell count ($10^3/\mu\text{L}$)/(percentage increase or reduction) (%)		
	Day 0	Day 4	Day 14
Healthy control (NaCl 9‰)	12.74 ± 3.51	12.03 ± 2.61	12.61 ± 2.58
Arthritic control (NaCl 9‰)	12.48 ± 2.59	17.4 ± 3.44 [#] (44,63)	16.51 ± 2.67 [#]
HEMa 125	12.68 ± 1.28	17.6 ± 3.66 [#] (46,3)	15.39 ± 2.44 (6.78)
HEMa 250	12.77 ± 1.45	20.1 ± 3.07 ^{###} (67.08)	13.37 ± 2.11* (19.01)
HEMa 500	11.92 ± 2.54	18.8 ± 3.54 ^{###} (56,27)	13.04 ± 2.63* (21.01)
Methotrexate 0.75	12.98 ± 0.87	19.7 ± 2.99 ^{###} (63.75)	13.07 ± 2.17* (20.83)

$p < 0.05$; $p < 0.01$; $p < 0.001$: significant difference compared with the white blood cell count of healthy control rats for each evaluation period. * $p < 0.05$; $n = 6$: significant difference compared with the arthritic control. EHM: hydroethanol extract of Malacantha alnifolia

Table 6. Effect of hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* on red blood cell count

Lots (mg/kg bw)	Mean red blood cell count ($10^6/\mu\text{L}$)/(percentage increase or reduction) (%)		
	Day 0	Day 4	Day 14
Healthy control (NaCl 9‰)	7.78 ± 3.14	7.22 ± 3.29	7.34 ± 2.62
Arthritic control (NaCl 9‰)	7.18 ± 2.40	6.58 ± 2.34 (8.86)	6.47 ± 2.91
HEMa 125	6.96 ± 2.42	6.66 ± 2.43 (7.75)	6.79 ± 2.72 (4.94)
HEMa 250	7.14 ± 3.33	6.28 ± 3.66 (13.02)	6.93 ± 2.04 (7.10)
HEMa 500	6.79 ± 2.25	6.31 ± 2.26 (12.60)	6.73 ± 2.61 (4.01)
Methotrexate 0.75	7.06 ± 2.37	6.75 ± 2.48 (6.50)	6.49 ± 2.55 (0.3)

$p < 0.05$: significant difference compared with the red blood cell count of healthy control rats for each evaluation period. * $p < 0.05$; $n = 6$: significant difference compared with the arthritic control. HEMa: Hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia*.

3.7 EFFECT OF HYDROETHANOL EXTRACT OF MALACANTHA ALNIFOLIA ON PLATELETS

The mean initial platelet count varied non-significantly from 814 ± 56.6 and $971 \pm 95.2 \cdot 10^3/\mu\text{L}$. On day 4 later of arthritis induction, the mean platelet count increased significantly from 4.36% to 15.38% compared with the platelet count of healthy control rats. 14th day later, the mean platelet count of rats treated with hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* at doses of 125, 250 and 500 mg/kg bw increased significantly ($p < 0.01$) compared with the platelet count of arthritic control rats. This increase corresponds to 10.52%, 11.84% and 15.70% respectively compared with the platelet count of arthritic control rats. The platelet count of methotrexate-treated rats also showed a significant increase of 14.56% compared with the platelet count of arthritic control rats (Table 7).

3.8 EFFECT OF HYDROETHANOL EXTRACT OF MALACANTHA ALNIFOLIA ON SEDIMENTATION RATE

At day 0, sedimentation rate varied non-significantly from 5.05 ± 2.83 to 6.83 ± 3.74 mm/h at hour 1 and from 13.5 ± 2.03 to 15.7 ± 1.17 mm/h at hour 2. On day 4 later of arthritis induction, a significant increase ($p < 0.001$) in sedimentation rate from 105.28 to 139.29% at hour 1 and from 68.75 to 91.47% at hour 2. 14th day later of treatment with hydroethanol extract at doses of 125, 250 and 500 mg/kg bw, the sedimentation rate was significantly reduced by 7.76, 25.72 and 28.15% at hour 1 and by 27.79, 35.34 and 42.29% at hour 2, respectively, compared with the sedimentation rate of arthritic control rats. The sedimentation rate of methotrexate-treated rats was also significantly reduced by 29.12% at hour 1 and 47.12% at hour 2, compared with the sedimentation rate of arthritic control rats (Table 8).

Table 7. Effect of hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* on platelet count

Lots (mg/kg bw)	Mean platelet count ($10^3/\mu\text{L}$)/(percentage increase or decrease) (%)		
	Day 0	Day 4	Day 14
Healthy control (NaCl 9‰)	950 ± 111	962 ± 98.2	977 ± 100.1
Arthritic control (NaCl 9‰)	815 ± 70.2	1109 ± 60.5 [#] (15.28)	1140 ± 89.1 [#]
HEMa 125	960 ± 83.6	1110 ± 81.2 [#] (15.38)	1020 ± 81.2* (10.52)
HEMa 250	971 ± 95.2	1169 ± 104.6 ^{##} (21.51)	1005 ± 93.3* (11.84)
HEMa 500	814 ± 56,6	1061 ± 90.4 (10.29)	961 ± 86,6** (15.70)
Methotrexate 0.75	848 ± 61.5	1004 ± 94.1 (4.36)	974 ± 85.9** (14.56)

$p < 0.05$, ## $p < 0.01$: significant difference from platelet counts in healthy control rats for each evaluation period. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$; $n = 6$: significant difference from arthritic control. HEMa: Hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia*

Table 8. Effect of hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* on sedimentation rate

Lots (mg/kg bw)	Sedimentation rate/(percentage increase or reduction) (%)					
	Day 0		Day 4		Day 14	
	1 h	2 h	1 h	2 h	1 h	2 h
Healthy control (NaCl 9‰)	6.83 ± 0.74	13.5 ± 2.03	7.94 ± 0.74	17.6 ± 4.75	6.44 ± 1.65	15.7 ± 5.35
Arthritic control (NaCl 9‰)	5.0 ± 1.83	14.8 ± 1.08	19.0 ± 1.83 ^{####} (139.29)	30.7 ± 6.16 ^{####} (74.43)	20.6 ± 4.61 ^{####}	33.1 ± 5.54 ^{####}
HEMa 125	6.0 ± 5.35	16.7 ± 1.17	17.0 ± 5.35 ^{####} (114.10)	34.7 ± 8.49 ^{####} (97.15 ^l)	19.0 ± 3.74 (7.76)	23.9 ± 6.73 ^{**} (27.79)
HEMa 250	5.8 ± 3.89	15.2 ± 2.63	18.8 ± 3.89 ^{####} (136.77 ^l)	29.7 ± 11.6 ^{####} (68.75)	15.3 ± 5.53 [*] (25.72)	21.4 ± 8.65 ^{**} (35.34)
HEMa 500	5.3 ± 1.87	14.3 ± 1.87	16.3 ± 1.87 ^{####} (105.28 ^l)	33.7 ± 0.84 ^{####} (91.47 ^l)	14.8 ± 3.37 [*] (28.15)	19.1 ± 0.76 ^{***} (42,29)
Methotrexate 0.75	7.0 ± 3.48	14.0 ± 2.24	17.0 ± 3.48 ^{####} (114.10)	31.7 ± 3.66 ^{####} (80.11)	14.6 ± 4.82 [*] (29.12)	17.5 ± 9.52 ^{***} (47.12)

####p < 0.001: significant difference from sedimentation rate of healthy control rats for each evaluation period. *p < 0.05, **p < 0.01; ***p < 0.001; n = 6: significant difference from the respective arthritic control for each evaluation period. HEMa: Hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia*

3.9 EFFECT OF HYDROETHANOL EXTRACT OF MALACANTHA ALNIFOLIA ON TOTAL PROTEIN LEVELS

Mean total protein count on day 0 varied non-significantly from 5.00 ± 0.21 to 6.34 ± 0.97 g/dL.

Three days later of arthritis induction, the mean number of total proteins suffered a significant decrease (p < 0.05) ranging from 29.60% to 42.19% compared to the mean number of total proteins of healthy control rats. 14th day later, the average number of total proteins of rats treated with hydroethanolic extract of *Malacantha alnifolia* at doses of 125, 250 and 500 mg/kg bw underwent significant increase (p < 0.05) ranging from 11.92; 27.10 and 30.35% compared to the average number of total proteins of arthritic control rats. Mean total protein count of methotrexate-treated rats was significantly increased (p < 0.05) by 31.70% compared to the mean total protein count of arthritic control rats (Table 9).

3.10 EFFECT OF HYDROETHANOL EXTRACT OF MALACANTHA ALNIFOLIA ON ALBUMIN LEVELS

Mean albumin levels on day 0 ranged non-significantly from 3.11 ± 0.50 to 3.35 ± 0.57 g/dL. Three days later of arthritis induction, all rats showed a significant (p < 0.001) decrease in albumin levels, ranging from 38.88% to 56.17% compared with healthy control rats. 14th day later, albumin levels in rats treated with hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* at doses of 125, 250 and 500 mg/kg bw increased significantly, by 26.25, 36.31 and 45.81% respectively, compared with albumin levels in arthritic control rats. Mean albumin content of methotrexate-treated rats increased significantly (p < 0.05) by 20.11% compared with the mean albumin content of arthritic control rats (Table 10).

Table 9. Effect of hydroethanol of *Malacantha alnifolia* extract on total proteins

Lots (mg/kg bw)	Average total protein (g/dL)/(percentage increase or decrease) (%)		
	Day 0	Day 4	Day 14
Healthy control (NaCl 9‰)	5.39 ± 0.77	5.64 ± 0.53	5.51 ± 1.02
Arthritic control (NaCl 9‰)	5.64 ± 1.03	3.30 ± 0.56 [#] (41.48)	3.69 ± 0.97 [#]
HEMa 125	6.34 ± 0.97	3.97 ± 0.38 (29.60)	4.13 ± 0.66 (11.92)
HEMa 250	5.76 ± 0.89	3.27 ± 0.56 [#] (42.02 ^l)	4.69 ± 0.75 (27.10)
HEMa 500	5.47 ± 1.05	3.49 ± 0.60 (38.12)	4.81 ± 0.54 [*] (30.35)
Mthotrexate 0.75	4.00 ± 0.21	3.26 ± 0.57 [#] (42.19)	4.86 ± 0.82 [*] (31.70)

p < 0.05: significant difference compared with total protein in healthy control rats for each evaluation period.

* $p < 0.05$; $n = 6$: significant difference from arthritic control. HEMa: Hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia*.

Table 10. Effect of hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* on albumin levels

Lots (mg/kg bw)	Mean albumin (g/dL)/(percentage increase or decrease) (%)		
	Day 0	Day 4	Day 14
Healthy control (NaCl 9‰)	3.35 ± 0.57	3.24 ± 0.14	3.31 ± 0.44
Arthritic control (NaCl 9‰)	3.11 ± 0.50	1.42 ± 0.17 ^{###} (56.17)	1.79 ± 0.37 ^{###}
HEMa 125	2.99 ± 0.30	1.45 ± 0.32 ^{###} (55.24)	2.26 ± 0.22* (26.25)
HEMa 250	3.27 ± 0.56	1.80 ± 0.38 ^{###} (44.44)	2.44 ± 0.38* (36.31)
HEMa 500	3.13 ± 0.51	1.91 ± 0.40 ^{###} (41.04)	2.61 ± 0.57* (45.81)
Methotrexate 0.75	3.24 ± 0.60	1.98 ± 0.40 ^{###} (38.88)	2.15 ± 0.11* (20.11)

$p < 0.001$: significant difference from albumin levels in healthy control rats for each evaluation period.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$; $n = 6$: significant difference from arthritic control. HEMa: Hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia*.

3.11 EFFECT OF HYDROETHANOL EXTRACT OF MALACANTHA ALNIFOLIA ON ALKALINE PHOSPHATASE LEVELS

Mean alkaline phosphatase levels varied non-significantly from 135 ± 14.9 to 155 ± 23.9 IU/L on day 0 of the experiment. Three days later of arthritis induction, the mean alkaline phosphatase count of all rats showed an increase ranging from 50.43 to 93.91% compared with the mean alkaline phosphatase count of healthy control rats. 14th day later, mean alkaline phosphatase levels in rats treated with hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* at doses of 250 and 500 mg/kg bw were significantly reduced ($p < 0.05$) by 10.92 and 14.20% respectively, compared with mean alkaline phosphatase levels in arthritic rats. Mean amount of alkaline phosphatase in methotrexate-treated rats increased significantly ($p < 0.05$) by 15.84% compared with the mean amount of albumin in arthritic control rats (Table 11).

3.12 EFFECT OF HYDROETHANOL EXTRACT OF MALACANTHA ALNIFOLIA ON ASPARTATE AMINOTRANSFERASE LEVELS

On day 0, mean aspartate aminotransferase (AST) levels ranged nonsignificantly from 111 ± 8.73 to 114 ± 4.11 IU/L. Three days later of arthritis induction, the mean AST levels of all rats increased significantly, from 88.99% to 94.49% compared with the mean AST levels of healthy control rats. 14th day later, the mean amount of AST at 500 mg/kg bw in rats treated with hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* was significantly reduced ($p < 0.05$) by 15.63% compared with the mean amount of AST in arthritic rats. Mean amount of AST in methotrexate-treated rats was significantly ($p < 0.05$) reduced by 18.95% compared with the mean amount of AST in arthritic control rats (Table 12).

Table 11. Effect of hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* on alkaline phosphatase (ALP)

Lots (mg/kg bw)	Average amount of ALP (IU/L)/(percentage increase or decrease) (%)		
	Day 0	Day 4	Day 14
Healthy control (NaCl 9‰)	148 ± 21.4	115 ± 14.4	123 ± 10.2
Arthritic control (NaCl 9‰)	165 ± 23.9	223 ± 18.2 ^{###} (93.91)	183 ± 14.8 ^{###}
HEMa 125	123 ± 16.4	213 ± 17.3 ^{###} (85.21)	173 ± 18.5 (5.46)
HEMa 250	125 ± 14.9	173 ± 17.3 ^{###} (50.43)	163 ± 15.7* (10.92)
HEMa 500	154 ± 14.4	220 ± 19.4 ^{###} (91.30)	157 ± 15.6* (14.20)
Methotrexate 0.75	137 ± 19.8	210 ± 18.1 ^{###} (82.60)	154 ± 16.5** (15.84)

$p < 0.001$: significant difference compared with alkaline phosphatase (ALP) levels in healthy control rats for each evaluation period. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$; $n = 6$: significant difference from arthritic control. HEMa: hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia*

Table 12. Effect of hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* on aspartate aminotransferase (AST) levels

Lots (mg/kg bw)	Mean AST (UI/L)/(percentage increase or decrease) (%)		
	Day 0	Day 4	Day 14
Healthy control (NaCl 9%)	112 ± 6.25	109 ± 24.3	115 ± 38.3
Arthritic control (NaCl 9%)	113 ± 8.16	208 ± 17.7 ^{###} (90.82)	211 ± 21.1 ^{###}
HEMa 125	118 ± 15.2	207 ± 19.7 ^{###} (89.90)	202 ± 14.9 (4.26)
HEMa 250	111 ± 8.73	212 ± 10.6 ^{###} (94.49)	192 ± 26.1 (9.00)
HEMa 500	122 ± 4.11	214 ± 28.4 ^{###} (96,33)	178 ± 22.7* (15.63)
Methotrexate 0.75	114 ± 4.11	206 ± 28.7 ^{###} (88.99)	171 ± 25.4* (18.95)

$p < 0.001$: significant difference compared with aspartate aminotransferase (AST) levels in healthy control rats for each evaluation period. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$; $n = 6$: significant difference from arthritic control. HEMa: hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia*.

3.13 EFFECT OF HYDROETHANOL EXTRACT OF MALACANTHA ALNIFOLIA ON ALANINE AMINOTRANSFERASE LEVELS

On day 0, mean alanine aminotransferase (ALT) levels ranged nonsignificantly from 60.3 ± 9.98 to 67.8 ± 4.43 IU/L. Three days later of arthritis induction, the mean ALT levels of all rats showed a significant increase ranging from 19.21 to 42.94% compared with the mean ALT levels of healthy control rats. 14th day later, mean ALT levels at doses of 250 and 500 mg/kg bw of rats treated with hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* were significantly reduced ($p < 0.05$) by 17.61 and 19.84% respectively, compared with the mean ALT levels of arthritic rats. Mean ALT levels in methotrexate-treated rats were non-significantly reduced by 12.82% compared with mean ALT levels in arthritic control rats (Table 13).

3.14 EFFECT OF HYDROETHANOL EXTRACT OF MALACANTHA ALNIFOLIA ON CALCIUM LEVELS

On day 0, the mean amount of calcium varied non-significantly from 3.11 ± 0.72 to 4.06 ± 1.61 . Three days later of arthritis induction, the mean calcium level of arthritic rats increased significantly, from 72.37% to 97.00%, compared with the mean level of healthy control rats. 14th day later, calcium levels in rats treated with hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* at doses of 125, 250 and 500 mg/kg bw were significantly reduced ($p < 0.01$) by 32.85 at 43.33% compared with the mean calcium levels in arthritic control rats. Mean calcium content of methotrexate-treated rats was also significantly reduced ($p < 0.01$) by 47.14% compared with the mean calcium content of arthritic control rats (Table 14).

Table 13. Effect of hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* on alanine aminotransferase (ALT) levels

Lots (mg/kg bw)	Mean ALT (IU/L)/(percentage increase or decrease) (%)		
	Day 0	Day 4	Day 14
Healthy control (NaCl 9%)	65.5 ± 8.88	68.7 ± 9.36	60.3 ± 12.41
Arthritic control (NaCl 9%)	60.3 ± 9.98	96.5 ± 10.39 ^{###} (40.46)	89.7 ± 11.54 ^{##}
HEMa 125	61.0 ± 5.29	89.6 ± 9.87 ^{##} (30.42)	79.6 ± 9.87 (11.25)
HEMa 250	64.3 ± 11.4	93.9 ± 8.65 ^{###} (36.68)	73.9 ± 8.65* (17.61)
HEMa 500	67.8 ± 4.43	81.9 ± 10.41 [#] (19.21)	71.9 ± 10.41* (19.84)
Methotrexate 0.75	63.7 ± 5.42	98.2 ± 11.77 ^{###}	78.2 ± 11.77

		(42.94)	(12.82)
--	--	---------	---------

$p < 0.05$; ## $p < 0.01$; ### $p < 0.001$: significant difference compared with alanine aminotransferase (ALT) levels in healthy control rats for each evaluation period. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$; n = 6: significant difference from arthritic control. HEMa: hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia*.

Table 14. Effect of hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* on calcium levels

Lots (mg/kg bw)	Average amount of calcium (IU/L)/(percentage increase or decrease) (%)		
	Day 0	Day 4	Day 14
Healthy control (NaCl 9%)	4.87 ± 0.95	4.67 ± 1.01	4.69 ± 0.83
Arthritic control (NaCl 9%)	4.16 ± 1.61	9.2 ± 2.36### (97.00)	10.5 ± 2.14###
HEMa 125	3.11 ± 0.72	8.55 ± 2.58### (83.08)	6.55 ± 2.46* (32.85)
HEMa 250	4.01 ± 1.53	9.06 ± 2.42### (94.00)	6.06 ± 2.67** (42.28)
HEMa 500	3.19 ± 1.77	8.05 ± 2.51### (72.37)	5.95 ± 2.65** (43.33)
Methotrexate 0.75	3.37 ± 1.61	8.95 ± 2.39### (91.64)	5.55 ± 2.54** (47.14)

$p < 0.001$: significant difference compared with calcium levels in healthy control rats for each evaluation period. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$; n = 6: significant difference from arthritic control. HEMa: hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia*.

3.15 EFFECT OF HYDROETHANOL EXTRACT OF MALACANTHA ALNIFOLIA ON PHOSPHORUS LEVELS

At the start of the experiment, the average amount of phosphorus varied non-significantly from 5.06 ± 2.64 to 6.43 ± 2.84. On day 4 later of arthritis induction, the mean phosphorus content of all rats showed a significant increase ranging from 115.85 to 142.83% compared with the mean phosphorus content of healthy control rats. 14th day later, the mean phosphorus content of rats treated with hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* at doses of 125, 250 and 500 mg/kg bw was significantly reduced ($p < 0.001$) by 21.23 to 45.89% compared with the mean phosphorus content of arthritic control rats. Mean phosphorus content of methotrexate-treated rats was significantly reduced ($p < 0.001$) by 53.49% compared with the mean phosphorus content of arthritic control rats (Table 15).

Table 15. Effect of hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* on phosphorus levels

Lots (mg/kg bw)	Average amount of phosphorus (IU/L)/(percentage increase or reduction) (%)		
	Day 0	Day 4	Day 14
Healthy control (NaCl 9%)	5.93 ± 1.58	5.93 ± 1.58	6.07 ± 1.67
Arthritic control (NaCl 9%)	6.18 ± 2.13	14.1 ± 2.13### (137.77)	14.6 ± 2.67###
HEMa 125	5.96 ± 2.53	13.9 ± 2.53### (134.40)	11.5 ± 2.10* (21.23)
HEMa 250	6.43 ± 2.84	14.4 ± 2.84### (142.83)	10.1 ± 1.97** (30.82)
HEMa 500	5.71 ± 2.51	13.5 ± 2.51### (127.65)	7.90 ± 2.27*** (45.89)
Methotrexate 0.75	5.06 ± 2.64	12.8 ± 2.64### (115.85)	6.79 ± 2.23*** (53.49)

$p < 0.001$: significant difference compared with phosphorus levels in healthy control rats for each evaluation period. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$; n = 6: significant difference from arthritic control. HEMa: hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia*.

4 DISCUSSION

In this study, arthritis, a chronic inflammatory joint disease, was induced experimentally in rats using formaldehyde diluted to 2.5%. Injection of formaldehyde causes localized inflammation and pain in a 1st phase with the release of inflammatory mediators, followed

by another phase involving inflammatory systems [23]. This late phase produces a proliferative joint inflammation that is responsible for joint changes similar to those seen in rheumatoid arthritis [24]. In addition, chronic inflammation involves the release of numerous destructive mediators such as cytokines, interferons, histamine, prostaglandins, leukotrienes [25], platelet-activating factor, nitric oxide and tumor necrosis factor [26]. According to [27], these mediators are responsible for the presence of edema, persistent pain and destruction of cartilage and bone, and severe disability in animals.

Results reported in tables 1, 2 and 3 showed the presence of arthritic signs and inflammation with elevated scores in arthritic control lots compared to healthy control rats. Indeed, in this model, inflammation was established on days 1 and 3, leading to chronic inflammation. This chronic inflammation could lead to the presence of cells destroying the functional integrity of the animal's right hind leg [28]. However, after treatment with hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* at doses of 125, 250 and 500 mg/kg bw, reduction of signs of this pathology was observed. The hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* has anti-arthritic properties similar to methotrexate in the treatment of this pathology. These results are similar to those obtained by [17]. These authors showed that aqueous extract of *Pleurotus ostreatus* at doses of 100 and 300 mg/kg bw reduced the thickness of the paw rendered arthritic by formalin. Three days later of arthritis induction, body weight of arthritic rats decreased significantly. In fact, the injection of formaldehyde into the rat's leg resulted in a loss of body weight in arthritic rats, which would be due to a change in their metabolic activity, since, according to [29], the change in rat body weight also occurs during the arthritic experimental period. However, ten days later of treatment, the mean body weight of rats treated with hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* at doses of 125, 250 and 500 mg/kg bw increased significantly. These results are similar to those of [30], who showed that the loss of body weight obtained after three days of arthritis induction was restored by the aqueous extract of *Kirganelia reticulata*. In terms of white blood cells, three days later of arthritis induction, the number of white blood cells increased significantly ($p < 0.001$) compared with healthy control rats. In fact, injection of formaldehyde triggered inflammation resulting in the active release of leukocytes, which would maintain the defensive activity of the host defense system [31]. After treatment with hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* at doses of 125, 250 and 500 mg/kg bw, white blood cell counts were significantly reduced ($p < 0.05$) compared with arthritic control rats. These results are similar to those obtained by [32]. These authors showed that aqueous extract of *Enicostemma axillare* restored white blood cell counts.

Erythrocyte counts during arthritis induction with 2.5% formaldehyde decreased three day later induction. This average red blood cell count showed a maximum and significant ($p < 0.05$) decrease of 16.62% compared with the red blood cell count of healthy control rats. Indeed, according to [33], a cell's survival depends on the integrity of their membrane. Thus, exposure of the red cell membrane to a harmful substance such as formaldehyde could lead to reactions that would participate in red cell lysis. Ten days later of treatment with hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* at doses of 125, 250 and 500 mg/kg bw, the red blood cell count was virtually restored. These results are similar to those obtained by [32]. These authors showed that the aqueous extract of *Enicostemma axillare* restored red blood cell counts. Three day later arthritis induction, mean platelet count and sedimentation rate increased significantly ($p < 0.01$) compared with healthy control rats. Platelets are known to play a role in hemostasis and local vasoconstriction. In addition, formalin induced inflammation by activating factor XII, with proteolysis cascades leading to the production of fibrin from fibrinogen, triggering coagulation [34]. Thus, the increase in fibrinogen could be one of the causes of the increase, on the one hand, in the sedimentation rate, and on the other, in the platelet count. However, 14th day later of treatment with hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* at doses of 125, 250 and 500 mg/kg bw, the mean platelet count and sedimentation rate of treated rats were significantly reduced compared with arthritic control rats. Treatment of rats with hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* restored these parameters. These results are similar to those obtained [17], who showed that aqueous extract of *Pleurotus ostreatus* at doses of 100 and 300 mg/kg bw restored platelet count and sedimentation rate in their work.

4th day later of arthritis induction, mean numbers of total protein and albumin decreased significantly. In fact, formalin injection led to a decrease in total protein and albumin levels. This decrease in the level of these proteins could be due to denaturation and structural degradation of the proteins after formaldehyde injection [35,36]. On the other hand, after 10 days' treatment with hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* at doses of 125, 250 and 500 mg/kg bw, total protein and albumin levels were restored. These results are similar to those obtained by [37]. These authors showed that the aqueous extract of *Murraya exotica* restored total protein and albumin levels.

Three days later of arthritis induction, arthritic rats showed significant increases in AST, ALT and ALP compared with healthy controls. The increase in these enzymes may be due to increased synthesis of inflammatory mediators by the liver. These enzymes present at very high concentrations in the liver can also elicit the presence of hepatocellular damage [38]. Indeed, formaldehyde injected into the rat's right hind leg triggered systemic inflammation following a complex enzymatic reaction process [39]. However, after treatment with hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* at doses of 125, 250 and 500 mg/kg bw, these parameters were restored. These results are similar to those obtained by [37]. These authors showed that aqueous extract of *Murraya exotica* restored AST, ALT and ALP levels. Calcium and phosphorus levels in arthritic rats were significantly higher than in healthy control rats. Mineralization is a process that requires calcium and phosphate ions, and involves small vesicles rich in osteoblasts, a reservoir of calcium and phosphate [40]. The destruction of bone tissue leads to the loss of certain bone tissues in the form of bone erosion by increasing plasma mineralization [41,42]. After treatment with hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* at doses of 125, 250 and 500 mg/kg bw, calcium and phosphorus levels were restored. These results are similar to those obtained by [43]. The latter showed that methanolic extract of *Barleria lupulina* at 300 and 600 mg/kg bw restored calcium and phosphorus levels.

5 CONCLUSION

Results showed that the hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* caused a reduction in signs of arthritis, decreases in white blood cell count, platelet count and sedimentation rate, as well as decreases in ALT, AST, ALP, calcium and phosphorus levels, and increases in rat body weight and red blood cell count previously increased or decreased in the presence of formaldehyde. The hydroethanol extract of *Malacantha alnifolia* has remarkable anti-arthritic properties similar to those of methotrexate.

REFERENCES

- [1] Kumar V., Verma A., Ahmed V., Sachan N.K., Anwar F. and Mujeeb M. Fostered antiarthritic upshot of *Moringa oleifera* Lam. stem bark extract in diversely induced arthritis in wistar rats with plausible mechanism. *International Journal of Pharmaceutical science and Reasearch*, 4, 3894-901, 2013.
- [2] Al-Nahain A., Jahan R. and Rahmatullah M. Review: Zingiber officinale: A potential plant against rheumatoid arthritis. *Hindawi Publishing Corporation*, 2104, 1-8, 2014.
- [3] Diomandé M., Kaboré F., Soh E., Kouakou C.L., Koné M.G., Coulibaly A.K., Djaha K., Ouattara B., Eti E., Daboiko J.C., Kouakou M.N. Paraclinical, Therapeutic and Evolutionary Profile of Osteoarticular Tuberculosis: A Report about 550 Cases in Abidjan. *Open Journal of Rheumatology and Autoimmune Diseases*, 5, 131-136, 2015.
- [4] McInnes I.B. and Schett G. Mechanisms of disease: The pathogenesis of rheumatoid arthritis. *New England Journal of Medecine*, 365, 2205-2219, 2011.
- [5] Zhao H.S., Liu D., Huang Q., Xu, Shuto T. The protective effects of incadronate on inflammation and joint destruction in established rat adjuvant arthritis. *Rheumatology International*, 26, 732-740, 2006.
- [6] Makinen H., Kautianinen H., Hannonen P., Mottonen M. and Leirisalo R.M. Sustained remission and reduced radiographic progression with combination disease modifying anti-rheumatic drugs in early rheumatoid arthritis. *Journal of Rheumatology*, 34, 316-321, 2007.
- [7] Chiolero A., Würzner G. and Burnier M. Les inhibiteurs spécifiques de la cyclooxygénase de type 2: moins d'effets rénaux que les anti-inflammatoires non-stéroïdiens classiques ? Collection Serveur académique Lausannois, ID 2000: 10670/1.1ty33r, Site consulté 20/06/2022. <https://isidore.science/document/10670/1.1ty33r>.
- [8] Ng S.C. Non-steroidal anti-inflammatory drugs-uses and complications. *Singapore Medical Journal*, 33, 510-513, 1992.
- [9] Rubbert-Roth A. and Perniok A. Treatment of patients with rheumatoid arthritis with the interleukin-1 receptor antagonist anakinra (Kineret). *Zeitschrift Fur Rheumatologie*, <https://www.semanticscholar.org/paper/Treatment-of-patients-with-rheumatoid-arthritis-the-Rubbert-Roth-Perniok/6c73703a3eb7fa7472abe9f25315af9422c33d0f>. Site consulted on 06/20/2022.
- [10] Lardry J.M. and Haberkorn V. L'aromathérapie et les huiles essentielles. *Kinestherapy Review*, 61, 14-17.2007.
- [11] OMS (Organisation Mondiale de la Santé). Stratégie de l'OMS pour la médecine traditionnelle pour 2002-2005. WHO /EDM /TRM /2002.1.
- [12] Aké Assi L. Rapport sur le colloque international de la médecine traditionnelle africaine à Abidjan-Côte d'Ivoire. *Bulletin de la médecine traditionnelle et pharmaceutique*, 4, 184-198, 1991.
- [13] Tra Bi F.H., Irié G.M., N'Gaman K.C.C. and Mohou C.H.B. Études de quelques plantes thérapeutiques utilisées dans le traitement de l'hypertension artérielle et du diabète: deux maladies émergentes en Côte d'Ivoire. *Science et Nature*, 5, 39-48, 2008.
- [14] Bouquet A. & Debray M. Plantes médicinales de Côte d'Ivoire. Edition de l'office de la recherche scientifique et technique outrem-er, 32, 10-12, 1974.
- [15] EU (European Union). Commission implementing decision of 14 november 2012 establishing a common format for the submission of the information pursuant to Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council on the protection of animals used for scientific purposes (notified under document C (2012) 8064) text with EEA relevance. *Official Journal of European Union*, 320, 33-50, 2012.
- [16] Zihiri G.N., Kra A.M., Bahi C. and Guédé G.F. Plantes médicinales immunostimulantes: critères de sélection, techniques rapides d'extraction des principes actifs et methods d'évaluation de l'activité immunogène. *Pharmacopée Africaine*, 17, 131-138, 2003.
- [17] Singh V., Vyas D., Rajshree P. and Imtiyaz A.S. Pleurotus Ostreatus produces antioxidant and antiarthritic activity in Wistar Albino Rats. *World Journal of Pharmacy and Pharceutical Sciences*, 4, 1230-1246, 2015.
- [18] Alamgeer, Ultra A.M. and Hasan U.H. Anti-arthritic activity of aqueous-methanolic extract and various fractions of *Berberis orthobotrys* Bien ex Aitch. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 17 (371), 1-16, 2017.
- [19] Waynforth B.H. Injection Techniques-Experimental and Surgical Techniques in the Rat. Academic Press, London, 3-61, 1980.
- [20] Tietz NW. Fundamentals of Clinical Chemistry, Ed. WB Saunders Co Philadelphia, 425-27, 1983.
- [21] Murray W.D., Sowden L.C. and Colvin J.R. *Bacteroides cellulosolvens* sp. nov., a cellulolytic species from sewage sludge. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 34 (2), 185-187, 1984.
- [22] Tietz N.W. *Clinical Guide to Laboratory Tests (ELISA)*, 3rd Edition, WB Saunders Co., Philadelphia, 22-23, 1995.
- [23] Wheeler-Aceto H. and Cowan A. Neurogenic and tissue-mediated components of formalin induced edema: Evidence for supraspinal regulation. *Agents Actions*, 34, 264-269, 1991.

- [24] Okoli C.O., Akah P.A. and Nwafor S.V. Anti-inflammatory activity of plants. *Journal of Natural Remedies*, 3 (1), 1-30, 2003.
- [25] Ammon H.P., Safayhi H., Mack T. and Sabieraj J. Mechanism of antiinflammatory actions of *curcumine* and *bowellic* acids. *Journal of Ethnopharmacology*, 38 (2-3), 113-119, 1993.
- [26] McIntosh J.C., Mervin-Blake S., Conner E. and Wrigth J.R. Surfactant protein A protects growing cells and reduces TN F-alpha activity from LPS-stimulated macrophages. *American Journal of Physiology*, 271 (2), 310-319, 1996.
- [27] Eric G.B. and Lawrence J.L. Rheumatoid arthritis and its therapy, The Textbook of therapeutic drugs and disease management. 6th editions Baltimore Williams and Wilkins Company 1, 579-595, 1996.
- [28] Carl M.P. Experimental joint disease: Observations on adjuvant-induced arthritis. *Journal of Chronic Diseases*, 16 (8), 863-864, 1963.
- [29] Walz D.T., DiMartino M.J. and Misher A. Adjuvant induced arthritis in rats. II. Drug effects on physiologic, biochemical and immunologic parameters. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 178 (1), 223-231, 1971.
- [30] Shruthi S.D., Sujan G.P.S., Padmalatha R.S. and Ramachandra Y.L. *In vitro*, *in vivo* and *in silico* antiarthritic studies of polyprenol from *Kirganelia reticulata* Baill. *Journal of Biochemical Technology*, 3 (5), 221-226, 2012.
- [31] Mahgoub O., Kadim I.T., Tageldin M.H., Al-Marzooqui W.S., Khalaf S.Q. and Ambu Ali A. Clinical profile of sheep fed non-conventional feeds containing phenols and condensed tannins. *Small Ruminant Research*, 78 (1-3), 115-122, 2008.
- [32] Shafeeq K.M., Senthamarai R. and Sundari S.K.K. *In vivo* antiarthritic activity of aqueous extract of *Enicostemma axillare* against formaldehyde induced arthritis. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 4 (3), 110-115, 2013.
- [33] Rahman H., Eswaraiyah M.C. and Dutta M. *In-vitro* anti-inflammatory and anti-arthritis activity of *Oryza sativa* Var. *Joha Rice* (An Aromatic Indigenous Rice of Assam). *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 15 (1), 115-121, 2015.
- [34] Ingebriget T. and Jan S.G. Factors interfering with the cell morphology in smears. *Scandinavian Journal Haematology*, 23 (3), 197-203, 1979.
- [35] Weissmann G. The role of lysosomes in inflammation and disease. *Annual Review of Medicine*, 18: 97-112, 1976.
- [36] Thompson D.J. and Stout D.G. Mixtures of Persian clover with Italian ryegrass or barley-Italian ryegrass for annual forage. *Canadian Journal of Plant Science*, 77 (4), 579-585, 1997.
- [37] Aishwarya M.N.L., Mounika P., Mounika J., Shankar M., Mallikarjuna G., Niranjana Babu M. and Nagaraju N. Antiarthritic Activity of *Murraya exotica* Linn against Formaldehyde Induced Arthritis in Wistar Rats. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 9 (3), 205-17, 2018.
- [38] Gad F.A., Abd Allah O.A., Farid A.S. and Fararh K.M. Biochemical, histopathological and immunohistochemical changes in paracetamol, fish oil and thioacetamide treated rat. *Benha Veterinary Medical Journal*, 25 (1), 18-28, 2013.
- [39] Das S., Hopkins P.M., Khambadakone D. and Durica D.S. RNAi mediated disruption of ecdysteroid signaling during limb regeneration in the fiddler crab, *Uca pugilator*. *Integrative and Comparative Biology*, 50, e 221, 2010.
- [40] Anderson H.C. Molecular biology of matrix vesicles. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 314, 266-280, 1995.
- [41] Pulla Reddy A.C.H. and Lokesh B.R. Effect of curcumin and eugenol on iron-induced hepatic toxicity in rats. *Toxicology*, 107 (1), 39-45, 1996.
- [42] Arafa H.M.M. Curcumin attenuates diet-induced hypercholesterolemia in rats. *Medical Science Monitor: Inter. Medical Journal of Experimental and Clinical Research*, 11 (7), 228-234, 2005.
- [43] Mazumder P.M., Mondal A., Sasmal D., Arulmozhi S. and Rathinavelusamy P. Evaluation of antiarthritic and immunomodulatory activity of *Barleria lupulina*. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2 (3), 1400-1406, 2012.

Évaluation de la phytodiversité des aires protégées du Niger

[Assessment of phytodiversity of protected areas of Niger]

HAMANI NOMA Abdoul-Latif¹, INOUSSA Maman Maârouhi¹, ADAMOU IBRAHIM Maman Laouali¹, DOUMA Soumana¹, SEYNI Abdoul Aziz², IBRAHIM SEYDOU Wassila³, RAFIOU OUSMANE Abdoulaye¹, BAKASSO Yacoubou¹, and MAHAMANE Ali¹

¹Laboratoire Garba Mounkaila, Université ABDOU MOUMOUNI de Niamey, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Biologie, BP 1066 Niamey, Niger

²Union Internationale pour la Conservation de la Nature - Représentation du Niger, Niamey, Niger

³Université FÉLIX HOUPHOUËT-BOIGNY, WASCAL DRP Climate Change and Biodiversity, BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: This work was a literature review of the available data on the plant diversity in protected areas in Niger. It was based on several studies carried out in the period from 2005 to 2021 in nine (9) reserves of Niger. It aimed to assess the current state of the floristic diversity and ecosystem services in these protected areas. The results revealed the information on species richness, ecological spectrums and ecosystems services provided to local population living around these protected areas. A total of 648 plants species, mostly herbaceous, and dominated by Poaceae, were recorded. The spectrum of biological types is dominated by Therophytes (43.57%) and Microphanerophytes (19.07%), which are characteristic of Sahelian vegetation. The chorology revealed a predominance of multi-regional African species and species with a wide distribution. The study highlighted six (6) main categories of ecosystem services for local populations: human food, fodder, traditional pharmacopoeia, energy wood, service wood and craft wood. This review showed that the assessment of plant diversity in the protected area of Niger was far from exhaustive, and much remains to be updated.

KEYWORDS: reserve, flora, biodiversity, ecosystem services, Niger.

RESUME: Ce travail est une synthèse des informations disponibles sur la diversité végétale des aires protégées au Niger. Il s'appuyait sur plusieurs travaux de recherche réalisés pendant la période allant de 2005 à 2021 dans les neuf (9) réserves que compte le Niger. Il visait à faire l'état des lieux de la diversité floristique et les services écosystémiques dans ces réserves. L'analyse de la documentation utilisée a fait ressortir des indications sur la richesse spécifique, les spectres écologiques et les biens et services rendus aux populations riveraines des aires protégées. Au total, 648 espèces végétales à majorité herbacées, dominées par les Poaceae ont été enregistrées. Le spectre des types biologiques est prédominé par les Thérophytes (43,57%) et les Microphanérophytes (19,07%), qui sont caractéristiques de la végétation sahélienne. La chorologie a révélé une prédominance des espèces plurirégionales africaines et des espèces à large distribution. L'étude faisait ressortir 6 principales catégories de services écosystémiques au bénéfice des populations riveraines: alimentation humaine, fourrage, pharmacopée traditionnelle, bois d'énergie, bois de service et bois d'artisanat. Aussi, il ressort de cette synthèse que l'inventaire de la flore dans ces réserves était loin d'être exhaustive et beaucoup reste à faire.

MOTS-CLEFS: réserve, flore, biodiversité, services écosystémiques, Niger.

1 INTRODUCTION

Les problèmes liés à la gestion de l'environnement et plus particulièrement à la biodiversité constituent un des défis majeurs qui se posent à l'humanité face aux impacts de changement climatique et à la pression anthropique [1].

A cet effet, les écosystèmes forestiers fournissent de nombreux services écosystémiques, notamment le maintien de la diversité biologique, l'atténuation des effets du changement climatique, la protection des sols et des ressources en eau, l'amélioration de la qualité de l'air et aussi la contribution à la réduction de la pauvreté [2]. En plus, ils sont très utilisés dans la pharmacopée traditionnelle, l'alimentation humaine et animale.

Par ailleurs ces écosystèmes forestiers subissent une pression rendant vulnérable les espèces qui tendent à disparaître. Ainsi, la totalité des espèces menacées d'extinction le sont en raison de la perte ou de la modification de la qualité de leurs habitats naturels [3].

Depuis le sommet de Rio de Janeiro en 1992 sur la diversité biologique, le Niger à l'instar de la communauté internationale s'est engagé dans un processus de gestion durable des ressources naturelles contre les différents facteurs de dégradation [4]. Toutefois, à l'instar des autres pays sahéliens, le Niger est aussi confronté à une forte dégradation et une disparition progressive de son couvert végétal dues surtout aux contraintes climatiques et aux actions anthropiques.

Face à cette situation, une prise de conscience était nécessaire en vue d'éradiquer cette perte de la biodiversité. Ainsi, pour une meilleure consolidation et une utilisation durable de ces ressources, l'Etat Nigérien avec l'appui de ses partenaires a créé plusieurs aires protégées qui ont pour vocation la protection et la préservation de la biodiversité.

L'importance des aires protégées dans la conservation de la biodiversité a été largement reconnue au Niger [5] – [8]. En effet, elles servent de refuge à de nombreuses espèces animales et végétales et constituent un patrimoine pour les populations locales [9].

Ces aires protégées regorgent l'essentiel des écosystèmes sahélo soudaniens et sahariens du pays [10]. Elles sont destinées à assurer la conservation *in situ* de la diversité biologique du pays mais jouent aussi un rôle dans l'atténuation des impacts du changement climatique [11].

Par ailleurs, ces aires protégées et leur périphérie proche correspondent aux zones les plus riches en termes de diversité dans le pays, car ils sont les plus conservées [10]. L'objectif de ce travail de synthèse est de faire l'état des lieux de la diversité floristique et les services écosystémiques dans les aires protégées du Niger.

2 METHODOLOGIE

2.1 PRESENTATION DES AIRES PROTEGEES DU NIGER

Le Niger dispose de 9 aires protégées couvrant une superficie d'environ 20 855 720 ha (soit 208557,2 km²) (Tableau 1 et Figure 1). Ces aires protégées jouent un rôle très important dans la conservation de la diversité biologique et assurent un besoin particulier aux populations locales. Elles servent de refuge aux espèces fauniques et floristiques rencontrées au Niger.

Tableau 1. Les neuf (9) aires protégées du Niger avec leurs superficies et statut

N°	Réserves	Superficies (ha)	Statuts (UICN)
1	Parc National du W du Niger (PNWN)	226 000	Catégorie II
2	Réserve Totale de Faune de Tamou (RTFT)	77 740	Catégorie VI
3	Réserve Partielle de Faune de Dosso (RPF)	551 480	Catégorie VI
4	Réserve de Biosphère de Gadabéji (RBG)	76 000	Catégorie II
5	Réserve Naturelle Nationale de l'Aïr et du Ténéré (RNNAT)	7 736 000	Catégories II et I
6	Réserve Naturelle Intégrale (RNI) ou Sanctuaire des Addax (SA)	1 280 500	Catégories II et I
7	Reserve Naturelle Nationale de Termit et Tin Toumma (RNNTT)	9 700 000	Catégories IV
8	Réserve Naturelle Nationale de Kandadji (RNNK)	1 207 000	Catégories IV
9	Réserve Naturelle Intégrale (RNI) ou Sanctuaire des Hippopotames (SH)	1000	Catégorie I b

2.1.1 PARC NATIONAL W DU NIGER (PNWN)

Le PNWN doit son nom du Parc « W » grâce à la figure géométrique en forme de la lettre « w » que dessinent les méandres du fleuve Niger dans la région de Karey-Kopto entre l'embouchure de la Tapoa et celle de la Mékrou D'après Georges (1956), c'est en 1926 qu'il fut prospecté et délimité pour être désigné « Parc de refuge ». Plus tard en 1937, il est érigé en « forêt classée domaniale de boucle du W ». En 1953, par arrêté 4676/SE, le site a eu le statut de « Réserve Totale de Faune du W ». Enfin, en 1954, cette réserve totale de faune fut proclamée « Parc National du W du Niger » par décret du 08 août 1954 relatif à la conservation de la faune et de la flore au Niger. Le PNWN fait partie de trois parcs nationaux (Bénin, Burkina Faso et Niger) qui constituaient le Parc Régional du « W » du fleuve Niger. Il s'étend entre 11°55' et 13°20' de latitude Nord et 02°04' et 03°20' de longitude Est et couvre une superficie de 226 000 hectares.

Situé à 150 km au Sud-Ouest de Niamey, dans la Commune rurale de Tamou (département de Say et région de Tillabéry), le PNWN appartient à la catégorie II de l'UICN [10].

2.1.2 RESERVE TOTALE DE FAUNE DE TAMOU (RTFT)

La Réserve Totale de faune de Tamou (RTFT) s'étend sur une superficie de 77 740 hectares. Elle est adjacente au Parc National du W au Nord-Ouest. Cette réserve a été créée par décret n°62-188/MER du 8 août 1962 et couvrait une superficie de 147 000 hectares. La RTFT est située entre les latitudes 12°28' et 12°50' Nord et les longitudes 2°06' et 2°24' Est dans la Commune rurale de Tamou (Département de Say et région de Tillabéry. Elle appartient à la catégorie VI de l'UICN [10].

2.1.3 RESERVE PARTIELLE DE FAUNE DE DOSSO (RPF)

Créée en 1962 par décret n°62-189/MER du 8 août 1962, la Réserve Partielle de Faune de Dosso (RPF) est située dans le Sud-Ouest du Niger avec pour vocation de servir de zone tampon au parc du W auquel elle est adjacente [13].

Elle est comprise entre les latitudes 12°10 et 12°50 Nord et les longitudes 2°25 et 3°35 Est. D'une superficie de 551 480 ha hectares, la RPF est à cheval sur deux régions, celle de Dosso avec 519 078 hectares (soit 94,1 %) et celle de Tillabéry (sud du département de Kollo) sur 32 402 hectares (soit 5,9 %) (MCA, 2021). Elle appartient à la catégorie VI de l'UICN [10].

2.1.4 RESERVE DE BIOSPHERE DE GADABEJI (RBG)

La Réserve de Biosphère de Gadabédji (RBG), a été créée par Arrêté n° 3120/SF/F du 25 avril 1955 portant classement de la forêt et réserve totale de faune de Gadabédji cercle de Maradi (Niger). Elle couvre une superficie de 76 000 hectares dans la commune rurale de Gadabédji. Elle est située au centre-sud du Niger à environ 560 km au Nord-Est de Niamey, et à 170 km au Nord de Maradi, chef-lieu de la région. A cette réserve, sont contiguës trois zones cynégétiques que sont les zones de Akadaney, de Tin Simitan et de Sala [10]. La RBG appartient à la catégorie II de l'UICN [10].

2.1.5 RESERVE NATURELLE NATIONALE DE L'AÏR ET DU TENERE (RNNAT)

Elle couvre une superficie de 7 736 000 hectares et se trouve dans le département d'Agadez, au nord du Niger, entre 17° 12' et 20° 30' de latitude Nord et 8° 6' et 10° 57' de longitude Est. Cette réserve a été classée par le décret n°88-019/PCMS/MAG/E du 22 janvier 1988 et s'étend entre les montagnes de l'Aïr (sommets à 2200 mètres) et le désert du Ténéré. La RNNAT a été classée Patrimoine Mondial depuis 1991 puis Réserve de Biosphère en 1997. Elle appartienne aux catégories II et I de l'UICN [10].

2.1.6 RESERVE NATURELLE INTEGRALE (RNI) OU SANCTUAIRE DES ADDAX (SA)

La Réserve Naturelle Intégrale (RNI) ou Sanctuaire des Addax (SA) a été créée par Décret n°88-020/PCMS/MAG/E du 22 janvier 1988. Elle se situe au cœur de la Réserve Naturelle Nationale de l'Aïr et du Ténéré (RNNAT). La RNI couvre une superficie d'environ 1 280 500 hectares pour un périmètre de 563 km, elle se tend entre 18° 40' et 20° de latitude Nord et 8° 44' et 10° de longitude Est. L'histoire de la Réserve Naturelle Intégrale est intimement liée à celle de la Réserve Naturelle Nationale de l'Aïr et du Ténéré étant donné qu'elles ont subi le même processus de classement. De ce fait, elles ont bénéficié des mêmes mesures de gestion et de conservation [10].

2.1.7 RESERVE NATURELLE NATIONALE DE TERMIT ET TIN TOUMMA (RNNTT)

Créée par le décret N°2012- 075/PRN /MH/E/ du 06 mars 2012, la Réserve Naturelle Nationale du Termit et du Tin Toumma (RNNTT) couvre une superficie d'environ 9 700 000 hectares, ce qui fait d'elle la plus grande réserve naturelle jusqu'ici créée en Afrique pour la conservation de la biodiversité. Elle se tend entre 16° 23'38" de latitude Nord et 11° 39' 29" de longitude Est. Cette réserve a été créée pour la conservation de certaines espèces fauniques menacées de disparition qui sont présentes dans la zone du Termit et du Tin Toumma. Elle appartient aux catégories IV (Aire de gestion des habitats ou des espèces) de l'UICN [10].

2.1.8 RÉSERVE NATURELLE NATIONALE DE KANDADJI (RNNK)

Créée par décret N°2017-629/PRN/ME/DD du 20 juillet 2017, la Réserve Naturelle Nationale de Kandadji (RNNK) est un polygone dont le périmètre s'étend sur cinq cent vingt (520) kilomètres et couvrant une superficie 1 207 000 hectares. Elle a à son sein, une Réserve Naturelle Intégrale ou Sanctuaire des Hippopotames (RNI ou SH). La RNNK est située dans la Région de Tillabéry avec les coordonnées 0° 59' longitude Est et 14°37 latitude Nord. La Réserve Naturelle Nationale de Kandadji est érigée en Aire Protégée relevant du domaine public de l'Etat. Elle correspond à une Aire Protégée de catégorie VI de UICN [15].

2.1.9 RESERVE NATURELLE INTEGRALE (RNI) OU SANCTUAIRE DES HIPPOPOTAMES (SH)

Créée par décret N° 2017-630/PRN/ME/DD du 20 juillet 2017 portant classement de la Réserve Intégrale dite « Sanctuaire des Hippopotames ».

La Réserve Naturelle Intégrale est englobée par la Réserve Naturelle Nationale de Kandadji (RNNK). Elle couvre une superficie de dix kilomètres carrés (10 km²) soit 0,83 % de la superficie totale de la réserve pour la conservation des hippopotames (*Hippopotamus amphibius*).

La Réserve Naturelle Intégrale de Kandadji est une Aire protégée de catégorie I b de l'UICN, correspondant à une zone de nature sauvage, une aire protégée gérée principalement à des fins de protection des ressources sauvages [16].

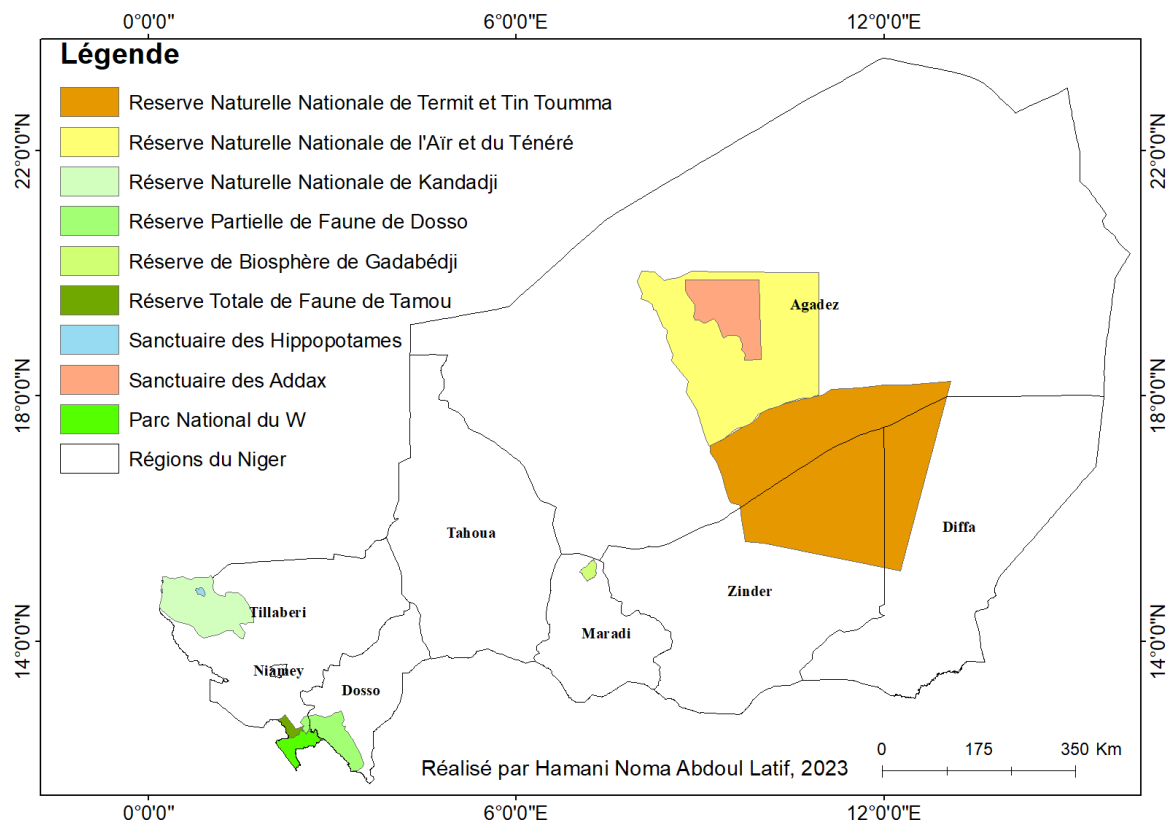


Fig. 1. Localisation des aires protégées du Niger

2.2 COLLECTE DE DONNEES

2.2.1 IDENTIFICATION DES ETUDES DE REFERENCE

La recherche bibliographique a été effectuée en ligne (sur Google Scholar, Research Gate et <https://iucn.org/fr>) et dans les bibliothèques de la Faculté des Sciences et Technique et celle de la Faculté d’Agronomie de l’Université Abbou Moumouni de Niamey. Le but était d’identifier les articles scientifiques en lien avec le présent thème et de faire une analyse bibliographique. Les termes utilisés dans le moteur de recherche étaient: « Etude dans les Réserves du Niger; flore et végétation dans les réserves en précisant le nom de la réserve, réserves du Niger et phytosociologie ».

2.2.2 ELIGIBILITE ET SELECTION DES ETUDES

Une étude était éligible si:

- Elle a été conduite dans une des réserves du Niger (parce que la synthèse concerne les réserves du Niger);
- Elle a été conduite entre 2005 et 2021 (pour avoir des données récentes);
- Elle a été conduite sur la flore et la végétation d’une réserve du Niger (car la synthèse est fait sur la phytodiversité);
- Elle traite des aspects phytosociologiques et de l’inventaire forestier (car la synthèse traite aussi de l’association entre les espèces);
- Elle traite des services écosystémiques pour la population riveraine (pour avoir des données sur l’importance de la phytodiversité pour les populations locales).

2.2.3 EXTRACTION DES DONNEES ET REFERENCE RETENUE

La figure 2 présente les résultats issus de la recherche bibliographique effectuée sur les moteurs de recherches et dans les bibliothèques. Ainsi, 70 études ont été obtenues dont 25 thèses; 5 DEA; 18 articles; 7 masters et 15 rapports en tenant compte des conditions d’éligibilité. En définitive, 14 études ont été retenues pour la réalisation de cette synthèse bibliographique. Sur l’ensemble de la documentation sélectionnée, les informations extraites sont les suivantes: le nom de l’Aire Protégée; la liste floristique; le genre, la famille, le type biologique et le type phytogéographique de chaque espèce végétale.

Par la suite, ces informations ont été enregistrées dans le tableur Excel pour constituer une base des données globale.

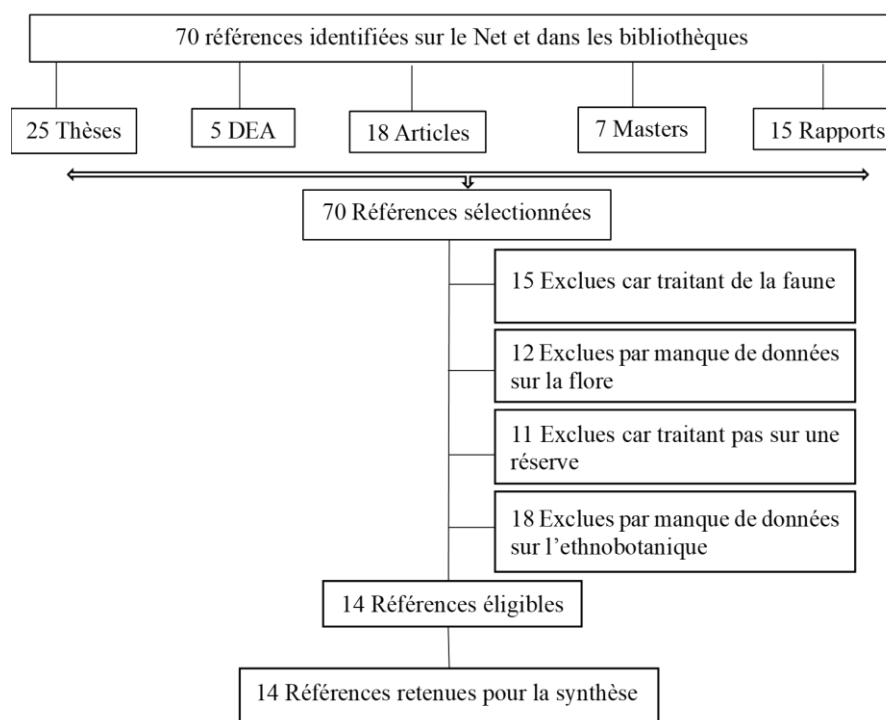


Fig. 2. Diagramme des références retenues

2.3 ANALYSE DES DONNEES

Dans la base des données reconstituée, toutes les espèces végétales rencontrées ont été répertoriées. L'analyse floristique sur la base d'un classement par famille, genre et espèce avait permis de déterminer les spectres écologiques et de calculer la richesse spécifique de l'ensemble des Aires protégées du Niger.

3 RESULTATS

3.1 ETAT DE CONNAISSANCES SUR LA DIVERSITE VEGETALE

3.1.1 DIVERSITE TAXONOMIQUE

Il ressort de l'analyse floristique basée sur les études considérées lors de ce travail, conduites de 2005 à 2021 dans les 9 aires protégées du Niger, un total de 648 espèces végétales. Ces espèces sont réparties dans 343 genres et appartenaient à 83 familles. La famille des Fabaceae avec 42 genres et 123 espèces (soit 18,98 %) était la mieux représentée, suivie des Poaceae avec 52 genres et 118 espèces (soit 18,21 %). Ensuite viennent les Malvaceae avec 22 genres et 47 espèces (7,25 %). Le Tableau 2 fait le récapitulatif des principales familles botaniques que compte les 9 aires protégées. De l'analyse de ce tableau, les 20 familles les mieux représentées totalisent 78,40 % d'espèces tandis-que les 63 familles restantes ont 21,60 %.

Tableau 2. Les principales familles botaniques rencontrées dans les 9 aires protégées du Niger dans les études de 2005 à 2021

Familles	Genres	Espèces	Fréquences relatives (%)
Fabaceae	42	123	18,98
Poaceae	52	118	18,21
Malvaceae	22	47	7,25
Rubiaceae	12	23	3,55
Convolvulaceae	3	19	2,93
Cyperaceae	11	18	2,78
Euphorbiaceae	11	17	2,62
Amaranthaceae	9	16	2,47
Asteraceae	12	16	2,47
Acanthaceae	10	15	2,31
Capparaceae	6	15	2,31
Combretaceae	6	14	2,16
Asclepiadaceae	10	11	1,70
Cucurbitaceae	7	10	1,54
Lamiaceae	8	10	1,54
Anacardiaceae	5	8	1,23
Moraceae	1	7	1,08
Scrophulariaceae	4	7	1,08
Verbenaceae	5	7	1,08
Vitaceae	4	7	1,08
Autres	103	140	21,60

3.1.2 SPECTRE DES TYPES BIOLOGIQUES

Le spectre des types biologiques de la flore des différentes réserves est dominé par les Thérophytes (46,97 %), suivis des phanérophytes (32,24 %). Les Hygrophytes ne représentaient que 4,03 % (Figure 3).

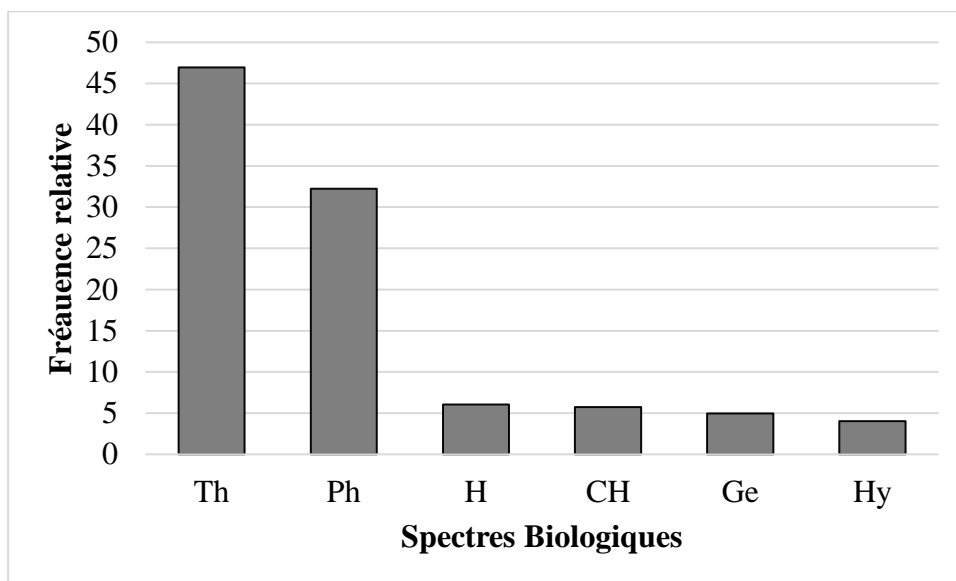


Fig. 3. Spectre des types biologiques des espèces dans les aires protégées du Niger

Légendes: Th: Thérophytes; H: Hémicryptophytes; Ge: Géophytes; CH: Chaméphytes; Ph: Phanérophytes; Hy: Hygrophyte.

3.1.3 SPECTRE DES TYPES PHYTOGEOGRAPHIQUES

Les types phytogéographiques recensés sur la flore dans les réserves ont montré une dominance des espèces Soudano-Zambéziennes (avec 31%) suivies des espèces les Pantropicales (18%) et les Paléotropicales (17%). Les types phytogéographiques les moins représentés étaient les espèces à distribution Afro-Américaine et les espèces introduites avec 1% (Figure 4).

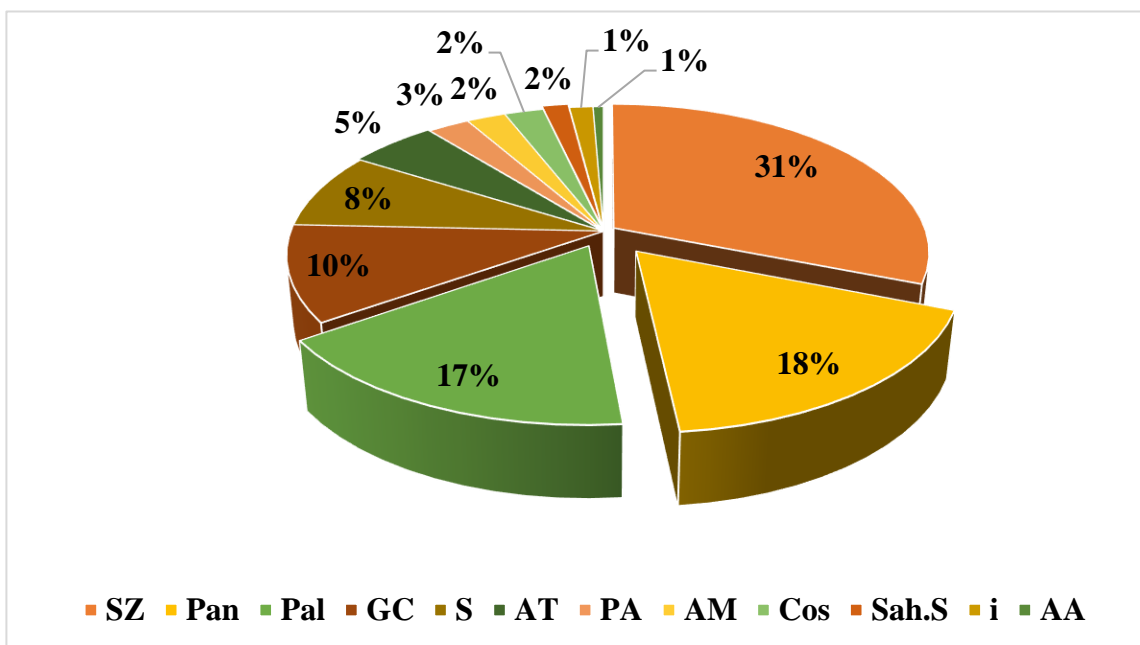


Fig. 4. Spectres phytogéographiques des espèces dans les aires protégées du Niger

Légendes: AA: espèces à distribution Afro-Américaine; AM: Afro-Malgaches; AT: Afrique Tropicale; Cos: Cosmopolites; GC: Guinéo-Congolaises; Pal: Paléotropicales; Pan: Pantropicales; PA: Plurirégionales Africaines; S: Soudaniennes; SZ: Soudano-Zambéziennes; Sah.S: Saharo-Sindiennes et i: introduite.

3.2 CATEGORIES DES SERVICES ECOSYSTEMIQUES DANS AIRES PROTEGEES

Le Millennium Ecosystem Assessment, (2005) a défini quatre (4) grandes catégories de services écosystémiques à savoir: le service d’approvisionnement, le service de régulation, le service de support et le service culturelle. De ces quatre services écosystémiques, le service d’approvisionnement reste le plus connu des populations et le mieux exploité scientifiquement.

Selon la plupart des études examinées, les aires protégées jouent un rôle très important dans la préservation des écosystèmes au Niger. Ces derniers fournissent aux communautés locales des biens et services, surtout les services liés à l’approvisionnement. En effet, certains produits comestibles issus des écosystèmes contribuent directement à l’alimentation et procurent des revenus aux ménages à travers les fruits, les graines, les tubercules, les fleurs et les sèves. Le recours aux produits forestiers ligneux et non ligneux, surtout les feuilles, s’observe le plus souvent pendant les périodes de crise alimentaire où l’exploitation devient plus intense. Au-delà du rôle alimentaire, une seconde fonction des plantes est la fourniture en fourrage au bétail. Certaines espèces sont prélevées à des fins pharmacologiques. La population locale utilise une diversité d’espèces ligneuses comme bois d’œuvre et de service. Les parties les plus concernées par ces services d’approvisionnements sont: les feuilles, les fruits, les écorces, les racines, le bois et parfois la plante entière.

Cependant, la plupart des études ont fait cas d’une régression du couvert végétales lié à une surexploitation de la phytodiversité conduisant à une dégradation des écosystèmes très souvent avec la disparition des espèces. Ainsi, des espèces végétales comme: *Azelia africana* Sm. ex Pers.; *Anogeissus leiocarpa* (DC.) Guill. & Perr.; *Bombax costatum* Pellegr. & Vuillet; *Boswellia dalzielii* Hutch.; *Cadaba farinosa* Forssk.; *Senna singueana* (Delile) Lock; *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.; *Daniellia oliveri* (Rolfe) Hutch. & Dalziel; *Commiphora africana* (A.Rich.) Engl.; *Detarium microcarpum* Guill. & Perr.; *Ficus sycomorus* L.; *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss.; *Kigelia africana* (Lam.) Benth.; *Parkia biglobosa* (Jacq.) R.Br. ex G.Don; *Prosopis africana* (Guill. & Perr.) Taub.; *Pterocarpus erinaceus* Poir.; *Securidaca longipedunculata* Fresen.; *Sterculia setigera* Delile; *Stereospermum kunthianum* Cham.; *Tamarindus indica* L.; *Terminalia avicennioides* Guill. & *Ziziphus mucronata* Willd.; *Pseudocedrela kotschy* (Schweinf.) Harms et *Borassus aethiopum* Mart. se trouvent aujourd’hui menacées et pour cause les services non contrôlés qu’elles rendent aux populations.

4 DISCUSSION

Dans les 9 aires protégées que compte le Niger, à l’état actuel, un total de 648 plantes supérieures a été enregistré dans les différents travaux conduits dans ces réserves. Cette flore représente 41,14 % de la flore phanérogamique du Niger qui était à 1575 espèces selon Mahamane et al. (2009). En effet, si on considère les travaux de recherche effectués sur l’ensemble du pays et en considérant tous les taxa, la richesse spécifique du Niger est de: 547 Algues, 14 Ptéridophytes, 10 bryophytes et 1575 plantes supérieures (Mahamane et al., 2009)

Il est à noter que les réserves se trouvant dans la partie Sud du pays sont les plus diversifiées car elles sont dans les zones écologiques les plus humides. Il s’agit du Parc National W du Niger; la Réserve Totale de faune de Tamou; Réserve Partielle de Faune de Dosso et la Réserve Naturelle Nationale de Kandadji (Saadou, 1990). Cette flore est dominée par les Fabaceae qui présentaient la plus grande richesse spécifique. Elle forme avec les Poaceae et les Malvaceae 44,44 % de l’ensemble de la flore de ces réserves. Cette dominance des Fabaceae a été rapportée par plusieurs études menées au Sahel notamment celle de (Abdou, 2021; Dembele et al., 2023; Ibrahima et al., 2023; Ouedraogo et al., 2023). La dominance de cette famille pourrait être due, à leur dissémination, leur germination qui est rapide et au mode de transport des semences qui sont multiples (le vent, l’eau ou les animaux etc...) d’une part, et d’autres part, ils sont caractéristiques de la zone Nord soudanienne et dans la plupart des mosaïques de savanes arbustives. Il a été démontré que les Poaceae sont des espèces qui résistent aux différentes perturbations car elles développent une stratégie leur permettant de se maintenir et de se développer dans un environnement perturbé (Bremen et De Ridder, 1991).

L’analyse des formes de vie a montré une prédominance des Thérophytes suivis des Phanérophytes. Ces résultats sont proches de ceux trouvés par [25] – [27]. La prédominance des Thérophytes montre que ces plantes s’adaptent mieux aux conditions du milieu. En effet, les Thérophytes bouclent leur cycle pendant la saison des pluies et passent la saison sèche à l’état de graines, donc sont moins affectées par les rudes conditions du milieu [4]. Elles font parties aussi des principales plantes caractéristiques propres à la végétation sahélienne [18].

Les Phanérophytes sont des indicateurs d’une végétation permanente indiquant aussi une adaptation du milieu. La proportion des Phanérophytes dénote l’importance des formations arbustives de ces réserves [5], [9], [28]. Ce qui explique la prédominance de ces types biologiques dans ces zones.

Pour les types phytogéographiques, une prédominance des espèces plurirégionales africaines est observée. L'analyse de la Figure 4 a montré que, la flore globale est dominée par les espèces Soudano-Zambéziennes avec 31% suivi des espèces à large distribution notamment les Pantropicales et les Paléotropicales avec respectivement 18% et 17%. Les types les moins représentés regroupent les espèces à distribution Afro-Américaine et les espèces introduites avec 1% chacun. La présence d'espèces plurirégionales témoigne d'une végétation perturbée. Le même constat a été fait par [7], [26], [29] qui ont observées la prédominance des espèces Soudano-Zambéziennes. Les résultats ont révélé une flore en régression car la forte proportion des espèces à large distribution est un indice de perturbation et indique que la flore perd de sa spécificité [30]. Cet état de fait pourrait être dû aux impacts du changement climatique et à la pression anthropique sur les écosystèmes des aires protégées du Niger.

La richesse floristique fournissait aux populations locales, un ensemble de produits utilisés directement dans l'alimentation humaine. A ce niveau plusieurs espèces végétales font l'objet d'utilisation, et les parties les plus utilisées sont: les fruits, les graines, les feuilles et la gomme car ils améliorent l'état nutritionnel des populations rurales. Selon Saadou (1998), il est estimé que plus de 25% des composants de médicaments proviennent des végétaux et environ 80% de l'alimentation mondiale est assurée par moins de deux douzaines des espèces végétales et animales.

Le prélèvement des plantes à des fins de Pharmacopée traditionnelle concerne les feuilles, les fruits, les écorces, les racines et parfois la plante entière. Elles sont exploitées par écorçage, arrachage des feuilles et par déracinement. En effet, la recherche et la prescription de plantes à des fins médicinales constituent l'activité principale de certains groupes socio-professionnels (guérisseurs, coiffeurs traditionnels, chasseurs etc.). Il faut aussi noter que la diversité végétale de ces réserves joue un rôle socio-économique important pour la population locale car elle est utilisée comme bois énergie, de service, d'artisanat et même source de revenu. Cette flore est aussi utilisée comme aliment bétail soit directement, soit par l'intermédiaire de l'homme suite à l'émondage [32]. Ainsi, plusieurs espèces ligneuses jouent un rôle capital dans l'alimentation des animaux en leur assurant toujours un fourrage vert.

5 CONCLUSION

La présente étude s'inscrit dans le cadre de l'évaluation de la phytodiversité des aires protégées du Niger. Elle a fait l'état de lieux des informations sur la diversité floristique et l'importance de services écosystémiques pour les populations riveraines. La flore des 9 réserves était composée de 648 espèces végétales (herbacées et ligneuses). Cette flore était constituée de 343 genres regroupés dans 83 familles et principalement dominée par deux (2) familles à savoir: les Fabaceae et Poaceae. Les types biologiques dominants étaient les Thérophytes et les Phanérophytes qui sont des indicateurs d'une bonne adaptation de ces plantes au milieu aride. Du point de vue chorologique, les types phytogéographiques les plus représentés étaient les espèces soudano-zambéziennes suivies des espèces à large distribution.

Cette analyse a démontré l'importance de la végétation de ces aires protégées pour les populations riveraines. En effet, les plantes contribuaient à la fourniture de six principales catégories de services écosystémiques: l'alimentation humaine, le fourrage, la pharmacopée traditionnelle, le bois d'énergie, le bois de service et le bois d'artisanat. Malheureusement, il ressort que plusieurs de ces plantes étaient menacées de disparition dans les différentes zones. Pour mieux conserver les écosystèmes, des mesures idoines doivent être prises en vue d'atténuer la dégradation persistante de ces écosystèmes pour une gestion durable des ressources naturelles disponibles au Niger.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les autorités de la Faculté des Sciences et Techniques et ceux de la Faculté d'Agronomie qui ont facilité l'accès à la bibliothèque de ladite institution dans le cadre de cette étude.

REFERENCES

- [1] FAO, «Global Forest Resources Assessment, progress towards sustainable forest management, Rome.,» 2005.
- [2] Y. Assongba, «Ethnobotanique, Ecologie, Répartition spatiale et statut de conservation de *Dialium guineense* Willd (Fabaceae) au Bénin.,» Thèse de Doctorat unique, 2014. [Online]. Available: Université d'Abomey-Calavi, Bénin, p 230.
- [3] W. N. Bonou, «Caractérisation structurale des formations végétales hébergeant *Azizelia africana* SM : cas de la forêt classée de la lama au sud du Bénin.,» Thèse pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Agronome Option; 2007. [Online]. Available: Université d'Abomey-Calavi (BENIN), 120p.

- [4] B. Morou, «Impacts de l'occupation des sols sur l'habitat de la girafe au Niger et enjeux pour la sauvegarde du dernier troupeau de girafes de l'Afrique de l'Ouest.» Thèse de Doctorat en Biologie Appliquée, 2010. [Online]. Available: Université Abdou Moumouni de Niamey, p.198.
- [5] A. Mahamane, «Etudes floristique, phytosociologique et phytogéographique de la végétation du Parc Régional du W du Niger.» Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques et Ingénierie Biologique, 2005. [Online]. Available: Université Libre de Bruxelles, p.443.
- [6] M. M. Inoussa, «Dynamique des forêts claires dans le Parc National de W du Niger.» Thèse de Doctorat en Biologie et Ecologie Végétales, 2011. [Online]. Available: Université Abdou Moumouni, 93p.
- [7] H. N. Abdoul Latif, «Evaluation de la phytodiversité et perception paysanne des services écosystémiques dans la Réserve Partielle de Faune de Dosso, Ouest nigérien.» Mémoire de master en Ecologie et Gestion Durable de la Biodiversité, 2020. [Online]. Available: Université Abdou Moumouni. p.57.
- [8] I. K. Abdou, «Evaluation de la biodiversité et caractérisation de la végétation de la Réserve Partielle de Faune de Dosso.» Thèse de Doctorat en Ecologie végétale et Biodiversité, 2021. [Online]. Available: Université Abdou Moumouni, 247p.
- [9] H. Abdourhamane, B. Morou, H. Rabiou, and A. Mahamane, «Caractéristiques floristiques, diversité et structure de la végétation ligneuse dans le Centre-Sud du Niger : cas du complexe des forêts classées de Dan kada Dodo-Dan Gado.» *Int. J. Biol. Chim. Sci.*, vol. 7, no. June, pp. 1048–1068, 2013, doi: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v7i3.13>.
- [10] UICN/PACO, «Parcs et réserves du Niger : évaluation de l'efficacité de la gestion des aires protégées.» 2010.
- [11] R. Habou, «Caractérisation des peuplements naturels de *Pterocarpus erinaceus* Poir. et élaboration de normes de gestion durable au Niger et au Burkina Faso (Afrique de l'Ouest).» Thèse de Doctorat en Biologie et Ecologie végétales, 2016. [Online]. Available: Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, 182p.
- [12] R. Georges, Faune et chasse en Afrique occidentale française, Guide du tourisme de la nature vivante. 1956. [Online]. Available: Dakar, p. 412.
- [13] PAG / RBWN, «Plan d'Aménagement et de Gestion de la Réserve de Biosphère du W du Niger.» 2016. [Online]. Available: p.144.
- [14] Millennium Challenge Account Niger, «Elaboration des plans d'aménagement et de gestion de la Zone Ramsar Moyen Niger et de la Réserve Partielle de Faune de Dosso.» Niger, 2021.
- [15] République du Niger, DECRET N° 2047-628/PRN/ME/DD du 20 juillet 2017 portant classement de la Réserve Naturelle Nationale de Kandadji (RNNK). 2017.
- [16] République du Niger, DECRET N° 2047-630/PRN/ME/DD portant classement de la Réserve Intégrale dite Sanctuaire des Hippopotames. 2017.
- [17] Millennium Ecosystem Assessment, «Ecosystems and Human Well-being : Opportunities and Challenges for Business and Industry. World Resources Institute, Washington, DC.» 2005.
- [18] A. Mahamane *et al.*, «Biodiversité végétale au Niger : Etat des connaissances actuelles.» *Ann. Univ. Lomé*, vol. XVIII, no. October 2017, pp. 81–93, 2009, doi: <https://www.researchgate.net/publication/320255820>.
- [19] M. Saâdou, «La végétation des milieux drainés nigériens à l'Est du fleuve Niger.» Thèse de doctorat en Es-Sciences Naturelles, 1990. [Online]. Available: Université Abdou Moumouni, p.393.
- [20] R. Maman Moutari Danjouma, M. M. Inoussa, B. Morou, H. N. Abdoul-Latif, M. H. Illo Souley, and Y. Bakasso, «Diversité Floristique de la Végétation de la Zone Centrale de l'Habitat des Girafes du Niger, Afrique de l'Ouest.» *Eur. Sci. Journal, ESJ*, vol. 20, no. 12, p. 96, 2024, doi: [10.19044/esj.2024.v20n12p96](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n12p96).
- [21] D. Ibrahima, É. Gnahoré, and N. D. Ouattara, «Structure, richesse et diversité de la flore ligneuse des forêts classées de Kimbrila et de Kanhasso (Nord- Ouest de la Côte d'Ivoire).» *Int. J. Biol. Chim. Sci.*, vol. 17, no. February, pp. 561–573, 2023, doi: [dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v17i2.22](https://doi.org/10.4314/ijbcs.v17i2.22).
- [22] D. T. Ouedraogo, R. Habou, W. A. Zida, M. M. Inoussa, and M. Ali, «Diversité et structure des ligneux mellifères et habitats de l'apifaune de la zone pastorale de Gadeghin en zone soudanienne du Burkina Faso.» vol. 41, no. December, 2023, [Online]. Available: ISSN 1011-6028.
- [23] B. Dembele, A. P. K. Gomgnimbou, J. T. Yameogo, W. O. Ouedraogo, and M. Hien, «Etude de la phytodiversité ligneuse dans la bande de servitude de la rivière Kou dans la Province du Houet (Burkina Faso).» *J. Agric. Environ. Sci.*, vol. 12, no. 1, pp. 18–30, 2023, doi: [10.15640/jaes.v12n12a3](https://doi.org/10.15640/jaes.v12n12a3).
- [24] H. Breman and N. De Ridder, Manuel sur les Pâturages des Pays Sahéliens. Karthala, ACCT, CABO-DLO et CTA. 1991. [Online]. Available: p.485.
- [25] M. M. Inoussa *et al.*, «Situation de référence de la phytodiversité et la productivité herbacée d'un dispositif de suivi du feu de brousse au Niger.» *Int. J. Biol. Chim. Sci.*, vol. 8, no. June, pp. 1165–1178, 2014.
- [26] K. A. K. Kaou, L. M. Ousmane, D. G. Iro, K. Saley, H. Rabiou, and P. Roger, «Diversité floristique et structure de la végétation dans la zone dunaire du sud-est du Niger : Cas de Mainé soroa.» *J. Appl. Biosci.*, no. 1997–5902, pp. 12053–12066, 2017, doi: <https://dx.doi.org/10.4314/jab.v120i1.8>.

- [27] S. K. Bourahima *et al.*, «Diversité floristique et écologie des plantes aquatiques du fleuve Niger (Régions de Tillabéry et Niamey),» *Int. J. Biol. Chim. Sci.*, vol. 17, no. December, pp. 2711–2723, 2023 ; DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v17i7.9>.
- [28] A. Thiombiano, «Les Combretaceae du Burkina Faso : Taxonomie, écologie, dynamique et régénération des espèces.,» Thèse de doctorat d'Etat, 2005. [Online]. Available: Université de Ouagadougou, 290p.
- [29] A. Garba, I. T. Djima, L. Abdou, and A. Mahamane, «Caractérisation de la végétation ligneuse du bassin versant de la Maggia dans la commune rurale de Bagaroua (région de Tahoua),» *Int. J. Biol. Chim. Sci.*, vol. 2, no. June 2020, pp. 571–584, 2017, doi: DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i2.4>.
- [30] B. Sinsin, «Phytosociologie, écologie, valeur pastorale, production et capacité de charge des pâturages naturels du périmètre Nikki-Kalalé au Nord-Bénin.,» Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, 1993. [Online]. Available: Université Libre de Bruxelles, p.390.
- [31] M. Saâdou, *Evaluation de la biodiversité biologique au Niger : éléments constitutifs de la biodiversité végétale*. 1998. [Online]. Available: Conseil National de l'environnement pour un Développement Durable.SE/ CNEDD, p.138.
- [32] H. Boubacar, «Caractérisation biophysique des ressources ligneuses dans les zones dégradées et reverdies au Sahel : cas du département de Mayahi (Niger).,» Mémoire pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies en Biologie appliquée., 2010. [Online]. Available: Université Abdou Moumouni, p. 69.

Effet des fertilisants organiques et inorganiques sur la production de riz (*Oryza sativa*) pluvial cultivé à Beré au Tchad

[Effect of organic and inorganic fertilizers on the production of rainfed rice (*Oryza sativa*) grown in Beré, Chad]

Alain Ignassou Djinet¹, Kilya Souang¹, and Memti Mberdoum Guinambaye²

¹Ecole Normale Supérieure de Bongor, Département des Sciences de la Vie et de la Terre, BP 15 Bongor, Chad

²Université de N'djaména, Faculté des Sciences Exactes et Appliquées BP 1117, N'djaména, Chad

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: Inadequate use of mineral fertilizers causes leaching and impoverishment of soil which results in a considerable drop in yield. The use of organic fertilizers seems to be a reliable alternative to improve yield. The objective of the work is to evaluate the effect of goat waste at different levels in order to determine the optimal dose for better rice production. It also aims to verify the idea that mineral fertilizer modifies the organoleptic quality of food. For this the length of the plants was measured and the associated maximum growth speed was determined. The number of tillers per plot, the number of panicles per plot, the number of grains per tiller, the weight of grains per tiller were recorded and the yield was estimated. The results showed that the parameters studied were significantly influenced by the fertilizer inputs. Thus the highest height (77.33 cm) was observed in the plants having received the dose of 2.5 kg/m² of goat waste with the maximum growth speed of 5.11 cm per day reached on the 85th day after sowing. The same goes for the number of tillers per plot (336) and the number of panicles per plot (329.33). While the highest number of grains per tiller (1253), weight of grains per tiller (26.42) and yield were noted in plants treated with 10 g NPK and 5g Urea. In addition, the rice having been treated with goat waste is sweet (60 %) and presents a good floury appearance (86.67 %). The dose of 2 kg/m² of goat waste seem to be optimal for the cultivation of rain fed rice. Thus goat waste could validly replace mineral fertilizer in soil fertilization.

KEYWORDS: river rice, fertilizers, growth, yield, Chad.

1 INTRODUCTION

Le riz occupe une place importante dans l'alimentation humaine et nourrit plus de la moitié de la population mondiale. C'est la première céréale dans l'alimentation humaine au monde et la deuxième céréale mondiale après le maïs en terme de production et de superficie emblavée [1]. Le riz est une céréale de la famille de poacées ou graminée, cultivé dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées chaudes pour son fruit ou caryopses, riche en amidon [2]. La population mondiale vient de franchir le cap de huit milliards d'habitant et la production du riz sur le plan mondial est de 757 millions de tonnes en 2020 [3]. Cette production est réduite à 512,8 millions de tonnes pour la campagne agricole 2022/2023 [3]. Nourrir cette population sans utiliser les fertilisants semble une mission impossible. Au Tchad la culture du riz a été introduite dès l'époque coloniale et est cultivée dans les plaines du mayo kebbi –Est, de la Tandjilé, des deux Lognes et du moyen chari [4].

Tant bien que la culture du riz pluvial est pénible, coûteuse et dépendante de la pluviométrie, cette culture a drainé la majorité de la population dans le département de la tandjilé Centre en défaveur de la culture du coton, pour ses multiples avantages. La qualité du sol de cette localité et les méthodes de labour permettent la production de meilleure qualité du riz

sur le plan national sans distinction de variétés cultivées. Sur le plan économique, le prix du riz de Béré reste toujours élevé sur le marché national, compte tenu de sa qualité appréciée par les consommateurs.

Plus d'un demi-siècle de labour du riz, les rizières sont lessivés et appauvries. Les rendements sont de plus en plus faibles. Les sels minéraux moins abondants dans le sol ne favorisent pas la croissance, la talle et le développement du riz [5]. La fertilisation des champs par les débris organiques est mal connue dans le milieu. Les producteurs ont une préférence pour les engrais minéral, mais le prix des intrants est élevé, parfois ils sont aussi introuvables. Cela ne permet pas aux agriculteurs de s'en procurer facilement.

Pour cela, l'utilisation des engrais organique semble être une alternative fiable. Le riz de Béré autrefois apprécié par les consommateurs pour son goût et sa matière sèche. Peut-il encore être apprécié? Car les producteurs utilisent l'engrais minéral pour pouvoir à assurer le rendement.

L'objectif général du travail est d'évaluer l'effet de déchets des cabris à différents niveaux afin de déterminer la dose optimale pour une meilleure production de riz. Ceci avec l'espoir de suppléer à la longue l'utilisation d'engrais minéral. En outre, il vise aussi à vérifier l'idée, selon laquelle l'engrais chimique modifie la qualité organoleptique des aliments.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL

SITE D'ÉTUDES

Béré est situé entre Kélo et Lai; distant de 42 km de Kélo et 18 km de Lai. Béré est l'un des cinq départements de la province de la Tandjilé dont les coordonnées géographiques sont: 16°10'12"E et 9°27'36"N. Il est situé au Nord et à l'Ouest par la Sous-préfecture de Kolon, Département de la Tandjilé Ouest, au Sud par la Sous-préfecture de Bao, Département de Ngoukoussou, à l'Est par Lai chef lieu de la province. La population de ce département est essentiellement agricole. Béré est soumis à un type soudano-guinéen avec deux saisons: une saison sèche plus longue et une saison de pluie qui dure environ 5 mois. La température au cours de l'année oscille entre 17° et 40°C avec une moyenne de 28,90°C. Le sol de type sablo-argilo-limoneux est favorable à la riziculture. La pluviométrie annuelle de cette localité varie entre 1200 et 1600 mm. La plus grande surface cultivable est une pleine, la culture du riz y pratiquée (figure 1).

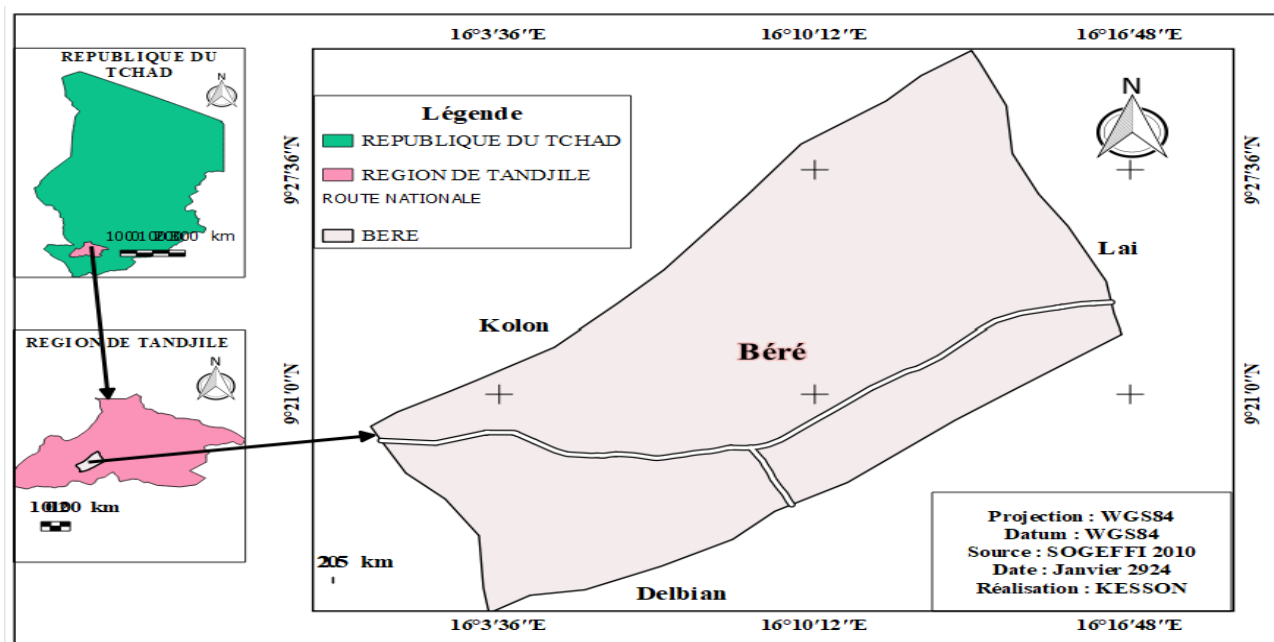


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal utilisé dans cette expérimentation est la semence de la variété de riz local dénommée "SK" par les populations de la localité. La. Cette variété de riz local présente les principales suivantes: La couleur roux du collet permet de la distinguer de riz sauvage, le développement rapide et son cycle court.

MATÉRIEL MINÉRAL UTILISÉ

Le NPK (20-10-10) et l'urée (46%) ont été utilisés comme engrais minéraux obtenus à l'ONDR de BERE.

MATÉRIEL ORGANIQUE UTILISÉ

Les déchets des cabris utilisés comme matière organique proviennent de l'enclos des éleveurs-agriculteurs de la place.

APPLICATION DES MATIÈRES ORGANIQUE ET MINÉRALE

La méthode de semis direct a été utilisée après le test germinatif. Les graines ont été semées directement sur la parcelle. Le déchet des cabris a été appliqué dans trois parcelles retenues au hasard dans chaque bloc selon les doses suivantes: Les parcelles témoins ont été notées (T0); les parcelles ayant reçu 1,5 kg au m² des déchets de cabris ont été notées (Tf1), les parcelles traitées avec 2 kg au m² des déchets de cabris ont été notées (Tf2), celles ayant reçu 2,5 kg au m² des déchets de cabris ont été notées (Tf3). L'application des différentes doses d'engrais chimiques (NPK et Urée) est la suivante : les parcelles ayant reçu 5g de NPK et 5g d'Urée au m² ont été notées (Teu1). Celles ayant reçu 7,5g de NPK et 5g d'Urée au m² ont été notées (Teu2) et enfin celles ayant reçu 10g de NPK et 5 g d'Urée au m² ont été notées (Teu3).

2.2 METHODES**DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL**

Le dispositif expérimental utilisé est celui d'un bloc de Fisher complètement randomisé comportant trois (3) répétitions sept (7) traitements. Chaque bloc compte neuf (9) parcelles élémentaires soit 27 parcelles pour l'expérimentation et. Le dispositif a une longueur de 20,20 m et une largeur de 6,40m soit une superficie de 129,28 m². La distance entre les blocs était de 50 cm et celle des parcelles élémentaires entre elles était de 20 cm. Une parcelle mesure 2 m X 2 m de côté soit 4m². Chaque parcelle élémentaire compte 13 lignes et 14 poquets par ligne soit 196 poquets par parcelle avec une distance d'inter poquet de 12,5 cm.

CONDUITE D'ESSAI

L'expérimentation a été conduite en saison des pluies (du 05 juillet au 14 Octobre 2023) dans un champ d'une superficie de 129,28 m².

- Préparation du champ expérimental.

La traction animale a été utilisée pour le labour du champ le 05/7/2023. Par contre le planage et la séparation des parcelles ont été faits manuellement à la houe.

- Amendement et semi des parcelles

Dans ce champ expérimental, 9 parcelles ont été amendé à raison de 3 parcelles par bloc avec des fertilisants organiques à différentes doses: Tf1=1,5 kg/ m² soit 15t/ha; Tf2=2 kg/ m² soit 20 t/ ha et Tf3= 2,5 kg/ m² soit 25t / ha. Le semi des 3 blocs de 27 parcelles a été fait le 08 Juillet 2023 en un seul jour. Le semi a été fait en ligne dans des poquets faits à l'aide de la houe. Avant de semer les grains, un test de germination a été fait au préalable après vannage de semences. Ce test de germination nous a servi d'assurance du pouvoir germinatif.

ANALYSE DES ÉCHANTILLONS DE SOLS ET DÉCHETS DES CABRIS

Les analyses des échantillons de sols et de déchet des cabris ont été faites à l'Institut Tchadien de Recherche Agronomique pour le Développement (ITRAD) le 25/01/2024. Les analyses faites concernaient les paramètres physique et chimique. Des échantillons de sol ont été prélevés à une profondeur 0-20 cm à deux endroits différents du champ expérimental. Ils ont été

par la suite conservés dans les sachets. Par contre les déchets des cabris collectés ont été d'abord broyés puis tamisés et mis dans des sachets par dose.

MÉTHODES D'ANALYSE DU SOL

Les échantillons de sol prélevés ont été apportés au laboratoire pour déterminer la teneur en sable, argile et limon selon la méthode granulométrique.

MÉTHODES D'ANALYSE DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUE DES DÉCHETS DE CABRIS ET DE SOL.

Les échantillons de sol et les échantillons de déchets de cabris préalablement préparés ont été soumis aux analyses chimiques et physiques. Pour cela, plusieurs méthodes ont été utilisées. Ces analyses portaient sur la teneur en carbone (C%), en azote total (N%), en matière organique (MO), en phosphore assimilable (p.ass%), en potassium (K%), en calcium (Ca%), PH et la conductivité électrique.

Le pH a été déterminé par la méthode PH-mètre;

La Conductivité Electrique a été déterminé par la lecture direct sur le conductimètre;

Le Calcium a été déterminé par la méthode Palintest;

La matière Organique a été déterminé par la méthode de Walkey-black;

L'azote total a été déterminé par la méthode de Kjeldahl;

Le Phosphore assimilable a été déterminé par la méthode de Bray;

Le Potassium a été déterminé par la méthode de Photomètre à 520.

MESURE DU PARAMÈTRE MORPHOLOGIQUE

LA HAUTEUR DES PLANTS

La hauteur des plantes a été mesurée à l'aide d'un mètre Ruban. Le mètre ruban a été placé au collet jusqu'à l'extrémité apicale de la plante. Les mesures ont débuté deux semaines après la germination et elles s'effectuaient régulièrement toutes les semaines jusqu'à la maturité des panicules. Pour cela trois (3) pieds de riz ont été retenus au hasard dans chaque parcelle élémentaire soit au total 27 pieds par bloc et 81 pieds pour les trois blocs.

Les différentes mesures effectuées ont permis de déterminer la vitesse maximale de croissance de la plante selon la formule: $V=dl /dt$ exprimée en cm/jour

MESURE DES PARAMÈTRES AGRONOMIQUES

LE NOMBRE DE PANICULES PAR TOUFFE

La détermination du nombre des panicules par touffe au mètre carré de chaque parcelle issue des différents traitements des trois blocs a été faite. Pour cela trois plants de riz ont été choisis au hasard dans les parcelles élémentaires et étiquetés sur lesquels les panicules ont été comptées par la suite.

LE NOMBRE DE GRAINS PAR PANICULES

Les panicules préalablement comptées ont été récoltées puis étiquetées. En suite, le nombre des grains par panicules a été compté et noté.

LE NOMBRE DE GRAINS PAR TALLE

Des talles de pieds de riz ayant été choisis au hasard dans les parcelles élémentaires constituant les trois blocs ont été récoltées et étiquetées. Le nombre de grains a été compté et noté.

LE POIDS DE GRAINS PAR TALLE

Afin de bien évaluer le rendement en paddy par parcelle, les panicules des talles des parcelles ayant été choisies ont été récoltées. Les panicules ont été séchées puis égrainées. Les grains ont été pesés à la balance puis le poids a été noté. Le poids de grains par talle obtenu nous a permis de calculer le rendement de chacun des traitements.

DÉTERMINATION DE LA MATIÈRE SÈCHE

Les panicules à maturité ont été récoltées puis pesés et les poids ont été notés. Par la suite elles ont été séchées au soleil pendant trois jours puis pesés jusqu'à obtenir le poids constant. La matière sèche a été déterminée par la formule suivante:

$$\%H_2O = ((M_1 - M_2) / (M_1 - M_0)) \times 100\%$$

$$\%MS = 100 - \%H_2O$$

M_0 = poids du récipient à vide;

M_1 = poids du récipient contenant de la matière sèche;

M_2 = poids de l'ensemble récipient et matière séchée;

MS = matière sèche

ESTIMATION DU RENDEMENT

Le rendement en paddy a été estimé en ramenant la production parcellaire à l'hectare

TEST DE DÉGUSTATION

Les riz récoltés dans les parcelles selon les traitements ont été préparés séparément. Les préparations ont été présentées à 15 personnes choisies au hasard dans les ménages et sans distinction de sexe pour le test de dégustation. Les critères de test sont: bon et pas bon. Pour cela deux (2) éléments fondamentaux ont été retenus, il s'agit du goût sucré et l'aspect farineux.

TRAITEMENT ET ANALYSE STATISTIQUE DE DONNÉES

Les données collectées ont été saisies dans le tableur Excel et ont fait l'objet de traitement

à l'aide de logiciel XLSAT version 7.5.2. Ce qui a permis par la suite de faire des analyses de variance (ANOVA). Le test de comparaison des moyennes ont été effectués selon la méthode de Fisher au seuil de 5%.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 RESULTATS

Le tableau 1 présente le résultat de l'analyse granulométrique de l'échantillon du sol du site expérimental. Ce tableau montre que le sol est constitué de 68% de sable, 15,5% de limon et de 17% d'argile. Ainsi le sol est de type sablo-argilo-limoneux.

Tableau 1. Résultat d'analyse de l'échantillon du sol.

Sable	Limon	Argile
68 ± 1,41	15,5 ± 0,71	17 ± 1,14

Les résultats de l'analyse chimique et physique de l'échantillon de sol et des déchets de cabris sont présentés dans le tableau 2. Du tableau, on remarque que le taux des éléments minéraux tels que N(0,03%),P(357,6% mg/100gMS),Ca (75,1mg/100gMS),K(30 mg/100g MS) dans le sol est faible comparativement à celui des déchets des cabris soit respectivement 1,5% N,2647,75 mg /100g MS (P), 100,15 mg/100g MS (Ca) et 72,48 mg/100g MS (K). En outre le taux en éléments organiques dans le déchet des cabris est aussi supérieur à celui de l'échantillon de sol soit 1,23% (CO) et 2,22% (MO) contre 0,34% (CO) et 0,58% (MO). Par ailleurs, pour les éléments physiques, le déchet de cabris a une Conductivité Electrique (CE) plus élevée que

celle de l'échantillon de sol soit 16601,41µs/cm contre 130µs/cm. En ce qui concerne le pH, il est de 8,30 dans le sol alors que dans le déchet de cabris, il est de 8,65.

Tableau 2. Composition chimique de sols et déchet des cabris

Ph	CE (µs/cm)	CO (%)	MO (%)	Azote total (%)	P. ass. (mg/100gMS)	Ca (mg/100g MS)	K (mg/100gMS)
sol							
8,3±0,43	130±83,44	0,34±0,03	0,585±0,05	0,0305±0,0	357,6±9,62	75,1±0,14	30±7,07
Déchets de cabris							
8,65±03	1660±1,14	1,23±03	2,225±0	1,15±0,00	264775±4,60	100,15±0,21	72,48± 0,02

Légende: pH=Potentiel d'Hydrogène; CE=Conductivité Electrique; CO = teneur en Carbone; MO=Matière Organique; P.ass.= phosphore assimilable; Ca =Calcium; K =Potassium.

3.2 PARAMÈTRE MORPHOLOGIQUE

Le Tableau 3 présente la hauteur des plants de riz selon le traitement. Du tableau, on remarque que la hauteur de plants de riz varie de 59,11 à 77,33 cm. La plus grande hauteur a été notée chez le plant ayant reçu 2,5kg au m² de déchets des cabris (TF3). La plus faible hauteur a été observée chez le témoin (T0). Entre les traitements, il n'existe pas une différence significative au seuil 5%.

Tableau 3. Paramètres morphologiques

	F,Fisher	P. associé	T0	TEU1	TEU2	TEU3	TF1	TF2	TF3
HT	0,440	0,839	59 ,11 ^a	66,19 ^a	69,88 ^a	71,67 ^a	68,78 ^a	66,12 ^a	77,33 ^a

Légende: HT: hauteur de la plante; T0: témoin, TEU1: traitement avec 05g de NPK et 05g urée par m²; TEU2: traitement avec 7,5g de NPK et 05g d'urée p; TEU3: traitement par avec 10g de NPK et 05g d'urée par m²; TF1: traitement avec 1,5kg/m² de fumier; TF2: traitement avec 2kg/m² de fumier, TF3: traitement avec 2,5kg/m² de fumier

La figure 2 présente la vitesse de croissance maximale associée à la hauteur. La vitesse maximale de croissance varie de 3 à 5cm chez les plants traités avec les déchets de cabris comparativement à celle des plants traités avec les engrais qui varie de 2,8 à 3,7cm/jour et à celle de témoin qui varie de 2,5 à 3,4 cm/jour. La plus grande vitesse atteint est notée chez le plant ayant reçu 2,5kg de déchets des cabris (TF3) et elle se situe au 85^{ème} JAS. La plus faible vitesse est notée chez le témoin (T0) et elle se situe au 92^{ème} JAS.

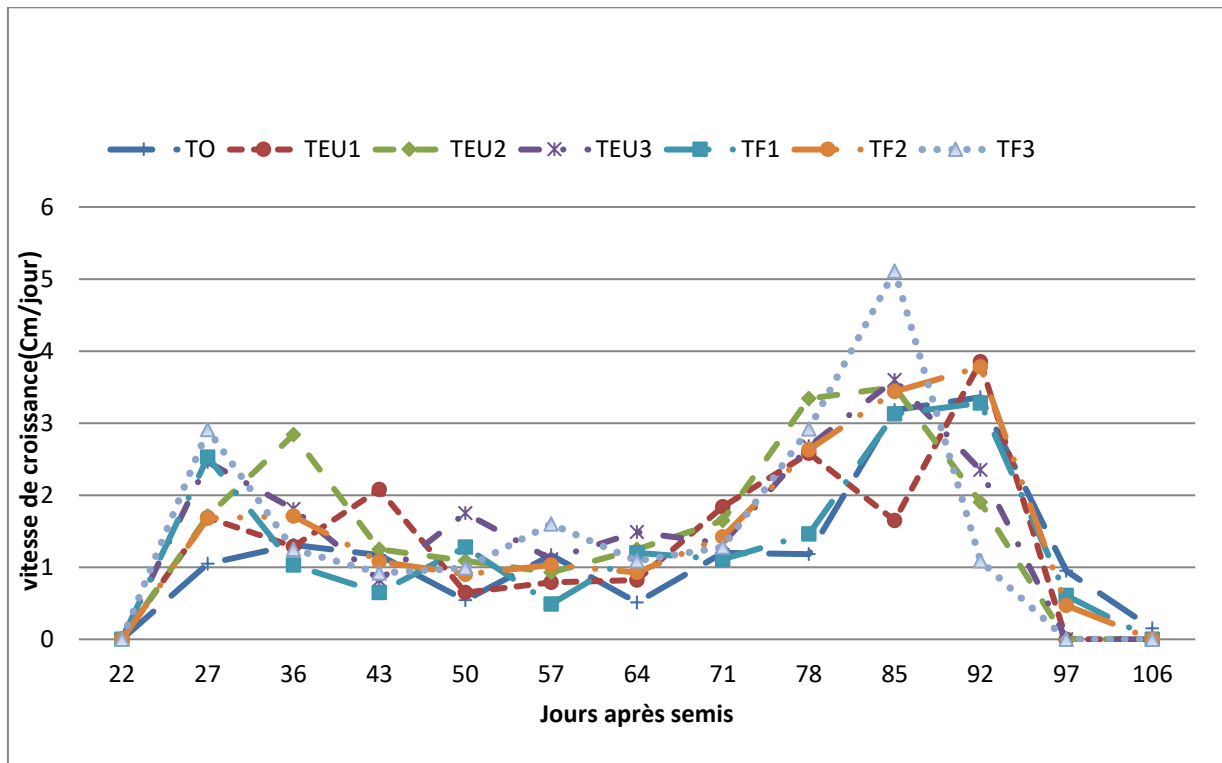


Fig. 2. Vitesse maximale de croissance du plant de riz (Cm/jour)

3.3 PARAMÈTRES AGRONOMIQUES

Le Tableau 4 présente les résultats des analyses statistiques des paramètres agronomiques. Il s'agit du nombre de tige par parcelle, le nombre de panicules par parcelle, le nombre de grains par talle, le poids de grains par talle et le rendement. Il ressort du tableau que les paramètres étudiés ont été significativement influencés par les doses des fertilisants organiques et minéraux apportés.

Le nombre de tige par parcelle a varié de 171,50 à 336. Le traitement avec les déchets de cabris (TF3) a donné le meilleur résultat (336,00) comparativement aux autres et au témoin.

Le nombre de panicules par parcelle (NP/P) a varié entre 171,50 et 329,33. Le traitement TF3 a donné un nombre de panicule élevé (329,33) comparativement aux autres et au témoin (171,00). Il existe entre les traitements une différence significative ($p=0,055$). Mais les valeurs obtenues pour les autres parcelles traitées avec les engrais ne sont pas significativement différentes de celles des parcelles traitées avec les déchets de cabris.

Le nombre de grain par talle (NG/T) a été obtenu dans la parcelle (TEU3) ayant reçu 10g soit 1756, 67 comparativement au TF3 ayant reçu 2,5 kg de déchets de cabris soit 1253,00 et au témoin ($T_0=345,00$). Entre les traitements il existe une différence significative ($p=0,036$).

Le poids de grains par talle (PG/T), a varié de 6,82 à 40,04 ou $TEU3=40,04$ et le témoin $T_0=6,82$). Le poids le plus élevé a été observé chez les plants issus traités avec l'engrais. Par contre, le poids le plus faible a été noté chez les plants issus de la parcelle témoin. Il existe une différence significative entre les traitements ($p=0,008$).

Le rendement (Rdt.) a varié selon le traitement. Il a varié de 407,93 à 2492,21 kg/ha. La valeur la plus élevée a été enregistrée chez les plants issus des parcelles ayant reçues 10g d'engrais minéral et la plus faible valeur a été notée chez les plants des parcelles témoins. Entre les traitements, il existe une différence significative ($p=0,028$).

Tableau 4. Paramètres agronomiques

	F. Fisher	P. associée	T0	TEU1	TEU2	TEU3	TF1	TF2	TF3
NT/P	3,603	0,025	171,50 ^a	280,67 ^a	291,67 ^a	316,33 ^a	278,67 ^a	312,00 ^a	336,00^a
NP/P	2,827	0,055	171,50 ^b	269,00 ^a	291,67 ^a	316,33 ^a	278,67 ^a	315,00 ^a	329,33^a
NG/T	3,243	0,036	345,00 ^c	976,00 ^{bc}	944,67 ^{bc}	1756,67 ^a	891,67 ^{bc}	1477,33 ^{ab}	1253,00 ^{ab}
PG/T	4,930	0,008	6,82 ^c	17,01 ^{bc}	19,08 ^{bc}	40,04 ^a	16,31 ^{bc}	30,34 ^{ab}	26,42 ^{ab}
Rdt.	3,481	0,028	407,93 ^c	1171,10 ^{bc}	1126,16 ^{bc}	2492,21 ^a	1277,23 ^{bc}	1820,73 ^{ab}	1522,67 ^{ab}

Légende: Les chiffres ayant la même lettre en exposant ne sont pas significativement différents. HT: hauteur de plant; NT/P: nombre de talle par parcelle; NP/P: nombre de panicule par parcelle; NG/T: nombre de grains par talle; PG/T: poids de grains par talle; Rdt: rendement; T0: témoin; TEU1: traitement avec 05g/m² de NPK et 05g/m² d'urée; TEU2 traitement avec 7,5g/m² de NPK et 05g/m² d'urée; TEU3 traitement avec 10g/m² de NPK et 05g/m² d'urée; TF1: traitement avec 1,5kg/m² les fumiers; TF2: traitement avec 2kg/m² de fumier; TF3: traitement avec 2,5kg/m² de fumier.

Le tableau 5 présente le résultat de test de dégustation. 66,12% des personnes ayant été soumis au test de dégustation ont déclaré que le riz n'ayant pas bénéficié d'un fertilisant quelconque a un bon goût, tandis que 60,50 % des personnes affirment que le riz ayant été soumis au traitement organique a un bon goût. S'agissant de l'aspect farineux (87,18 %) des goûteurs disent que le riz labouré avec les déchets de cabris a un bon aspect farineux comparativement au riz labouré avec l'engrais (66,78%) et au témoin (45,50 %). Pour les deux paramètres, les différences sont significatives entre les deux traitements. Entre le traitement avec le déchet de cabris et le témoin, l'écart n'est pas très grand. Cela peut s'expliquer que les fertilisants dans ces deux milieux sont les mêmes mais la teneur en sels minéraux n'est pas la même.

Tableau 5. Test de dégustation

		F. Fisher	P. associée	T0	TEU	TF
Sucré	Bon	2421,189	0,0001	66,12 ^a	19,50 ^c	60,50 ^b
	Pas Bon	0,970	0,50	31,33 ^a	60,50 ^a	36,43 ^a
Farineux	Bon	791,22	0,0001	45,50 ^c	66,78 ^b	87,18 ^a
	Pas Bon	0,50	0,63	53,33 ^a	23,91 ^a	33,69 ^a

4 DISCUSSION

Les paramètres étudiés ont été significativement affectés par les fertilisants apportés au sol.

La hauteur des plants a varié selon le traitement. La hauteur des plants des parcelles ayant reçu 2,5 kg/m² de déchets de cabris est plus élevée comparativement à celle ayant aussi reçu (10 g NPK et 5 g d'urée) et le témoin. Une bonne croissance et un bon développement de riz son liés à un certain nombre de facteurs abiotiques parmi lesquels le pH et la texture du sol. Le résultat de l'analyse a montré que le sol est basique (pH = 8) et contient 17% d'argile. Cette hauteur notée chez les plants issus des parcelles traitées avec les déchets de cabris peut être liée à la quantité importante d'azote contenu dans le déchet de cabris (1,15%). Ce déchet aurait subi une minéralisation pour libérer dans le sol une quantité d'azote suffisante et assimilable par la plante. Outre, le déchet de cabris a une conductivité électrique (CE) importante (1660 µs/cm) comparativement à l'échantillon du sol du site expérimental (130 µs/cm). L'apport de déchet de cabris aurait certainement modifié sa conductivité électrique favorisant ainsi la disponibilité des ions organiques. [6] qui ayant travaillé sur l'évolution de la matière organique du sol calcaire en méditerranée après application de fortes dose d'amendement organique ont montré que l'augmentation de la conductivité électrique des traitements amendés entraine systématiquement celle du sol après apport des doses d'amendement organique. [7] en travaillant sur le riz ont montré que l'augmentation des quantités d'azote améliorerait considérablement la croissance végétative de la plante. Cette idée corrobore celle de [8]. Ces auteurs ont montré que la bouse de vache est un bon fertilisant, elle améliorerait la hauteur et le diamètre au collet de l'Aubergine (*Solanuma ethiopicum L.*)

cultivé à Bongor. En outre, [9] a obtenu un résultat similaire lorsqu'il a fait une étude comparée sur les effets du mode cultural et de la fertilisation organo-minérale sur les propriétés chimiques du sol, la croissance et le rendement de riz en sol sulfatés acides en Basse-Casamance au Sénégal. L'auteur a montré aussi que la fertilisation organo-minérale améliorait la croissance et le rendement de riz en sol sulfaté.

En outre, le nombre de tige par parcelle dépendait du nombre de talle dans une parcelle. Dans cette expérimentation, le tallage a commencé au 20^{ème} jour après semis et s'est terminé à la montaison. Le milieu (qualité de sol et sa teneur en fertilisants) sur lequel le plant s'était développé peut considérablement influencer sur le tallage. [10] en faisant une évaluation variétale sur le riz de plateau avec de l'engrais NPK, a déclaré que la durée de la phase de tallage pour une variété de cycle moyen à long est plus importante, de même que son aptitude à taller. Le nombre de tiges significativement élevé obtenu chez les plants traités avec les déchets de cabris témoigne l'importance de cette fumure. Les déchets des cabris dont le taux d'azote est plus élevé a favorisé un bon tallage que celui d'engrais. C'est pourquoi le nombre de tiges élevé (336,00) a été aussi noté chez les plants issus des parcelles ayant reçu 2,5 kg/m² de fumure organique, dépassant celui (316,33) du traitement avec l'engrais. Les fertilisants minéraux et organiques, riche en azote favorise le développement de talle autrement dit l'augmentation du nombre de tiges. Selon [11], en évaluant la fertilisation minérale et organiques sur le rendement du piment (*Capsicum annum L.*) déclare que les apports en fumures organiques ne rendent pas immédiatement disponible et facilement accessibles les éléments nutritifs qu'ils contiennent pour la plante, mais plutôt les associées avec les fertilisants minéraux; car les fertilisants organiques doivent être minéralisés par les microflore et la microfaune avant de libérer ces éléments nutritifs. [12] ont obtenu le résultat semblable lorsqu'ils ont utilisé l'urine des humains comme engrais dans la production de riz en zone soudano-sahélienne au Mali. Le résultat (94,53 pour le mode billon et 103,90 pour le mode plat) obtenu par [9] est inférieur à la nôtre (336,00), lorsqu'il a fait une étude comparée sur les effets du mode cultural et de la fertilisation organo-minérale sur les propriétés chimiques du sol, la croissance et le rendement de riz (*Oryza sativa L.*) en sol sulfatés acides en Basse-Casamance. Cette différence peut être liée à l'écart entre les plants, au type de sol et voire le climat. Alors [13] déclare que le développement d'un végétal est déterminé par son tallage qui est corrélé par l'alimentation azotée.

La variation de nombre de panicule est fonction du tallage. Le bon tallage indique la présence des éléments minéraux essentiels dans le sol tels que le Phosphore et le potassium. Le phosphore et le potassium sont indispensables à la formation des fruits. Le phosphore stimule le développement des racines, la floraison et la fructification. Si les plantes manquent de phosphore, leur feuillage est foncé, rouge ou marquée de tâches rouges, la floraison est peu abondante et la maturation des fruits est longue. Le potassium (K) est utile à la circulation de la sève et à l'assimilation des éléments nutritifs par les plantes. Il améliore la qualité gustative des fruits [9]. La teneur élevée en potassium dans les déchets des cabris associé à celle du phosphore assimilable dans le sol aurait induit une augmentation du nombre de panicule conformément à la qualité de tallage. Une corrélation a été établie entre le nombre de talle et le nombre de panicule. Le bon tallage est lié aux quantités de potassium et phosphore apportés dans le sol. Le nombre de panicule est un facteur majeur pour le rendement. C'est pourquoi une corrélation positive ($r=0,98$) a été établie entre les deux paramètres. [14] ont montré que le nombre de panicule par unité de surface est la composante le plus important du rendement en évaluant l'évolution du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum L.*). Le résultat (78,90) nombre de panicules obtenu par [9] est inférieur à celui obtenu dans cette expérimentation soit 1756,67 panicules par talle. Cette différence peut être liée à la qualité du sol, à la densité.

Le nombre de grain par talle a varié selon le traitement. Les plants issus des parcelles ayant été traitées par l'engrais minéral ont donné un bon résultat en terme du nombre de grains par talle comparativement aux autres traitements. Les doses des fertilisants apportées au sol ont significativement influencé sur la production de nombre de grains par talle. Une étude similaire a été menée par [15], et a utilisé les fertilisants organiques et les engrais pour étudier l'effet de la densité de semences de riz sur le développement des plants et le rendement à Antananarivo en Madagascar. Cet auteur a trouvé (1068) grains par talle qui est inférieur à celui que nous avons obtenu (1756,67). Cette différence peut être lié au type de sol, au climat. Par ailleurs le résultat trouvé est semblable à celui obtenu par [10]. Ces auteurs ont trouvé (1325,25) grains lorsqu'ils ont utilisé l'engrais NPK (15-15-15) pour évaluer l'effet de la densité des plants sur le rendement de riz. D'une manière générale lorsque la plante est bien nourrie, elle doit se développer bien dont le résultat est le meilleur rendement. [15] affirme que lorsque les plantes ont beaucoup d'éléments nutritifs à leur disponibilité, la dégénérescence des épillets est moindre.

Le poids des grains a été influencé par le traitement. La valeur élevée du poids (40,04) a été observé chez le riz traité à forte dose avec le NPK (TUE3). Cette valeur élevée du poids noté pourrait s'expliquer par le fait que l'engrais utilisé aurait mis à la disposition de la plante, une quantité importante de potassium qui aurait aussi permis à la plante d'absorber une quantité aussi grande d'eau. La présence de l'eau dans la plante et les grains entraîne l'augmentation de poids des grains. Le poids (40,04) noté est supérieur à celui (29,67) obtenu par [16] lorsqu'il a utilisé les fertilisants organiques et inorganiques pour faire une étude comparée des rendements et de la rentabilité du Système de Riziculture Intensif (SRI) et du Système Traditionnel de NERICA 14 dans le département de Ziguinchor au Sénégal. Cette différence peut être liée au type de sol, à la variété labourée et au climat. Pour [17] le poids des grains de riz dépend de la grosseur de grains. La grosseur des grains peut être expliquée par

la présence du phosphore et du potassium dans le sol qui favorisent l'accumulation de l'eau par le mécanisme d'osmose. Notre résultat est supérieur à celui de [12] obtenu sur le riz soumis au traitement à l'urine des humains au Mali. Cette différence peut être liée à la composition chimique et la qualité des fertilisants apportés, au sol et au climat.

Le rendement a été aussi influencé significativement par les différentes doses de traitements. Les plants ayant reçu une forte dose d'engrais ont un bon résultat (2492,21) en termes de rendement comparativement à ceux traités avec les déchets des cabris et le témoin. Une forte corrélation a été établie entre le poids de grains et le rendement. Plus le poids de grains est important, plus le rendement est aussi significatif. Le rendement obtenu est supérieur à celui trouvé par [9] sur le riz cultivé en Casamance soit 1235,25 kg/ha. Cet auteur a utilisé également les fertilisants organiques et minéraux. Selon [18] les résidus organiques du fait de leur action améliorante de sol grâce à leur richesse en éléments nutritifs, ont la capacité de substituer à l'engrais minéral. Cela, montre combien, de fois la fumure organique est importante. Départ l'expérimentation, les écarts observés sur des résultats obtenus chez les plants ayant reçu l'engrais minéral et ceux traités avec le déchet de cabris ne sont pas grands. Ainsi le déchet de cabris peut valablement remplacer l'engrais minéral dans la production de riz pluvial.

Le test de dégustation réalisé a montré que le riz traité avec la fumure organique et le témoin ont un goût sucré et une bonne matière sèche (aspect farineux). Ce résultat est semblable à celui obtenu par [19] sur les variétés de riz FOFIFA et X265. Cet auteur a utilisé aussi les fertilisants organiques et l'engrais minéral dans son expérimentation. En outre ce résultat est aussi similaire à celui obtenu par [8] sur la patate douce cultivée à Bongor. Ces auteurs en utilisant l'engrais minéral et la fiente de poulet ont montré que les tubercules des plants ayant reçu le traitement aux fientes de poulet sont sucrés et ont une matière sèche (MS) aussi importante. Le résultat obtenu sur le goût sucré corrobore celui de [20] qui ont montré que le manioc (*Manihot esculenta* Crantz) labouré en Côte d'Ivoire avec la bouse de vache a aussi un goût sucré. La fumure organique ne modifie pas la qualité organoleptique des aliments mais elle l'améliore.

5 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Malgré le rôle que joue le riz dans la sécurité alimentaire, sa production locale reste faible en raison des faibles rendements enregistrés, liés à la variabilité pluviométrique, à l'infertilité des sols, au manque de moyens matériels et au manqué d'intrants afin de maximiser le rendement. Ces intrants sont chers, souvent indisponibles et ne sont pas bons pour la santé. La solution la plus idéale c'est l'utilisation des fertilisants organiques.

Les paramètres morphologiques ont été évalués: La hauteur la plus grande a été notée chez les plants ayant reçu 2,5 kg/m² de déchets de cabris. La vitesse maximale de croissance associée a été notée chez les mêmes plants dont elle oscille entre 3 et 5 cm/jour.

Les plants ayant reçu la dose de 10g d'engrais et 05g d'urée au m² ont donné un meilleur résultat (2492,21 kg/ha) en termes de rendement comparativement aux autres traitements. Mais ceux ayant aussi reçu la dose de 2kg/m² de déchets de cabris ont aussi donné un rendement de 1820,73 kg /ha de paddy. En regardant cela, l'écart n'est pas grand. La dose de 2kg/m² de déchet de cabris semble être la dose optimale pour la production de riz pluvial. Ainsi le déchet de cabris peut considérablement remplacer l'engrais minéral dans la production de riz. En outre, il améliore également sa qualité organoleptique

En perspective, une étude va être menée en utilisant la combinaison des déchets de cabris et les fientes de volaille.

REMERCIEMENT

Nous tenons à remercier les étudiants de Master du département des Sciences de la Vie et de la Terre de l'Ecole Normale Supérieure de Bongor pour avoir surveillé le champ expérimental

REFERENCES

- [1] Nikiéma D, Sawadogo N, Tiendrébéogo K.F et Sinaré Y.I Barry M.L., 2022. Diversité génétique, importance et production du riz (*Oryzasativa*.) sous différentes modes de gestion de l'eau dans un contexte de variabilité climatique au Burkina Faso. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 37 (1), pp139-153. <https://www.issr-journals.org/>.
- [2] Gaouna B.O, Traoré R.E, Assane S, Zongo J.D., 2012. Caractérisation agro-morphologique des accessions de riz adventice (*Oryza* sp) collectés dans les rizières de la zone interfluve du Tchad: *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5 (6) 1774-1791. Doi: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i4.32>.
- [3] FAO., 2022. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture; Bulletin de la FAO sur l'offre et la demande de céréales, [https://www.fao.org/markets-and/trade/commodities/rice/rapport-de-mise-a-jourdes-prix-du-riz-de-la-fao/consulté le 26/02/2024](https://www.fao.org/markets-and/trade/commodities/rice/rapport-de-mise-a-jourdes-prix-du-riz-de-la-fao/consulté%20le%2026/02/2024).

- [4] Adil M, Dar G., 2015. organisation de Développement de la Filière Riz de la Tandjilé dans la région du Tchad, p.95.
- [5] Gogbeu SJ, Yapo S, Edwige S, Gore BB. N, Ayolie K, Kouassi N J, Nacanabo R., Dogbo DO, Kouadio Y J., 2019. Effet de traitement des plants de riz (*Oryzasativa L.*) au chlorure de sodium sur la synthèse et accumulation des sucres totaux et des composées phénoliques ethano-solubles dans les feuilles et racines. *Journal of Applied Bioscience*, 135: 73775-13787. Doi: <https://dx.doi.org/10.4314/jab.v135i1.4>.
- [6] González-Ubierna S, Jorge-Mardomingo I, CarreroGonzález B, Cruz M, Casermeiro M., 2012. Soil organic matter evolution after the application of high doses of organic amendments in a Mediterranean calcareous soil. *Journal of Soils and Sediments*, 12 (8): 1257-68. DOI: 10.1007/s11368-012-0516-y.
- [7] Gala B, Trazie J, Camara M, Yao-Kouame A, Keli Z.J., 2011. Rentabilité des engrais minéraux en riziculture pluviale de plateau: cas de la zone de Gagnoa dans le centre Ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, (46) 3153 – 3162. www.biosciences.elewa.org
- [8] Djinet A.I, Ngaryam B., 2023. Mise en évidence des valeurs nutritionnelles de la patate douce *Ipomoea batatas* (L.) Lam soumise aux traitements de fiente de poules et de l'engrais minéral à Bongor au Tchad. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 17 (5): 1951-1959 Doi: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v17i5.14>.
- [9] Faye., 2011. Effets du mode cultuiral et de la fertilisation organo-minérale sur les propriétés chimiques du sol, la croissance et le trendement de riz en sol sulfatés acides en Basse-Casamence. Mémoire de Master en Aménagement et Gestion Durable des Ecosystèmes Forestiers et Agroforestiers. Université Assane Seck de Ziguinchor, Sénégal, p. 32
- [10] Thiam A, Kanfany G, Fofana A, Ndiaye J. B. P. M. 2019. Evaluation variétale de riz de plateau dans les conditions de culture du Sud Bassin Arachidier du Sénégal. *International Journal of Innovation and Applied Studies.*, 26 (1): 295-306. <https://www.issr-journals.org/>.
- [11] Segnou J, Akoa A, youmbi E et Njoya J., 2012. Effet de la fertilisation minérale et organique sur le rendement en fruits du piment (*Capsicum annum L.*; solanaceae) en zone forestière de basse altitude au cameroun. *Agronomie Africaine*, 24 (3): 231 - 240.
- [12] Coulibaly O, Sissoko S, Coulibaly A, Maiga Y, Dicko M, Dembele S.G, Maiga S.M., 2024. Efficacité économique de l'urine humaine comme engrais dans la production du riz NERICA 4 en zone soudano sahélienne du Mali. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 9 (1). <https://dx.doi.org/10.22161/ijeab.91.3>.
- [13] Dicko M., 2005. Analyse du fonctionnement d'une parcelle de riz irriguée sur sol alcalin. Application à la gestion intégrée de la fertilisation azotée et du calendrier cultural dans le delta intérieur du fleuve Niger (Mali). Thèse de doctorat: Biologie des systèmes intégrés, agronomie et environnement. Science du sol: Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier (ENSAM), p.170
- [14] Benbelkacem, A. & Kellou, K., 2000. Evaluation du progrès génétique chez quelques variétés de blé dur (*Triticum turgidum L. var. durum*) cultivées en Algérie. *CIHEAM Options Méditerranéennes*, 1 (40): 105-110.
- [15] Rakotoarison H.A., 2012. Effet de la densité de semences de riz sur le développement des plants et le rendement. Mémoire de fin d'études en vue d'obtenir le diplôme d'ingénieur agronome « option agriculture » *Ecole Supérieure Des Sciences Agronomiques Département Agriculture; Université d'Atananarivo, Madagascar*, p. 75
- [16] Diedhiou P.C.R., 2019. Etude comparative des rendements et de la rentabilité du Système de Riziculture Intensif (SRI) et du Système Traditionnel dans le département de Ziguinchor. Mémoire de Master en Aménagement et Gestion Durable des Ecosystèmes Forestiers et Agroforestiers Université Assane Seck de Ziguinchor. 2019, 40p.40.
- [17] Moukoumbi Y.D., 2001. Caractérisation des lignées intra spécifiques (*O. sativa* X *O. sativa*) et interspécifiques (*O. glaberrima* X *O. sativa*) pour leur adaptabilité à la riziculture de bas -fond. Mémoire de fin d'étude Diplôme d'ingénieur du développement rural option: agronomie, université polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Fasso. p. 98
- [18] Zadi F., 2016. Effet de la fumure minérale et de l'amendement organique sur le rendement de riz dans le bas-fond de second ordre de Mbé Foro-Foro (centre de côte d'Ivoire). Thèse unique, Université Felix Houphouet Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, P.176.
- [19] Barison, 2023. Rapport d'intervention sur le test de comportement variétal de quatre nouvelles variétés de riz de l'IRRI dans les zones d'intervention de Winner | USAID Contract. 2023 No. EPP-I-04-04-00020-00 Task Order No. 4.
- [20] Yéboué KH., Amoikon K E., Kouamé K G. et Kati-Coulibaly S., 2017. Valeur nutritive et propriétés organoleptiques de l'attiéké, de l'attoukpou et du placali, trois mets à base de manioc, couramment consommés en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 113: 11184-11191. Doi: <https://dx.doi.org/10.4314/jab.v113i1.7>.

La croissance démographique en République Démocratique du Congo face aux enjeux du Développement Durable

[Population growth in the Democratic Republic of Congo in the face of sustainable development challenges]

Munkuamo Gonzaleze

Université Pédagogique Nationale, Faculté des Sciences, Département de Géographie-Sciences de l'environnement, Kinshasa, RD Congo

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

ABSTRACT: This study is part of the sustainable development objectives (SDGS, 2015-2030). It highlights the challenges facing the DRC in its quest for environment sustainability. Among these challenges include poverty, food insecurity, acces to quality education and heath care, and gender inequality. Whict exacerbates environmental vulnerabilities and harms the quality of life of the population.

This study advocates for a systemic approach that recognizes the independence between the ecological, political and socio-economic dimension, in order to ensure sustainable future for the DRC.

KEYWORDS: environment, sustainable development, environmenlal vulnerabilities, Population growth.

RESUME: Cette étude s'inscrit dans le cadre des Objectifs du Développement Durable (ODD 2015-2030). Elle met en lumière les défis auxquels fait face la République Démocratique du Congo dans sa quête de la durabilité environnementale. Parmi ces défis figurent la pauvreté, l'insécurité alimentaire, l'accès à l'éducation de qualité et aux soins de santé ainsi que et les inégalités entre les sexes. Ce qui exacerbe les vulnérabilités environnementales et nuit à la qualité de vie de la population.

Cette étude plaide pour une approche systémique qui reconnaît l'interdépendance entre les dimensions écologiques, politiques et socio-économiques, afin d'assurer un avenir durable de la République Démocratique du Congo.

MOTS-CLEFS: Environnement, développement durable, croissance démographique, vulnérabilités environnementale.

1 INTRODUCTION

Les objectifs de développement durable (ODD), également appelés Objectifs mondiaux, ont été adoptés par les Nations Unies en 2015. Ils sont un appel mondial à agir pour éradiquer la pauvreté, protéger la planète, lutter contre les inégalités et faire en sorte que tous les êtres humains vivent dans la paix et la prospérité d'ici 2030.

Lors de ce Sommet des Nations Unies sur l'environnement, les participants étaient tous unanimes sur le fait que le bien-être social constitue une préalable pour le maintien, la conservation et même le renouvellement des conditions environnementales indispensables pour la vie et le développement durable.

L'on a finalement compris qu'il est impossible d'améliorer durablement la qualité de l'environnement, sans tenir compte des aspects socioculturels de l'être humain, ses besoins fondamentaux. La perte du niveau minimal de qualité de vie est un

facteur exposant gravement aux agressions écologiques C'est pourquoi, l'appel était lancé aux Etats de travailler pour l'amélioration de la qualité de vie de la population.

Eu égard à ce qui précède, plus d'un observateur constatent que depuis 9 ans, cet appel des Nations Unies est resté sans impact en République Démocratique du Congo. Couvrant plus de 80 millions d'habitants, à l'état actuel, la République Démographique du Congo est confrontée à des problèmes qui entravent son développement durable. Parmi ceux-ci figurent la pauvreté, l'insécurité alimentaire, l'accès à l'éducation de qualité et aux soins de santé ainsi que les inégalités entre les sexes. Tous ces défis affectent la qualité de vie de la population.

L'étude attribuent à cela divers causes endogènes et exogènes. Elle plaide pour une approche systémique qui reconnaît l'interdépendance entre les dimensions écologiques, politiques et socio-économiques, afin d'assurer un avenir durable de la République Démocratique du Congo.

2 METHODOLOGIE ET MILIEU D'ETUDE

Cette étude a été réalisée en République Démocratique du Congo. La République Démocratique du Congo est le plus vaste pays d'Afrique centrale ayant une superficie de 2.345.000 Km² et une population de plus de 80 millions d'habitants. Elle s'étend de l'océan atlantique au plateau de l'Est et correspond à la majeure partie du bassin du fleuve Congo (Geogle, 2024). Au niveau de l'organisation administrative, le pays est divisé en 26 provinces,

Sur le plan méthodologique, les problèmes de l'environnement étant complexes, pour la réalisation de cette étude, nous avons fait recours à quelques méthodes et techniques, à savoir: la recherche documentaire, l'observation ainsi qu'à l'approche systémique, parfois nommée analyse systémique, La méthode systémique a permis d'appréhender la RDC comme un système, un milieu complexe dans sa structure et son fonctionnement. Elle nous a aidé à mettre en relief des interdépendances pour mieux expliquer la portée de crise multiforme existante en RDC.

Les techniques d'observation et d'enquête ont été menées dans les milieux urbains et ruraux. Les résultats reflètent les réalités des vulnérabilités au sein de la population congolaise.

3 RESULTATS

Cette partie de l'étude se donne une triple tâche: la première consiste à présenter les objectifs du développement durable (ODD 2015-2030); la seconde porte sur l'analyse de l'état de lieu (2015-2024) en RDC et enfin, la troisième propose des pistes de solutions, afin atteindre les Objectifs du Développement Durable (ODD) en République Démocratique du Congo

3.1 PRÉSENTATION DES OBJECTIFS DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Les Objectifs de Développement Durable (ODD), également appelés Objectifs mondiaux, ont été adoptés par les Nations Unies en 2015. Ils sont un appel mondial à agir et à lutter contre les vulnérabilités environnementales d'ici 2030. Les ODD combinent trois défis auxquels le monde fait face, à savoir: les défis économiques, sociaux et environnementaux.

Le tableau 1 présente les Objectifs du Développement Durable (ODD).

Tableau 1. Les Objectifs de Développement Durable (ODD)

Piliers	N°	Objectifs du Développement Durable (ODD)
Planète	06	Accès universel et équitable à l'eau potable
	11	Réaménager les villes et les établissements humains.
	13	Lutte contre le changement climatique
	14	Exploitation durable des écosystèmes marins
	15	Gestion durable des écosystèmes terrestres
Population	01	Eradication de la pauvreté
	02	Lute contre la faim
	03	Accès à la santé
	04	Accès à une éducation de qualité
	05	Egalité entre les sexes
Prosperité	08	Promouvoir la croissance économique
	09	Favoriser une industrialisation durable
	10	Réduire les inégalités au sein du pays
	12	Promouvoir des modes de consommations durables
Paix	16	Promouvoir l'état de droit
Partenariat	17	Nouer des partenariats efficaces

Source: Ethique et société, 2024

3.2 ETAT DE LIEU DES ODD EN RDC (2015 – 2024)

Les objectifs du Développement Durable ont été adoptés par l'Organisation des Nations Unies à 2015. Durant 9 ans après leurs adoptions, quel est le trajet parcouru ? La République Démocrate du Congo, face à une croissance démographique galopante a-t-elle attend ou va-t-elle atteindre les Objectifs du Développement Durable dans les 6 ans qui restent ? Quelle potentielle à la RDC pour les atteindre ? Qu'est-ce qui pourrait empêcher la RDC de les atteindre ? Que faut-il envisager après 2030 ? Telles sont quelques questions auxquelles, il faut fournir des réponses.

Nous signalons que l'étude analyse l'état de lieu de 6 objectifs à savoir: les objectifs 1,2,3,4,5,8.

Eradication de la pauvreté (Objectif N°1): le plus grand ennemi de l'environnement c'est la pauvreté (Munkuomo, 2020). Ainsi, l'on doit combattre intégralement la pauvreté pour rendre la dignité aux exclus et préserver la nature. Malheureusement, malgré des vastes ressources naturelles, la RDC est l'un des pays les plus pauvres du monde. En République Démocratique du Congo, la pauvreté touche une frange importante de la population. (78%): Plus de 70% des ménages congolais vivent en dessous du seuil de la pauvreté (Lelo, 2008); D'où dans ces conditions infrahumaines, beaucoup de parents ont des difficultés pour satisfaire les besoins essentiels des ménages. Plusieurs ménages attestent avoir l'épargne zéro. A l'état actuel, il n y a pas une solution concrète pour éradiquer la pauvreté en RDC. Tous les gouvernements qui se sont succédés sont restés incapables à faire face à la réalisation de ce vœu de l'objectif N°1 du Développement Durable.

Lutter contre la faim (Objectif 2): en République Démocratique du Congo, la population éprouve des problèmes de sécurité alimentaire. Plusieurs ménages interrogés, à part les communautés religieuses, reconnaissent n'avoir droit qu'à un seul repas, et généralement le soir. Cette rareté de repas est un signe patent de la précarité. Cependant, l'effort de la femme est déterminant dans la recherche d'un semblant sécurité alimentaire familiale, grâce à la débrouillardise qui symbolise l'existence de la vulnérabilité.

A Kinshasa, par exemple, 52,6% de manèges attestent prendre un seul repas par jour, peu importe l'heure, qu'ils qualifient de gong unique. Pour eux, c'est la quantité d'aliments qui compte et non la qualité. Cette situation que vivent les Kinois, n'épargne pas plusieurs ménages dans les milieux ruraux. Plusieurs causes sont à l'origine de cette vulnérabilité: le chômage, le faible revenu des ménages, faible production, la sécheresse, l'exode rural, etc.

Cette crise alimentaire a certainement un impact sur la santé. Les enfants de moins de cinq ans sont victimes de cette crise alimentaire. L'Unicef note qu'à en RDC plus de 9 millions d'enfants souffrent de la malnutrition chronique ou de retard de croissance.

Malheureusement, le slogan lancé par le gouvernement congolais « agriculture, priorité de priorité » en 2019 est resté sans un impact sur la population.

Accès à la santé (Objectif 3): pour la santé humaine, l'Action 21 (1992) avait insisté sur la promotion de la santé comme l'un des objectifs le plus importants du développement durable. Cette promotion devrait être soutenue dans les zones urbaines comme dans les zones rurales. C'est dans cette logique qu'en RDC, toutes les collectivités, groupements, chefferies sont couverts par une structure sanitaire de proximité: dispensaire, centre de santé, hôpital, et clinique pour d'intérêt national. Parmi ces structures, deux tiers appartiennent aux réseaux privé. Généralement dans les hôpitaux privés, les soins coutent chers. C'est la raison pour laquelle, certaines couches de la population préfèrent recourir à l'automédication ou encore emprunter la voie de la médecine traditionnelle (naturelle).

L'UNICEF (2024) fait remarqué que suite aux facteurs de pauvreté et de la crise économique, en RDC, 7/100 enfants meurent avant d'atteindre l'âge de 5 ans.

L'opération de la « maternité gratuite » promulguée par le Chef de l'Etat en 2024 reste jusqu'à ces jours non effective. La morbidité et la mortalité sont enregistrées fréquentes dans plusieurs zones sanitaires.

Accès à l'éducation de qualité (Objectif 4): le développement d'une nation passe par l'éducation des citoyens. Plus, les hommes sont éduqués, mieux ils participent au développement durable de leur nation. C'est dans ce contexte que « l'accès à l'éducation » est un droit humain fondamental et le « droit à l'éducation pour tous » constitue l'un des Objectifs du Développement Durable.

Depuis les années 1970, à cause de la zaïrianisation et de la rupture de la coopération internationale, le système éducatif congolais en général s'est détérioré, au point de laisser transparaître plusieurs vulnérabilités qui altèrent le fonctionnement du système et de la communauté congolaise. Etant donné que le système étatique étatique a affecté et ruiné le système éducatif public, le système éducatif privé s'est étendu et consolidé. Il a pris de l'ampleur, afin du supplier aux failles de la mission éducative à tous les niveaux: maternel, primaire, secondaire et universitaire.

Ainsi, pour réduire sensiblement la vulnérabilité sociale à l'éducation et au dysfonctionnement du système éducatif en RDC, l'opération de la « gratuité de l'enseignements primaire » a été lancé par le Chef de l'Etat depuis l'année scolaire 2019-2020, afin de favoriser l'accès à l'éducation pour tous.

Cependant, une bonne éducation doit se réaliser dans un environnement physique, humain et moral sain. La sauvegarde de cet environnement permet aux institutions éducatives d'être des milieux d'excellence et d'émergence, tout en leur donnant l'éducation de bonne qualité.

Malheureusement, dans les milieux scolaires de la RDC la protection de l'environnement ne constitue pas une « valeur ». La méconnaissance de cette valeur par les autorités ainsi que par les apprenants plonge l'environnement dans la crise. Cette crise environnementale déséquilibre entre autres le système éducatif en RDC.

Le surnombre des effectifs dans les écoles publiques, les sous-équipements, le faible salaire des enseignants vulnérabilisent d'avantage le système éducatif congolais. En RDC plusieurs ménages (82,71%) sont incapables à faire étudier leurs enfants dans de bonnes écoles (privées). Beaucoup d'enfants restent dans des ménages sans étudier, pour plusieurs raisons: chômage des parents, manque d'appui financier, taille de ménage, cherté des frais scolaires, longue distance, etc. En RDC plus de 7 millions d'enfants âgés de 5 à 17 ans ne sont pas scolarisés (Unicef, 2024).

Egalité entre les sexes (Objectif 5): l'égalité entre les sexes signifie que les hommes et les femmes, les garçons et les filles jouissent d'un même droit. Le droit de travail, le droit d'étude, le droit de protection, etc.

En RDC le chemin vers l'égalité entre les hommes et les femmes, entre les garçons et les filles reste long et parsemé des difficultés et contraintes. Très peu de femmes ont accès aux emplois décents. Les femmes et les filles ont moins accès à l'éducation que les hommes et les garçons ainsi des taux d'analphabétisme plus élevé.

Funfji (2021) fait remarqué au sein des ménages congolais entre les enfants de 6 ans et plus 43% des filles seraient analphabètes. Dans certaines ethnies, les filles sont réservées au mariage. Les études c'est l'apanage des garçons.

Plusieurs facteurs contribuent à cette disparité entre les sexes: la pauvreté, la dépendance de la femme qui peut s'expliquer par la culture africaine qui accorde la prééminence à l'homme pour plusieurs activités dans le ménage. Le tableau ci-dessous présente la présence la réalité des inégalités en RDC dans le secteur de l'emploi.

Tableau 2. Répartition de sexes dans les institutions publiques en RDC

Institutions	Hommes	%	Femmes	%
Sénat	94/109	86,3	15/109	13,7
Parlement	434/500	86,8	66/500	13,2
Gouvernement	36/54	66,7	18/54	33,3
Gouverneur des provinces	22/26	84,7	4/26	15,3
TOTAL	550/689	79,8	103/689	14,9

Source: Institut National des Statistiques en RDC, 2023

Le tableau 3 montre que la disparité en RDC n'est pas effective. En effet, en RDC les femmes représentent 51% de la population (INS, 2023). Seulement 13,7% qui siègent au Sénat; 13,2% au parlement central, 33,3% au gouvernement et 15,3% à tête des provinces. En générale, dans ce tableau 2, l'on constate que seulement 14,9% de femmes qui sont représentées dans les institutions publiques. Nous disons que cette représentation n'est pas suffisante de la faite que ce nombre n'attend pas 50% que stipule l'article de la loi portant sur le principe de la disparité en RDC qui encourage une représentativité équitable de sexe.

L'échelle de performance des Objectifs du Développement Durables en RDC se présente de la manière ci-dessous.

Tableau 3. Note de performance des ODD en RDC

Indicateur	Score	Commentaire
Eradiquer la pauvreté	22%	Faible
Lutte contre la faim	47%	Faible
Accès à la santé	28%	Faible
Accès à l'éducation de qualité	36,19%	Faible
Egalité entre les sexes	14,3%	Faible
Note de performance	29,49%	Les ODD en RDC sont loins d'être attends

Source: Résultats de terrain, 2024

3.3 LES CAUSES QUI FREINENT LES ODD EN RDC

Plusieurs causes ou facteurs explicatifs (endogènes ou exogènes) sont à l'origine de la non réalisation des ODD en République Démocratique du Congo. Parmi ceux-ci figurent: tendance démographique éléphantinesque et incontrôlée, incidence de la pauvreté ou croissance accélérée du phénomène dans le pays (plus de 70% des congolais vivent en dessous du seuil de pauvreté), destruction du tissu économique (pillages, vols, détournements), cadre macro-économique en continuelle tension de surchauffe (inflatons), modicité des revenus ménagers, délabrement et privatisation des systèmes éducatifs et sanitaires, déséquilibre social et exclusions mauvaise gouvernance environnementale, caractérisée par l'incapacité du système politique à répondre adéquatement aux besoins essentiels de la population (accès aux services sociaux de base de qualité), conflits armés etc. Toutes ces causes sont sources des vulnérabilités écologiques, économiques et sociales pour la population en RDC.

3.4 COMMENT ATTEINDRE LES ODD EN RDC

Le développement humain durable de la RDC nécessite un concours de plusieurs facteurs économiques et non économiques: création d'emplois, promotion de PME, renforcement de la capacité d'organisationnelle, autonomie des femmes, amélioration de l'entreprenariat des jeunes, croissance économique durable, sécurité alimentaire, accès aux soins de santé pour tous, éradication des maladies, accès à l'éducation de qualité pour tous, accès à l'assainissement et à l'eau potable, le respect de la dignité et le droit de l'homme, la suspension des mariages forcés aux filles, etc.

Tous ceci montre le caractère complexe de la sécurité sociale et du développement humain durable de la République Démocratique du Congo.

S'il faut penser à un développement durable en République Démocratique du Congo, il faudrait que les différents niveaux d'organisation sociale (Etat, structures d'organisation non gouvernementale ou ONG, organismes internationaux église et

société civile, citoyens congolais...) assument leurs responsabilités éthiques respectives, pour améliorer la qualité de la vie de la population.

4 CONCLUSION

Cette étude s'inscrit dans le cadre des Objectifs du Développement Durable (ODD 2015-2030). La motivation principale a consisté à évaluer l'état de lieu des objectifs du développement durable en RDC depuis 2015 jusqu'à 2024.

Il ressort des résultats de cette étude que la RDC fait face à plusieurs défis environnementaux dans sa quête de la durabilité environnementale.: pauvreté de masse, chômage, absence de soins de santé, insécurité alimentaire, faible accès à l'éducation de base et de qualité.

Les causes principales qui sont à l'origine de cette situation d'inconfort, c'est tout simplement la mauvaise gouvernance environnementale. A cela s'ajoute, la perte de l'autorité de l'Etat qui a abandonné la population à leur triste sort.

Pour remédier à toutes ces vulnérabilités, l'étude plaide pour une approche systémique qui reconnaît l'interdépendance entre les dimensions écologiques, politiques et socio-économiques, afin d'assurer un avenir durable de la République Démocratique du Congo.

L'Etat congolais devrait améliorer les conditions de vie de la population à travers: l'assurance des soins de santé décentes, la création d'emplois décent, la protection des femmes et des enfants, l'encouragement à la scolarisation, la multiplication des infrastructures de base, etc.

Aujourd'hui, les gouvernants doivent savoir que le développement d'une nation est un résultat qui se construit dans la manière la population à vivre, à fréquenter, à manger, à étudier et à travailler décentement dans un environnement sain et durable.

REFERENCES

- [1] Ethique et société (2024), Revue d'éthique, les pères dominicains, Kigali.
- [2] Fumunzanza, J. (2008), Kinshasa, d'un quartier à l'autre, éd. L'Harmattan, Paris.
- [3] Fundji, E (2021), Pratique et stratégie de résolution de la crise d'enseignement dans la ville province de Kinshasa. Une contribution sociologique, Faculté des Sciences, Administratives et politiques Sociales, Université de Kinshasa (UNIKIN), Kinshasa.
- [4] Gapyisi, E (1989), le défi urbain en Afrique, éd. L'Harmattan, Paris.
- [5] Kabuya, H. (2004), l'éducation relative à l'environnement, éd; PUC Kinshasa.
- [6] Kouùbo, D. (2003), La stratégie environnementale en question, éd. L'Harmattan, Paris.
- [7] Lambin, E. (2009), écologie du bonheur, éd. Le Pommier, Paris.
- [8] Monet, R. (2004), L'environnement. L'Hypothèque démographique, éd. L'Harmattan, Paris.
- [9] MUNKUAMO, G. (2024), La performance des écosystèmes urbains congolais (RDC) à lumière de la dynamique d'Agenda 21 (1992), édition, Presse de l'Université pédagogique nationale, PUPN, N° 099b (Avril –Juin), Kinshasa, pp. 57-66.
- [10] MUNKUAMO, G. (2023), Précarités urbaines à Kinshasa: dynamique d'un écosystème urbain congolais en crise de la durabilité environnementale, édition, Presse de l'Université Pédagogique Nationale, Centre de recherche (PUPN), N° 097 b, Kinshasa.
- [11] MUNKUAMO G. Musibono, D. (2015), Vulnérabilités environnementales et stratégies de survie urbaine en situation post-conflit en République Démocratique du Congo, in International journal of Innovation and applied Studies, Vol.13, N°1, pp 163-167.
- [12] Musibono, D. (2006), Du marasme d'un Etat Squelette aux défis du développement durable, Chaire UNESCO, Kinshasa.
- [13] Thiamdoum, (1985), L'église et la pronation humaine en Afrique aujourd'hui, éd. Secrétariat du SCEAM, N° 115, Kinshasa.

Structure du tube digestif d'un Channidae africain, *Parachanna obscura* (Günther, 1861)

[Structure of the digestive tract of an African Channidae, *Parachanna obscura* (Günther, 1861)]

Zéré Marius GOGBE¹, Yao Saki APPIAH¹, Attoubé Ida MONNEY², and Valentin N'DOUBA³

¹Département de Biologie Animale, UFR Sciences Biologiques, Université Peleforo Gon Coulibaly, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

²Laboratoire de Biodiversité et Ecologie Tropicale, UFR Environnement, Université Lorougnon Guédé, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

³Laboratoire des Milieux Naturels et Conservation de la Biodiversité, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: Knowledge of the digestive tract of fishes is a crucial clue to understanding their diet. Information on the digestive tract of *P. obscura* remains scarce and fragmentary. Therefore, this work aims to improve our knowledge of *P. obscura* by investigating the structure of its digestive tract in order to better understand its feeding ecology. To this end, the relationship between the length of the intestine and the standard length was determined by the equation: $Li = aLS^b$. On the other hand, the morphological and microscopic aspects of the digestive tract were described. The histological study was carried out according to the standard histological method and stained with haematoxylin and eosin. Intestinal growth relative to standard length follows positive allometry. The digestive tract includes an oesophagus, a developed stomach, a cecum and a relatively short intestine. The wall of the digestive tract consists of four distinct tunics. The muscularis is made up of two layers of muscle fibres at the level of the oesophagus. In other parts of the digestive tract, the muscularis consists of one layer of muscle fibres.

KEYWORDS: *Parachanna obscura*, digestive tract, allometry, morphology, histology, food ecology.

RESUME: La connaissance du tube digestif des poissons est un indice capital dans la compréhension de leur régime alimentaire. Les informations concernant le tube digestif de *P. obscura* demeurent rares et fragmentaires. Ainsi, ce travail se propose d'approfondir la connaissance de *P. obscura*, en abordant la structure du tube digestif afin de mieux comprendre son écologie alimentaire. Pour ce faire, la relation entre la longueur intestinale et la longueur standard a été déterminée par l'équation: $Li = aLS^b$ d'une part. D'autre part, les aspects morphologique et microscopique du tube digestif ont été décrits. L'étude histologique a été faite selon la méthode standard d'histologie et la coloration a été faite à l'hématoxyline et l'éosine. La croissance de l'intestin par rapport à la longueur standard suit une allométrie positive. Le tube digestif comporte un œsophage, un estomac développé, des cæcums et un intestin relativement court. La paroi du tube digestif est constituée de quatre tuniques distinctes. La musculature est formée de deux couches de fibres musculaires au niveau de l'œsophage. Dans les autres parties du tube digestif, la musculature est formée d'une couche de fibres musculaires.

MOTS-CLEFS: *Parachanna obscura*, tube digestif, allométrie, morphologie, histologie, écologie alimentaire.

1 INTRODUCTION

Parachanna obscura (Günther, 1861) est le plus répandu des Channidae africains [1]. L'espèce est présente en Afrique Centrale, Orientale et Occidentale. En Côte d'Ivoire, *P. obscura* se rencontre presque dans toutes les rivières côtières et grands fleuves [2], [3].

Initialement présenté comme une espèce n'ayant aucune valeur piscicole du fait de son ichtyophagie et de sa voracité [1], *P. obscura* est l'une des espèces dont la domestication est en pleine étude ces dernières années en Afrique de l'Ouest. L'un des facteurs les plus importants au maintien des larves de poissons est l'alimentation [4]. Sur ce point, des travaux ont été entrepris sur les exigences nutritionnelle et zootechnique de l'espèce [5], [6]. Mais, la connaissance du tractus alimentaire reste un préalable à toute investigation portant sur le choix de nourriture car elle est nécessaire à la compréhension du mécanisme nutritionnel des espèces [7].

Une multitude de données existe sur la structure du tube digestif des poissons téléostéens. Cependant, les informations portant sur le tube digestif de *P. obscura* demeurent rares et fragmentaires. Si la morphologie globale et l'équipement enzymatique de l'appareil digestif de *P. obscura* ont donné lieu à quelques rares travaux [8], [9]; la morphologie microscopique du tube digestif de cette espèce reste à étudier.

La présente étude a pour objectif d'approfondir la connaissance de *P. obscura*, afin de mieux comprendre son écologie alimentaire.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 DISSECTION ET ANALYSE MACROSCOPIQUE DU TUBE DIGESTIF

Les poissons examinés au cours du présent travail proviennent du lac de barrage d'Ayamé 2 situé dans le sud-est de la Côte d'Ivoire. Après la capture, les bonnes pratiques liées au traitement éthique des animaux ont été respectées. Ainsi, aucune souffrance, ni cruauté n'a été infligée aux poissons. Une fois la cavité abdominale du poisson ouverte, la peau est rabattue sur le côté pour permettre la mise en évidence de l'organisation du tube digestif dans la cavité abdominale. Le tube digestif est isolé dans sa totalité, déroulé et dégagé de l'ensemble des tissus adipeux et des adhérences afin de le photographier. Les cæcums ont été dénombrés et l'intestin a été mesuré au millimètre près. L'œsophage, l'estomac et les cæcums ont été prélevés et fixés individuellement dans un pilulier au moyen du formaldéhyde à 5 % pour la réalisation ultérieure des coupes histologiques. L'intestin a été divisé en intestin antérieur, médian et postérieur [10], avant d'être fixé par le même procédé.

La relation longueur intestin (Li) -longueur standard (LS) a été décrite par la fonction puissance de type: (1) $Li = aLS^b$ avec Li: longueur de l'intestin; a : ordonnée à l'origine; LS: longueur standard et b : coefficient d'allométrie [11], [12], [13].

Le coefficient d'allométrie b a été comparé à la valeur théorique 1 selon [11]. La comparaison du coefficient d'allométrie b à la valeur 1 a été faite à l'aide du test t de Student au seuil de significativité de 5 %. La valeur statistique t du test de Student est donnée par la relation suivante [14]: (2) $t = \frac{b-1}{ES}$ où ES = l'Ecart-type.

ES est donnée par la relation ci-après: (3) $ES = \sqrt{\frac{VAR(Li)}{(VAR(LS))(1-R^2)}} \sqrt{\frac{1}{N-2}}$ où VAR (Li) = variance ou dispersion de Li; VAR (LS) = variance ou dispersion de LS; R^2 = coefficient de détermination; $N-2$ = degré de liberté (ddl). Le degré de liberté exprime le nombre de classes réellement indépendantes. Si la valeur absolue de t ($|t|$) est supérieure ou égale à la valeur critique indiquée par la table de Student alors le coefficient d'allométrie b est significativement différent de 1. Dans le cas contraire b est statistiquement égal à 1. Si $b > 1$ l'allométrie est dite majorante, l'intestin croît plus vite que la longueur standard du poisson. Pour $b < 1$ l'allométrie est dite minorante, l'intestin croît moins vite que la longueur standard du poisson. Et si $b = 1$, alors il y a une isométrie entre les deux variables c'est-à-dire que Li et LS évoluent à la même vitesse [14].

Le coefficient intestinal (CI) défini comme étant le rapport de la longueur de l'intestin (Li) par la longueur standard (LS) [15] a été calculé comme suit: (4) $CI = \frac{Li}{LS}$.

2.2 COUPE HISTOLOGIQUE

La réalisation des coupes histologiques a été faite selon la méthode standard d'histologie et la coloration a été faite à l'hématoxyline et l'éosine. L'observation et les photos ont été réalisées à l'aide d'un microscope optique de type *OLYMPUS CX21* muni d'une caméra.

3 RESULTATS

3.1 MORPHOLOGIE GÉNÉRALE DU TUBE DIGESTIF

L'examen *in toto* du tube digestif de *P. obscura* met en évidence quatre principales parties qui sont: l'œsophage, l'estomac, les cæcums et l'intestin (**Figure 1**).

L'œsophage et l'estomac sont musculeux et à paroi épaisse. Extérieurement, il n'y a pas une limite nette qui sépare l'œsophage de l'estomac. Mais, la limite entre l'œsophage et l'estomac est marquée sur la face interne de la paroi. Les replis sont longitudinaux au niveau de l'œsophage et finissent là où commence l'estomac. La paroi interne de l'estomac est aussi fortement plissée. La branche cardiaque est très développée contrairement à la pylorique qui est beaucoup réduite. Les cæcums sont bien présents au niveau du pylore entre l'intestin et l'estomac. Deux de ces cæcums recouvrent presque toujours la branche cardiaque. Le nombre des cæcums pyloriques n'est pas fixe aussi bien chez les mâles que chez les femelles. Ce nombre varie de 5 à 9 chez les mâles et de 5 à 11 chez les femelles. Le test-t de Student a révélé que le nombre des cæcums diffère significativement en fonction des sexes chez *P. obscura* ($P = 0,03$). L'intestin est rattaché à l'estomac du côté droit c'est-à-dire du côté gauche de l'observateur dans une vue ventrale du poisson. L'intestin est plié en deux, délimitant trois segments. En partant de l'estomac, le premier segment, le plus long, se prolonge dans la cavité abdominale en arrière de l'orifice anal. Le troisième segment est moins long que le deuxième et se poursuit par le rectum qui s'ouvre à l'extérieur par l'orifice anal. La longueur relative moyenne de l'intestin est 0,5417 et 0,5409 chez les mâles et les femelles respectivement. La **figure 2** présente la relation longueur intestin-longueur standard chez les mâles et les femelles. Cette relation est donnée par l'équation $Li = 0,321 \times LS^{1,093}$ pour les mâles et $Li = 0,4063 \times LS^{1,0509}$ pour les femelles. Le test-t de Student révèle que les valeurs de b sont significativement supérieures à 1 ($|t| > 1,96$). Ces valeurs de b indiquent donc que l'allométrie existant entre la longueur de l'intestin et la longueur du poisson est de type positif chez *P. obscura* traduisant une croissance plus rapide de l'intestin par rapport à la longueur standard du poisson.

Les valeurs 0,7031 et 0,6510 de R^2 respectivement chez les mâles et les femelles montrent une corrélation forte entre la longueur de l'intestin et la longueur standard chez *P. obscura*.

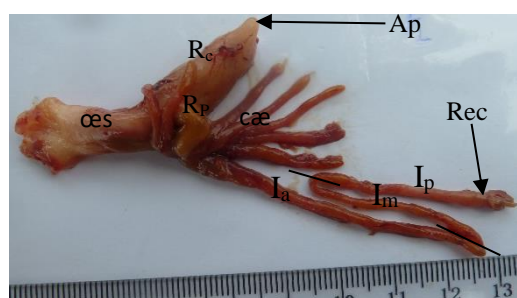


Fig. 1. Vue macroscopique du tube digestif de *P. obscura*

œs: œsophage, **Rc:** région cardiaque, **Rp:** région pylorique, **Ap:** apex, **cæ:** cæcums, **Ia:** intestin antérieur, **Im:** intestin médian, **Ip:** intestin postérieur, **Rec:** rectum

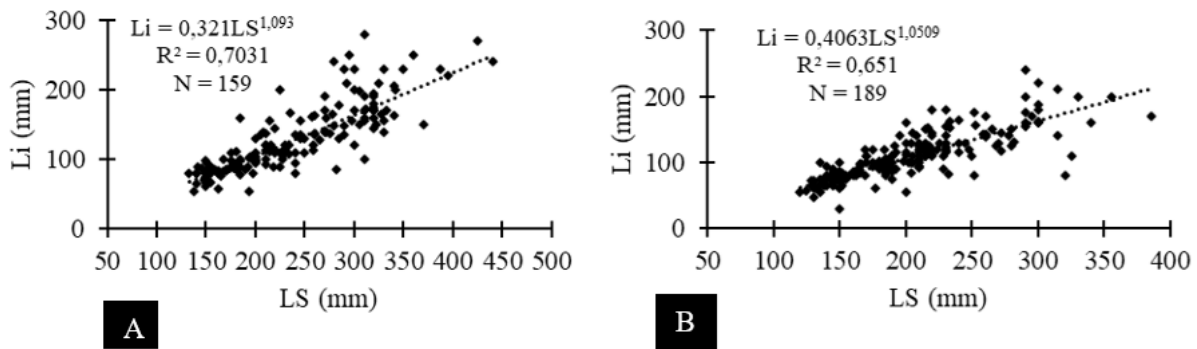


Fig. 2. Relation longueur intestin (Li) -longueur standard (LS) chez les mâles (A) et femelles (B) *P. obscura*

3.2 HISTOLOGIE DU TUBE DIGESTIF

Œsophage: la section transversale montre que, l'œsophage présente de larges villosités orientées dans la lumière œsophagienne (**figure 3A**). La paroi est formée de quatre principales tuniques: la séreuse, la musculuse, la sous-muqueuse et la muqueuse (**figure 3B**). La séreuse est une couche très fine qui enveloppe la musculuse. La musculuse est formée de deux couches de fibres musculaires. La couche externe est constituée de fibres musculaires circulaires et la couche interne est constituée de fibres musculaires longitudinales. Sur la section transversale de l'œsophage, les fibres musculaires longitudinales apparaissent juste en-dessous de la couche externe sous-forme de plusieurs amas de cellules disposés de façon plus ou moins irrégulière dans la sous-muqueuse. La sous-muqueuse est beaucoup plus importante que les autres couches et constitue la majeure partie de la paroi œsophagienne. La sous-muqueuse est très vascularisée et innervée. Au fort grossissement ($G \times 400$), la muqueuse est constituée essentiellement de chorion et de cellules arrondies (cellule en gobelet) disposées, de façon perpendiculairement à la couche épithéliale (**figure 3C**). La couche épithéliale montre deux structures plus ou moins alternées. L'une, riche en cellules épithéliales pavimenteuses, forme la crête des replis de l'épithélium et l'autre au fond, pauvre en cellules épithéliales est une évagination du chorion dans la couche épithéliale.

Estomac: comme dans l'œsophage, la coupe transversale de l'estomac montre des villosités (**Figure 4A**). Les quatre tuniques observées dans la paroi de l'œsophage y sont également présentes. Cependant, la couche interne de la musculuse formée de fibres musculaires longitudinales est absente. La couche musculaire circulaire de la musculuse et la muqueuse sont beaucoup plus épaisses que dans l'œsophage. Contrairement à celui de l'œsophage, l'épithélium gastrique a un aspect uniforme.

Cæcums pyloriques: les cæcums sont caractérisés par une paroi mince constituée de trois tuniques qui sont la séreuse, la musculuse et la muqueuse (**Figure 4B**). La sous-muqueuse y est très réduite voire absente. La musculuse du cæcum est formée uniquement de fibres musculaires circulaires. La muqueuse est profondément divisée en villosités qui se présentent sous forme de lamelles séparées par des cryptes. Des structures globulaires assimilables à des glandes apparaissent dans la paroi cæcale.

Intestin: l'intestin présente une paroi à trois tuniques concentriques (séreuse, musculuse et muqueuse). La muqueuse est plus développée avec des villosités qui varient en nombre et en longueur dans chaque région de l'intestin. La coupe transversale effectuée au niveau de la partie antérieure de l'intestin montre une paroi similaire à celle du cæcum avec présence des structures globulaires dans la paroi (**figure 5A**). Mais, le nombre des structures globulaires est bien plus élevé dans la paroi de l'intestin antérieur. Un peu plus loin, au niveau de la partie médiane de l'intestin, ces structures n'ont pas été observées dans la paroi (**Figure 5B**). La paroi de la partie postérieure de l'intestin est plus épaisse. La séreuse et la musculuse sont plus larges dans cette partie de l'intestin. Les villosités y sont branchues formant des cryptes plus importantes (**Figure 5C**).

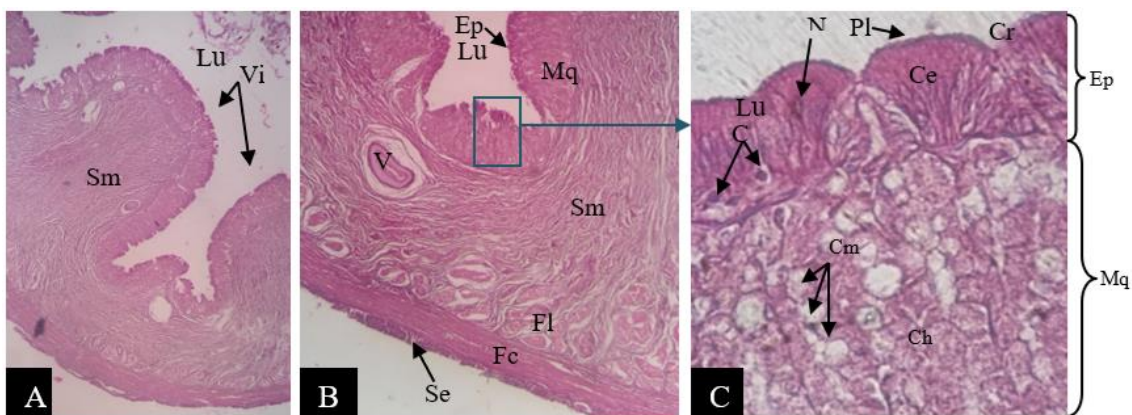


Fig. 3. Coupe transversale de l'œsophage de *P. obscura* (H et E)

A (GX40) et B (GX100); C: Détail de la muqueuse et de l'épithélium (GX400); Ce: Cellule épithéliale; Ch: Chorion; Cm: Cellules de la muqueuse; Cr: Crypte; Cs: Cellules souches de l'épithélium; Ep: Epithélium; Fc: Fibres musculaires circulaires de; Fl: Fibres musculaires longitudinales de la musculature; Lu: Lumière; Mc: Musculeuse, Mq: Muqueuse; N: Noyau de la cellule épithéliale; Pl: Plateau strié; Ser: Séreuse; Sm: Sous-muqueuse; Vi: Villosités; Vs: Vaisseau sanguin.

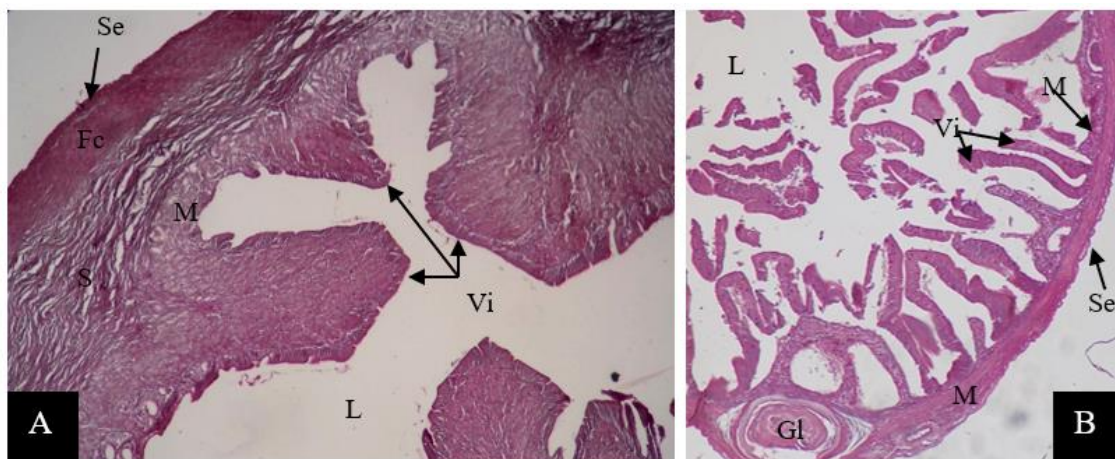


Fig. 4. Coupe transversale de l'estomac (A) et d'un caecum pylorique (B) de *P. obscura*

Grossissement: Gx100; Gl: structure globulaire; Fc: Fibres musculaires circulaire de la musculature; Mq: Muqueuse; Lu: Lumière; Ser: Séreuse; Sm: Sous-muqueuse; Vi: Villosités.

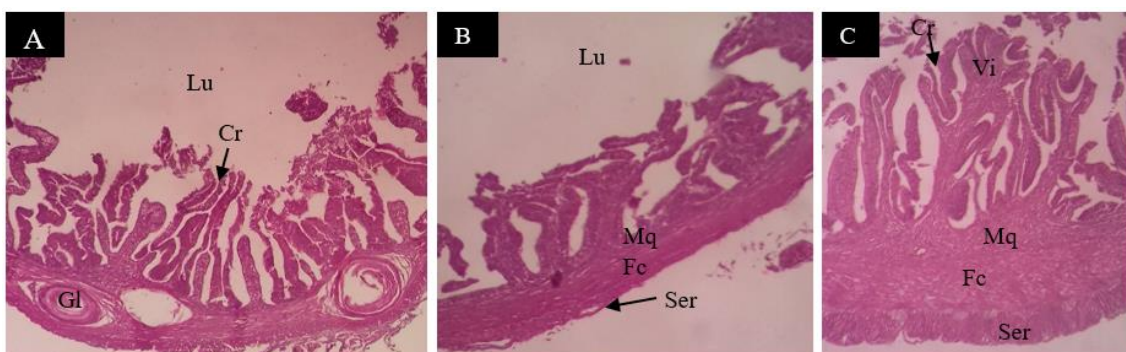


Fig. 5. Coupe transversale de l'intestin de *P. obscura* (H et E)

A: intestin antérieur; B: intestin médian; C: intestin postérieur; Cr: Crypte; Gl: Structure globulaire; Lu: Lumière; Fc: Fibres musculaires circulaires de la musculature; Mq: Muqueuse; Ser: Séreuse; Vi: Villosités.

4 DISCUSSION

L'examen macroscopique du tube digestif de *P. obscura* indique un œsophage et un estomac bien développés à paroi épaisse et musculeuse avec des plis sur la face interne. Une telle morphologie du tube digestif a été observée chez d'autres Channidae tels que *Channa punctata* et *Channa striata* [16]. *Parachanna obscura* est un carnivore et son régime alimentaire est composé essentiellement de poissons [17]. Le type morphologique avec un large estomac est l'une des caractéristiques des poissons carnivores, notamment les piscivores [11], [18], [19]. La présence des plis sur la face interne de l'œsophage et de l'estomac est nécessaire à l'ingestion des proies de grande taille [20]. En effet, les plis internes dans la paroi permettent à l'œsophage et à l'estomac d'être facilement extensibles, permettant ainsi au poisson d'avaler de grosses proies entières et augmentent la surface permettant le mélange efficace des aliments avec le suc gastrique [21].

La longueur relative de l'intestin inférieure à 1 obtenue dans le présent travail montre que l'intestin de *P. obscura* est très court. Ce résultat est conforme à ceux habituellement rapportés dans la littérature pour les carnivores. Ainsi, en se référant aux travaux de [13], la longueur relativement de l'intestin des carnivores est inférieure à 1. Aussi, nos résultats indiquent-ils que la croissance de l'intestin est plus rapide que celle de la longueur standard du poisson. Cette croissance rapide de l'intestin serait liée à la demande en énergie du poisson pendant sa croissance. En effet, la croissance de l'intestin augmente son efficacité et sa capacité à absorber les nutriments nécessaires pour faire face aux besoins énergétiques de l'animal au cours de la croissance de celui-ci [22], [12].

Les cæcums pyloriques sont absents chez plusieurs familles de Téléostéens comme les Cyprinidae, Cyprinodontidae, certains Cichlidae, etc [8]. Quand les cæcums pyloriques sont présents, leur nombre varie selon les espèces. La référence [8] en a dénombré 5 et 8 respectivement chez les mâles et les femelles de *P. obscura*. La présente investigation indique également une variation significative du nombre des cæcums pyloriques en fonction des sexes. Cependant, en raison de l'importance des ramifications observées, ce nombre n'est fixe ni chez les mâles ni chez les femelles. Toutefois, les ramifications des cæcums pyloriques semblent plus accentuées chez les femelles que les mâles. C'est qui explique le nombre élevé des cæcums en faveur des femelles. La variation du nombre des cæcums pyloriques en fonction des sexes pourrait être attribuée selon [11] au caractère pylogénétique de l'espèce.

De nombreuses observations indiquent que la tunique musculeuse chez les Téléostéens est constituée d'une couche de fibres longitudinales externes et d'une couche de fibres circulaires internes [23], [18]; [24]. Cette structure classique de la musculeuse a bien été observée au niveau de la paroi œsophagienne de *P. obscura*. Cependant, la présente étude montre qu'à l'exception de la paroi œsophagienne, la tunique musculeuse du tube digestif de *P. obscura* est caractérisée par une seule couche: la couche musculaire circulaire. La présence d'un seul type de fibres musculaires au niveau de la musculeuse pourrait être une caractéristique du tube digestif des Channidae. En effet, cette même observation a été faite chez d'autres Channidae, en occurrence *Channa punctata* et *Channa striata* [16].

La muqueuse et les plis bien développés au niveau de l'estomac augmentent le séjour de la nourriture dans ce compartiment du tube digestif permettant une digestion mécanique et chimique plus complète des aliments [25]. Selon ces auteurs, les replis stomacaux retardent le passage du bol alimentaire de l'estomac à l'intestin afin de permettre sa digestion complète.

La structure histologique des cæcums pyloriques observée au cours de la présente investigation est similaire à celle de l'intestin antérieur. Cette similarité structurale s'explique par l'hypothèse selon laquelle ces deux parties du tube digestif auraient la même fonction [26], [27], [28]. Selon ces auteurs, les entérocytes de l'intestin antérieur et des cæcums pyloriques des poissons interviendraient dans l'absorption des particules lipidiques.

La différence de structure observée entre les parties antérieure, médiane et postérieure de l'intestin est caractéristique aux poissons téléostéens. Cette différence est due aux fonctions assignées à ces différentes portions de l'intestin. Selon les travaux de [26] et de [29] l'intestin antérieur des Téléostéens est spécialisé dans l'absorption des molécules lipidiques tandis que l'intestin moyen est le lieu d'absorption des macromolécules protéiques. Concernant la partie postérieure, elle est la portion où s'effectuent les échanges d'osmo-régulation. Aussi, le présent travail a-t-il révélé une augmentation de la muqueuse de l'intestin antérieur vers l'intestin postérieur. Le présent résultat est conforme aux résultats obtenus sur trois espèces de carnivore de la famille des Ambassidae par [30] et sur un autre carnivore *Seriola dumerili* par [31]. Ce dernier argumente que la forte concentration des cellules de la muqueuse dans la partie postérieure est due au fait que le mucus serait utilisé comme un lubrifiant pour faciliter la défécation. Ce résultat est aussi en accord avec ceux obtenus par [29] sur le carnivore *Schilbe Mystus*.

5 CONCLUSION

Cette investigation a permis de connaître la morphologie et l'histologie du tube digestif de *P. obscura*. Le tube digestif de ce poisson est constitué de quatre tuniques. Mais la sous-muqueuse est très réduite voire absente au niveau de l'intestin et des cæcums pyloriques. La musculature est de deux couches de fibres musculaires au niveau de l'œsophage et dans le reste du tube digestif elle est formée uniquement de fibres musculaires circulaires. La musculature de l'œsophage et de l'estomac observée au cours de ce travail est en adéquation avec le régime alimentaire rapporté dans la littérature.

REMERCIEMENTS

Les auteurs sont singulièrement reconnaissants à Monsieur Touré Famaga, technicien au Laboratoire d'Anatomie et Cytologie pathologique du Centre Hospitalier et Universitaire de Treichville (Abidjan) pour son aide précieuse pendant la réalisation des coupes histologiques. Les auteurs saluent également les pêcheurs de la ville d'Ayamé pour leur franche collaboration lors de l'échantillonnage.

REFERENCES

- [1] C. A. Bonou et G. G. Teugels, « Révision systématique du genre *Parachanna* Teugels et Daget 1984 (Pisces: Channidae) », *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, vol.18, n° 4, pp. 267-280, 1985.
- [2] G. G. Teugels, C. Lévêque, D. Paugy et K. Traoré, « Etat des connaissances sur la faune ichtyologique des bassins côtiers de Côte d'Ivoire et de l'ouest du Ghana », *Revue Hydrobiologie Tropicale*, vol. 21 n° 3, pp. 221-237, 1988.
- [3] T. Koné, G. G. Teugels, V. N'douba, G. Gooré Bi et E. P. Kouamélan, « Premières données sur l'inventaire et la distribution de l'ichtyofaune d'un petit bassin côtier ouest africain: rivière Gô (Côte d'Ivoire) », *Cybium*, vol. 27, n° 2, pp. 101-106, 2003.
- [4] V. Tan-Tue, « Etude du développement du tube digestif des larves de bar *Dicentrarchus labrax* », *Archives de zoologie expérimentale générale*, vol. 117, n° 4, pp. 493-509, 1976.
- [5] D. N. S. Kpoguè, « Contribution à la domestication de *Parachanna obscura* (Günther, 1861): besoins nutritionnels et densité de mise en charge », Thèse de Doctorat de l'Université d'Abomey Calavi, 2013.
- [6] D. N. S. Kpoguè, H. Gangbazo and E. Fiogbe, « A preliminary study on the dietary protein requirement of *parachanna obscura* (günther, 1861) larvae », *Turkish Journal Fisheries and Aquatic Sciences*, vol.13, pp. 111-117, 2013.
- [7] S. M. Banan Khojasteh and S. Ghodratiya, « Gastric and intestinal morphohistology of *Epinephelus coioides* (Osteichthyes, Serranidae) », *International Journal of Aquatic Science*, vol. 4, n° 2, pp. 83-90, 2013.
- [8] E. P. Kouamélan, G. Gourène, G. G. Teugels, V. N'Douba et D. F. E. Thys Van Den Audenaerde, « Diversité morphologique du tube digestif chez 39 espèces de poissons africains et relation avec la classification ichtyologique », *Journal of African Zoology*, vol. 111, n° 2; pp. 109-119, 1997.
- [9] D. O. Odedeyi, « Digestive Enzymes in the Gut of Snakehead Fish *Parachanna obscura* (Güther, 1861) (Channidae in River Ose South Western Nigeria », *Journal of Fisheries International*, vol. 2, n° 2, pp. 178-181, 2007.
- [10] R. B. Mari, M. M. Rotundo, J. P. Guimaraes and I. M. Andrade, « Morphology of the digestive tract of the Whitemouth croaker *Micropogonias furnieri* (Desmarest, 1823) (Perciformes: Sciaenidae). *Acta Zoologica* », vol. 98, n° 2, pp. 136-143, 2016.
- [11] P. Geistdoerfer, « Morphologie et histologie de l'appareil digestif des Macrouridae (Téléostéens). I- Morphologie de l'appareil digestif ». *Cybium*, vol. 5 n° 2, pp. 3-44, 1981.
- [12] D. L. Kramer and M. J. Bryant, « Intestine length in the fishes of a tropical stream: 1. Ontogenetic allometry », *Environmental Biology of Fishes.*, vol. 42, pp. 115-127, 1995.
- [13] P. K. Karachle and K. I. Stergiou, « Intestine morphometrics of fishes: a compilation and analysis of bibliographic data », *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, vol. 40 n° 1, pp. 45-54, 2010.
- [14] S. Dhaouadi-Hassen et M. Boumaïza, « Croissance relative de l'endopodite sexuel chez trois populations d'*Atyaephyra desmaresti* (Crustacea, Decapoda, Atyidae) de trois barrages tunisiens (Sidi Salem, Lebna et Sidi Saâd) », *Zoologica Baetica*, vol.16, pp. 3-19, 2005.
- [15] D. Paugy, « Ecologie des poissons tropicaux d'un cours d'eau temporaire (Baoulé, haut bassin du Sénégal au Mali): adaptation au milieu et plasticité du régime alimentaire », *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, vol. 27 n° 2, pp. 157-172, 1994.
- [16] M. Borman, I. Ara, M. Kamrujjaman and M. R. Nabi, « Histo-morphology of the alimentary canal in two freshwater snakehead fish *Channa punctata* and *Channa striata* », *Journal of Fisheries*, vol. 3 n°3, pp. 297-300; 2015.

- [17] Z. M. Gogbé, K. G. Blahoua, E. L. G. Djadji et V. N'Douba, « Habitudes alimentaires de *Parachanna obscura* (Günther, 1861) dans un lac de barrage hydroélectrique ouest-africain: lac d'Ayamé 2, Côte d'Ivoire » *Afrique Sciences*, vol. 13 n°6 pp. 248-260, 2017.
- [18] M. Sinha, « Functional morphology, anatomy and histology of the digestive organs of the catfish *Plotosus canius* Hamilton ». *Indian Academy of Sciences (Animal Sciences.)*, vol. 95, n° 1 pp. 23-44, 1986.
- [19] M. Carrasson, A. Grau, L. R. Dopazo and S. Crespo, « A histological, histochemical and ultrastructural study of the digestive tract of *Dentex dentex* (Pisces, Sparidae) », *Histology and Histopathology*, vol. 21, n° 6, pp. 579-593, 2006.
- [20] R. D. M. Germano, S. R. Stabile, R. D. B. Mari, J. N. B. Pereira, J. R. S. Faglioni and M. H. D. M. Neto, « Morphological characteristics of the *Pterodoras granulosus* digestive tube (valenciennes, 1821) (Osteichthyes, Doradidae)», *Acta Zoologica*, vol. 95 n° 2, pp. 166-175, 2014.
- [21] E. De Felice, A. Palladino, F. M. Tardella, D. Giaquinto, C. M. A. Barone, A. Crasto and P. Scocco, « A morphological, glycohistochemical and ultrastructural study on the stomach of adult Rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* », *European Zoological Journal*, vol. 88, n° 1, pp. 269-278, 2021.
- [22] D. O. Ribble, and M. H. Smith, 1983. Relative intestine length and feeding ecology of freshwater fishes. *Growth*, vol. 47, n°3, pp. 292-300.
- [23] P. Geistdoerfer, « Morphologie et histologie de l'appareil digestif des Macrouridae (Téléostéens). II-Histologie de l'appareil digestif », *Cybiurn*, vol. 5 n° 4, pp. 3-22, 1981.
- [24] V. T. Namulawa, C. D. Kato, E. Nyatia, P. Britz and J. Rutaisire, « Histomorphological description of the digestive system of Nile Perch (*L. niloticus*) », *International Journal of Morphology*, vol. 29, n°3, pp.723-732, 2011.
- [25] M. Silva, M. R. M. Natali and N. S. Hahn, « Histology of the digestive tract of *Satanoperca pappaterra* (Osteichthyes, Cichlidae) », *Acta Scientiarum Biological Sciences*, vol. 34, n°3, pp. 319-326, 2012.
- [26] P. Bergot, A. Solari et P. Luquet, « Comparaison des surfaces d'absorbantes des caeca pyloriques et de l'intestin chez la truite arc-en-ciel (*Salmo gairdneri*, Rich.) ». *Annal d'Hydrobiologie*, vol. 6, pp. 27-43, 1975.
- [27] D. N. Ezeasor and W. M. Stokoe, « Light and electron microscopic studies on the absorptive cells of the intestine, caeca and rectum of the adult rainbow trout *Salmo gairdneri*, Rich », *Journal of Fish Biology*, vol. 18, n°5, pp. 527-544, 1981.
- [28] A. M. Houssain and H. M. Dutta, « Assessment of structural and functional similarities and differences between caeca of the bluegill ». *Journal of Fish Biology*, vol. 53 n°6, pp. 1317-1323, 1998.
- [29] I. A. Fawzy, A. A. N. Suzan and A. A. E. G. Fawzia, 2008. Comparative study on the intestine of the *Schilbe Mystus* and *Labeo Niloticus* in correlation with their feeding habits. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, vol. 12, n° 4; pp. 275-309, 2008.
- [30] T. J. Martin and S. J. M. Blader, « Morphology and histology of the alimentary tract of the Ambassidae (Cuvier) (Teleostei) in relation to feeding ». *Journal of Morphology*, vol.182, n° 3, pp. 295-305, 1984.
- [31] A. Grau, S. Crespo, M. C. Sarasquete and M. L. Gonzalez De Canales, « The digestive tract of the amberjack *Seriola dumerili*, Risso: light and scanning electron microscope study ». *Journal of Fish Biology*, vol. 41, n°2, pp. 287-303, 1992.

Caractérisation et fertilisation raisonnée des sols avec des variétés de riz cultivées dans les régions de Tillabery et Niamey au Niger

[Characterization and rational fertilization of soils with rice varieties cultivated in the regions of Tillabery and Niamey in Niger]

Ibrahim Aichatou¹, Sido Yacouba Amir¹, Issa Zakari Mahaman Mourtala², and Dan Lamso Nomaou³

¹Département des cultures irriguées, Institut National de la Recherche Agronomique, Niamey, Niger

²Département de gestion des ressources naturelles, Institut National de la Recherche Agronomique, Kollo, Niger

³Faculté d'agronomie, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niamey, Niger

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

ABSTRACT: Rice is one of the main crops of irrigated perimeters of the Niger River Valley. Reasoned fertilization on rice diocers is very important in improving yields, decreasing nutrient losses but also conservation of soil. The objective of this study is to characterize the physico-chemical solutions of soils to evaluate the effects of several fertilization formulas on the production of three varieties of rice at the irrigated niamey and Tillabéry perimeters. The study is carried out in two stages first one on the soil analyzes and the other on agricultural tests. Solutions of solutions were conducted at the Liborated sites, Saadia Amount and N'Dounga 1 during the year 2023. All ten samples taken were studied at the Social Science Laboratory of the Faculty of Agronomy and the LANB laboratory to know the physicochemical characteristics of the soil of the sites. Study of the study sites. For testing, kogoni91-1 (rifles), Orylux and IR15 rice varieties were used in a 2123 winter season and dry season 2023. The experimental device is the blocking block (3x5) with two factors: the 1st factor as variety with three varieties (Gambiaka; Orylux and IR15) and the 2nd factor fertilizer factor feature with five treatments: T0 = N122P30K30 (peasant practice); T1 = N138P90K60; T2 = N175P112 K60; T3 = N100P120K 50S20Zn2; T4 = N122P30K30S20Zn2. The soil analysis of the three sites have shown that soils have lemon-sandbrandex textures (Liborated and N'Dounga 1) and limited texture to Saadia upstream. The soils of the three sites are low in chemical and poor elements in exchangeable bases. The rates of organic matter and total nitrogen decrease with the depth at all the sites studied. The performance of genotypes are influenced by the imposed treatments or the environment in which the culture has been installed. During the dry season, the best combinations and also the most stable in the three sites are the variety 2 with T4 treatment and variety 1 with T4. During the rainy season, the variety combination 2 and T4 treatment has a high and stable yield to Liborated and Ndounga1 while the variety combination 3 with T4 treatment is the best performance in Saadia AMONT. The comparison of the averages shows that the highest average yield was obtained with the T4 formula combined with the varieties that are V1, V2 and V3 for the dry season and the wintering season.

KEYWORDS: rice, soil fertilization, feature feet of fertilizer, variety, Liboré, Saadia Amont, N'Dounga1 and Niger.

RESUME: Le riz est l'une des principales cultures des périmètres irrigués de la vallée du fleuve Niger.

La fertilisation raisonnée sur les périmètres rizicoles est très importante dans l'amélioration des rendements, la diminution des pertes des nutriments mais aussi la conservation de sol. L'objectif de cette étude est de caractériser les paramètres physico-chimiques des sols afin d'évaluer les effets de plusieurs formules de fertilisation sur la production de trois variétés du riz au niveau des périmètres irrigués de Niamey et Tillabéry. L'étude est réalisée en deux étapes d'abord une sur les analyses des sols et l'autre sur les essais agronomiques. Des prélèvements de sol ont été effectués au niveau des sites des Liboré, Saadia Amont

et N'Dounga 1 au cours de l'année 2023. Tous les dix échantillons prélevés ont été étudiés au laboratoire de science du sol de la faculté d'agronomie et du laboratoire de l'INRAN pour connaître les caractéristiques physico-chimiques du sol des sites d'étude. Pour les essais, les variétés de riz Kogoni91-1 (Gambiaka), Orylux et IR15 ont été utilisées en saison d'hivernage 2023 et saison sèche 2023. Le dispositif expérimental est le dispositif en factoriel bloc (3x5) avec deux facteurs: le 1^{er} facteur comme variété avec trois variétés (Gambiaka; oryflux et IR15) et le 2^e facteur dose d'engrais avec cinq traitements: T0 = N₁₂₂P₃₀K₃₀ (Pratique paysanne); T1 = N₁₃₈P₉₀K₆₀; T2 = N₁₇₅P₁₁₂ K₆₀; T3 = N₁₀₀P₁₂₀K₅₀S₂₀Zn₂; T4 = N₁₂₂P₃₀K₃₀S₂₀Zn₂. L'analyse des sols des trois sites ont montré que les sols ont des textures limono-sableuses (Liboré et N'Dounga 1) et texture limoneuse à Saadia Amont. Les sols des trois sites sont faibles en éléments chimiques et pauvre en bases échangeables. Les taux de la matière organique et l'azote total diminuent avec la profondeur au niveau de tous les sites étudiés. Les performances des géotypes sont influencées par les traitements imposés ou l'environnement dans lequel la culture s'est installée. Pendant la saison sèche, les meilleures combinaisons et aussi les plus stables dans les trois sites sont la variété 2 avec traitement T4 et variété 1 avec T4. Pendant la saison pluviale, la combinaison variété 2 et traitement T4 a un rendement élevé et stable à Liboré et à N'Dounga1 alors que la combinaison variété 3 avec traitement T4 est la meilleure en rendement à Saadia Amont. La Comparaison des moyennes montre que le rendement moyen le plus élevé a été obtenu avec la formule T4 combiné avec les variétés qui sont V1, V2 et V3 pour la saison sèche et la saison d'hivernage.

MOTS-CLEFS: riz, fertilisation du sol, formule dose d'engrais, variété, Liboré, Saadia Amont, N'Dounga1 et Niger.

1 INTRODUCTION

Le riz (*Oryza sativa* L.) est la principale denrée alimentaire de près de la moitié de la population mondiale et contribue à plus de 20% à la fourniture mondiale en calorie consommée [15]. La production rizicole totale de l'Afrique augmente de 2,9% par an menée par une croissance annuelle de 1,1% en superficie et de 1,8% en amélioration annuelle de rendements. La population de l'Afrique subsaharienne devrait doubler d'ici 2050 pour atteindre 2 milliards d'habitants alors qu'elle n'était que de 800 millions en 2010; or ses besoins alimentaires seront multipliés par quatre. La production de riz du Niger n'a pas été en mesure de répondre à la croissance de la demande [26] et le pays souhaite depuis presque cinq ans atteindre son autosuffisance en riz. A cet effet, l'objectif de ne plus importer du riz était fixé à 2021 puis à 2023 et finalement à 2030. Au Niger, le riz (42 981 t de production sur une superficie de 20 712 t.) constitue la troisième céréale après le mil (3 161 868 t) et le sorgho (1 700 908 t) tant au point de vue superficie que de la production [9].

Malgré l'accroissement des productions du riz en Afrique de l'Ouest, l'offre ne satisfait pas la demande intérieure. Cette situation varie cependant selon les pays. Pour faire face à ces difficultés auxquelles sont confrontés les paysans, plusieurs initiatives ont vu le jour, parmi lesquelles la fertilisation du sol. Les éléments fertilisants majeurs sont l'azote qui est le pivot de la fumure, le phosphore et le potassium [29]. L'alimentation en azote détermine directement le rendement potentiel. Aussi l'effet de l'azote sur le rendement est spectaculaire et l'azote est considéré comme le pivot de la fertilisation. Le phosphate naturel de Tahoua, l'un des éléments nutritifs essentiels est utilisé dans l'amélioration de la fertilisation des sols pour produire des phospho-composts. Ces derniers seront utilisés pour améliorer la fertilité des sols, mais surtout pour corriger la carence en phosphore dont souffrent les sols sahéliens en général et les sols nigériens en particulier car le manque de cet élément minéral est l'un des facteurs qui est responsable de la baisse de la fertilité et des rendements agricole au sahel [29]. Beaucoup d'études ont été réalisées sur la fertilisation minérale et ou organique, telles que, [14] à Antananarivo, [25] au Burkina Faso, et de [21] au Mali.

La dégradation des sols est l'une des principales contraintes de la production du riz et cela nécessite une fertilisation par l'apport d'engrais. L'engrais enrichit le sol. En effet les sols qui reçoivent régulièrement des engrais permettent d'obtenir des rendements plus élevés et une bonne réponse aux engrais: on parle d'un effet " vieille graisse" [18]. L'utilisation de variétés améliorées est également un facteur important de la productivité. De plus, l'utilisation continue et exclusive d'engrais chimiques de type NPK entraîne l'acidification du sol, son appauvrissement en oligo-éléments et à moyen terme, la diminution de la production [17], Les oligo-éléments sont présents en très faibles quantités mais jouent un rôle essentiel dans les mécanismes de croissance des végétaux par exemple la photosynthèse, pollinisation, synthèse, des protéines et des glucides, fixation de l'azote, réduction des nitrates, la respiration et la migration des sucres [29].

C'est pour pallier à tous ces problèmes liés à la fertilisation de riz au Niger en poursuivant l'étude réalisée par [24] que la présente étude a été envisagée pour étudier la fertilisation raisonnée de sol pour une meilleure productivité des variétés du riz cultivées dans les régions des Tillabéry et Niamey. La fertilisation raisonnée repose sur quatre critères: l'exigence de la culture, l'analyse de sol, historique de la fertilisation et la gestion des résidus des cultures. L'objectif principal de cet article est de caractériser les paramètres physico-chimiques des sols de la région des Tillabéry et Niamey en vue de proposer une

fertilisation raisonnée qui aboutira à une nouvelle formule de fertilisation de sol pour une meilleure productivité des variétés de riz afin de proposer aux exploitants les variétés de riz les plus adaptées à leurs sols.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 MATÉRIEL

2.1.1 PRÉSENTATION DES SITES D'ÉTUDE

Cette étude a été conduite dans trois sites de production de riz au Niger (Tableau 1). Le périmètre de Liboré et le périmètre de N'Dounga 1 sont situés dans de la région de Tillabéry administrée par le département de kollo. Le périmètre de Saadia Amont se situe dans la commune V de la région de Niamey (Figure 1).

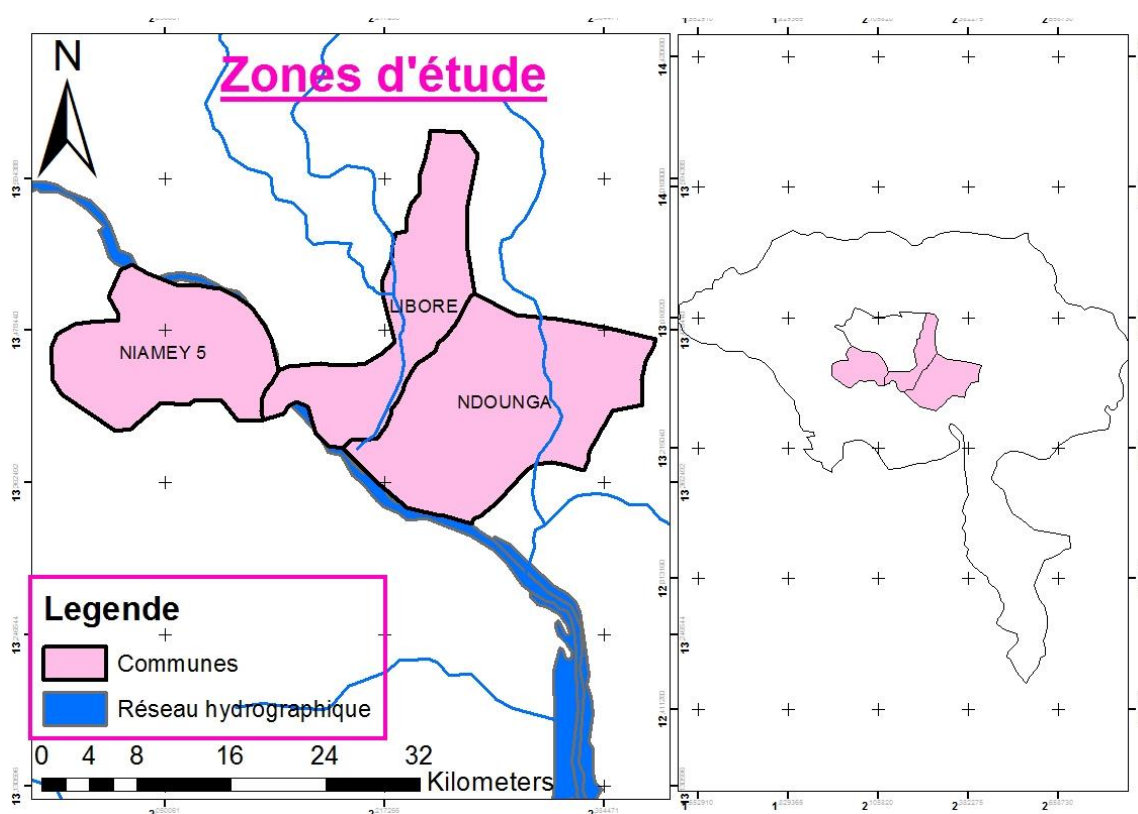


Fig. 1. Localisation des sites d'étude

Tableau 1. Coordonnées géographiques des sites d'étude

Localités	Latitude	Longitude
Liboré	13°39'80''	002°19'59''
N'Dounga 1	13°20'51''	002°14'50''
Saadia Amont	13°35'	002°15'

Dans le cadre de cette étude trois (3) principaux types de matériel ont été concernés: végétal, fertilisants et matériels techniques

2.1.2 MATÉRIEL BIOLOGIQUE

Le matériel végétal utilisé en saison hivernage 2023 et en saison sèche 2023 sont les variétés de riz Kogoni 91-1 dénommée Gambiaka, orylux et la IR15. Ce sont des variétés améliorées utilisées pour des raisons qui sont entre autres le goût, la couleur

des grains, le bon tallage, la résistance aux maladies et le rendement. Les variétés choisies sont toutes des variétés améliorées à cycle court et cultivées en majorité par les exploitants des sites retenus.

2.1.3 FERTILISANTS

Les fertilisants utilisés lors de cet essai se composent de l'Urée, du NPK (15-15-15), du DAP, du sulfate de calcium et de zinc à des doses différentes selon les traitements.

2.1.4 MATÉRIEL TECHNIQUE

Le matériel technique est composé de:

- Un mètre ruban ayant servi aux mesures;
- Un GPS (global position system) pour la prise des coordonnées géographiques;
- Des sachets plastiques pour les prélèvements des échantillons;
- Une balance électronique pour les pesées;
- Un appareil photo pour les prises de vue;
- Des fiches des relevés et des suivis;
- Un questionnaire pour les entretiens directs;
- Des sacs pour le stockage du riz.

2.2 MÉTHODES

2.2.1 PARAMÈTRES PHYSICO- CHIMIQUES DU SOL AU NIVEAU DE CHAQUE SITE

Des prélèvements de sol ont été effectués au niveau des sites des Liboré, Saadia Amont et N'Dounga 1 au cours du mois de Mars 2023.

Au niveau du site de Saadia Amont, trois échantillons sont prélevés de même qu'à Liboré, mais à des horizons différents qui varient de 0-18 cm; 18-50 cm et de 50 -115+ cm pour le site de Saadia Amont et de 10-36 cm; 36-70 cm et de 70-105+ cm pour le site de Liboré. Le site de N'Dounga 1 à quatre échantillons avec des horizons qui sont 10-35 cm; 35-80 cm; 80-115+ cm et de 0-110+ cm. Tous les dix échantillons prélevés ont été étudiés au laboratoire de science du sol de la faculté d'agronomie et du laboratoire de l'INRAN pour connaître les caractéristiques physico- chimiques du sol des sites d'étude. Une fois au Laboratoire, les échantillons de sols collectés ont été séchés à la température ambiante du laboratoire avant d'être tamisés à l'aide d'un tamis de 2 mm de diamètre afin de séparer la terre fine des éléments grossiers. La terre fine ainsi obtenue a servi à la détermination des paramètres physico-chimiques.

Des fosses ont été creusées pour la lecture des profils qui sont au total trois donc un par site.

Cette méthode consiste à ouvrir un profil pédologique à proximité du dispositif expérimental installé au niveau de chaque site. Une fois le profil ouvert, il est géoréférencé, les différents horizons (couches) décrits et des échantillons de sol par horizon sont prélevés pour d'éventuels analyses au laboratoire. Les paramètres physico-chimiques déterminés ainsi que les méthodes utilisées sont consignés dans le tableau 2.

Tableau 2. Paramètres mesurés et méthodes utilisées

Paramètres	Méthodes utilisées
Granulométrie	Pipettes de robinson/tamisage après oxydation de la matière organique avec l'eau oxygénée
pH eau	pH-mètre avec rapport sol/eau 1/25
Carbone organique total (C)	Méthode Walkley black (1934)
Azote total	Kjeldahl
Phosphore assimilable	Bray 1
Phosphore total	Méthode à l'acide nitrique
Bases échangeables (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , et K ⁺)	Méthodes d'acétate d'ammonium N, pH =7, puis par titrimétrie avec EDTA Ca ²⁺ /Mg ²⁺ et par expectophotomètre à flamme pour Na ²⁺ /K ⁺
Capacité d'Echanges cationiques (CEC/T)	Extraction au KCl-N (chlorure de potassium)

2.2.2 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

L'essai est conduit sur les parcelles des producteurs volontaires pendant une campagne sèche et une campagne hivernale 2023. Le dispositif expérimental utilisé est le dispositif en factoriel bloc (3 x 5) répété 2 fois avec deux facteurs: le 1^{er} facteur comme variété avec 3 variétés (Gambiaka, oryflux et IR15) et le 2^e facteur comme dose d'engrais avec 5 traitements: le traitement T0 (c'est la pratique paysanne, la formule utilisée par les paysans sur les périmètres irrigués au Niger en général et en particulier sur les sites de l'étude); le traitement T1 et T2 sont des formules testées sans oligo-éléments mais avec une variation (augmentation) progressive des éléments N et P; les traitements T3 et T4 sont des formules testées à qui on a adjoint les oligo-éléments Soufre et Zinc.

2.2.3 FERTILISATION

Pour les apports, la quantité totale d'engrais destinée à chaque parcelle élémentaire a été divisée en trois parties (Tableau 3): la 1^{ere} partie c'est la moitié de la dose d'engrais qui a été apportée, la 2^{eme} partie c'est le quart de la moitié restante et la 3^{eme} partie c'est le quart restant. Ensuite, ces quantités ont été apportées en fonction de trois stades phénologiques de la culture à savoir le repiquage, le tallage et l'initiation paniculaire.

Tableau 3. Les doses totales d'engrais apportées selon les traitements

Engrais	Urée (g/PE)	NPK (g/PE)	DAP (g/PE)	Sulfate de zinc (g/PE)	Sulfate de calcium (g/PE)
T0 : N122P30K30	300	300			
T1 : N138P90K60	216,13	600	97,8		
T2 : N175P112K60	296,91	600	169,56		
T3 : N100P120K50S20Zn2	73,73	166	228,26	8,9	103,45
T4 : N122P30K30S20Zn2	300	300		8,9	103,45

2.2.4 MISE EN PLACE DE L'ESSAI

Les parcelles élémentaires sont de 15 m² avec écartements de 20 cm x 20 cm entre les poquets et entre les lignes.

La pépinière a été installée au niveau des deux périmètres des Saadia Amont et Liboré pour les trois variétés du riz (Gambiaka, Orylux et IR15) qui sont semées sur une petite superficie à cote de la parcelle d'étude. Une fois les plants atteints l'âge du repiquage, ils sont transportés en rizière. Pour le site de N'Dounga1 les plants proviennent du site de Liboré. Les plants sont transportés en rizières pour le repiquage qui consiste à replanter les plants dans les petites parcelles de 15 m². Les parcelles sont réparties en trois blocs, donc chaque bloc est composé de trois variétés et cinq traitements.

2.2.5 COLLECTE DES DONNÉES

Après la récolte, les gerbes de riz ont été séchées chacun dans les parcelles pendant 24h, avant d'être battus et vannés. Les grains obtenus à l'issu du vannage ont été recueillis et étiquetés dans des sachets plastiques. La paille est aussi collectée puis étiquetée par parcelle. Un deuxième séchage de 48h a été également opéré avant de réaliser les différentes mesures.

Les composantes du rendement (le poids de la paille sèches et le poids des grains) ont été évaluées à l'aide d'une balance électronique de précision.

2.2.6 ECHANTILLONNAGE ET ANALYSE DU SOL

Sur la parcelle d'expérimentation, le prélèvement du sol a été fait à la tarière, sur les différents horizons des sites d'étude. Ils sont compris entre 0 -18 cm; 18-50 cm et de 50 -115+ cm pour le site de Saadia Amont et de 10-36 cm; 36-70 cm et de 70-105+ cm pour le site de Liboré. De 10-35 cm; 35-80 cm; 80-115+ cm et de 0-110 cm de profondeur pour N'Dounga 1. Ils ont été séchés à l'air dans le laboratoire, sous abri, puis tamisés à l'aide d'un tamis de 2 mm de diamètre après le broyage. Les échantillons de terre fine obtenue (terre tamisée) ont servi à la détermination du pH du sol (pH eau), du carbone organique (C), de l'azote total (N), de la capacité d'échange cationique (CEC), des bases échangeables (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ et Na⁺) du phosphore-assimilable (P) et phosphore total.

2.2.7 ANALYSE STATISTIQUE

Les données obtenues ont été saisies dans Excel. Une analyse de variance des données collectées a été réalisée à l'aide du logiciel SAS version 9.3 (Statistical Analysis System) et GenStat version 17.4. Chaque fois qu'une différence significative est révélée, l'analyse ANOVA est complétée par le test de Tukey. Les moyennes des variables ont été séparées au seuil de probabilité 0,05 ou 0,01. Les moyennes de performances générées à partir de l'analyse de variance ont été utilisées pour construire les graphiques "GGE biplot".

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 RÉSULTATS

3.1.1 CARACTÉRISATION DES SOLS DES SITES D'ÉTUDE

La différence observée au niveau des horizons des sites s'explique que les sols n'ont pas les mêmes caractéristiques et la tarière ne peut pas prélever les mêmes profondeurs des horizons.

Après analyse des sols prélevés au niveau de chaque site, les résultats des paramètres physico-chimiques du sol des sites d'étude sont consignés dans le tableau 4.

Tableau 4. Paramètres physico-chimiques du sol des sites

Site	Saadia Amont			Liboré			N'Dounga 1			
Paramètres physiques des sols%										
Profondeur	0-18	18-50	50-115+	10 - 36	36 – 70	70 - 105+	10-35	35 - 80	80- 115+	0-110
Ph	7,49	9	9,25	8,7	9	9,11	7,31	7,12	7,03	6,36
Sable	61,86	45,94	40,19	34,53	32,23	26,72	59,56	61,97	55,81	31,35
Limon	28,73	42,94	40,49	49,36	51,62	55,82	36,03	34,23	31,31	49,22
Argile	9,42	11,12	19,32	16,11	16,15	17,46	4,41	3,80	12,88	19,43
Paramètres chimiques des sols										
Ca ²⁺	3,6	4	2	1,8	2,8	2	1,4	1,2	2,2	2
Mg ²⁺	6,4	2,8	2,4	4	2,2	3	1	1,6	0,8	3,6
Na ⁺	1,6	5,3	7,3	6,8	4,3	3	6,4	7,9	7,6	1,5
K ⁺	0,3	0,4	0,4	1,9	1,8	1	3,7	2,2	2,3	0,8
SB	11,9	21,5	21,35	23,2	20,1	18,11	19,81	20,02	19,93	14,26
CEC	35	30	32,5	30	50	5	5	25	5	12,5
S/T	0,34	0,71	0,65	0,77	0,40	3,62	3,96	0,80	3,98	1,14
C O	1,04	0,64	1,09	1,28	0,56	0,80	0,96	0,80	0,51	0,67
MO	1,78	1,10	1,87	2,20	0,96	1,37	1,65	1,37	0,88	1,15
AT	0,10	0,06	0,11	0,13	0,05	0,08	0,10	0,08	0,05	0,06
C/N	9,88	10,43	9,85	9,73	10,64	10,14	9,95	10,14	10,81	10,36
PT	258,11	185,67	312,43	240	167,57	167,57	221,89	167,57	167,57	203,78
PA	3,78	2,86	2,86	3,78	2,86	1,94	3,78	2,86	1,94	3,78

AT = azote total; PT = phosphore total; PA= phosphore assimilable

Au niveau de ces trois sites, les textures des sols de N'Dounga 1 et de Liboré sont les mêmes. Ces résultats montrent que ces sols ont des textures limono sableuses comme l'indique les figures 4, 5, 6 et 7. Cela est vérifiable au niveau des horizons et avec le triangle textural.

La texture du sol de Saadia Amont est limoneuse, car le taux de pourcentage en limon est le plus élevé, cela se traduit par la figure 2 et 3.

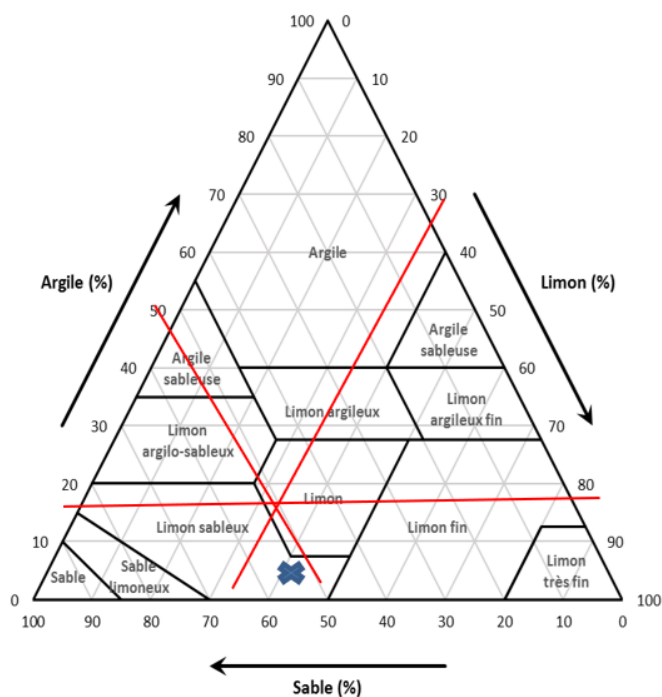


Fig. 2. Triangle texturale du site de Saadia Amont



Fig. 3. Vue de la fosse pédologique du site de Saadia Amont

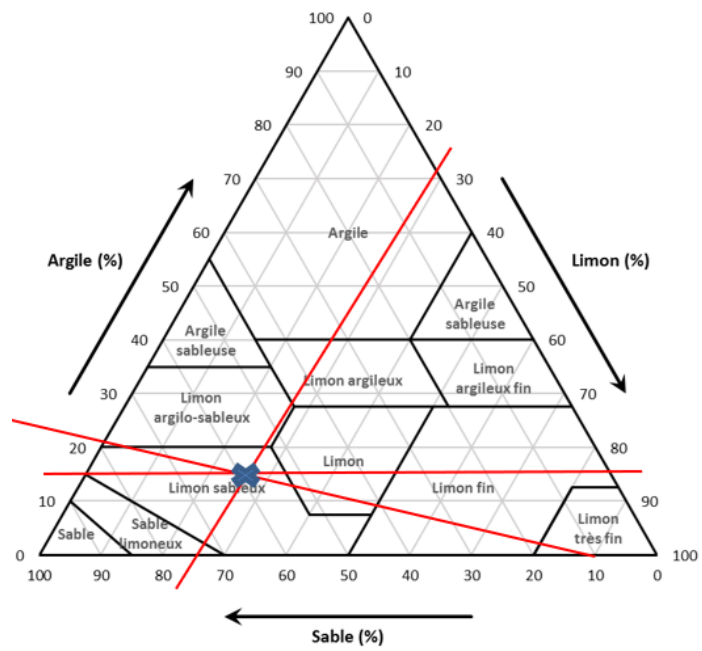


Fig. 4. Triangle texture du site de Liboré



Fig. 5. Fosse pédologique du site de Liboré

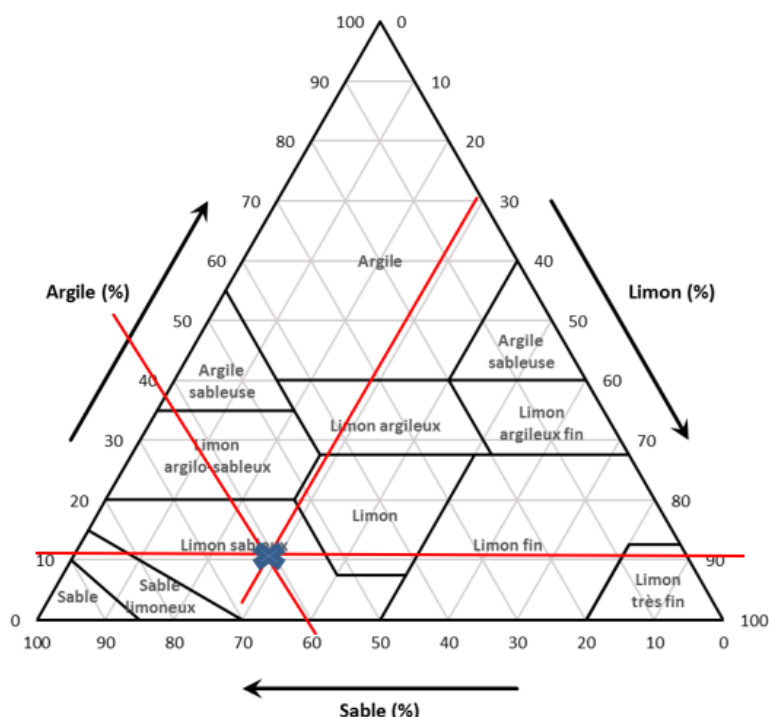


Fig. 6. Triangle texturale du site de N'Dounga 1



Fig. 7. Fosse pédologique du site N'Dounga1

Le pH varie en fonction des horizons et des sites. A Saadia Amont le pH est variable selon les profondeurs. En effet, il est neutre sur le 1^{er} horizon de surface et devient de plus en plus alcalin (compris entre 7,49 à 9,25) selon la profondeur du sol. Pour le site de Liboré, le pH est alcalin au niveau du 1^{er} horizon et devient plus alcalin selon la profondeur de l'horizon, il est situé entre 8,7 et 9, 11. Enfin, à N'Nounga1 le pH est neutre et devient acide avec la profondeur de l'horizon et il est compris entre 7,31 et 6,36.

Les sols des trois sites expérimentaux étaient pauvres en Carbone organique car aucun n'attient la moyenne qui est comprise entre 1,26 et 2,50%. Tous les sols sont compris entre 0,51 et 1,28% au niveau des trois sites d'étude, occasionnant un faible taux de la matière organique (inférieur à 3%) couplée avec une faible teneur en azote total dans les trois sites d'étude. Un rapport C/N moyen inférieur à 15.

La CEC est élevée au niveau du site de Saadia Amont, mais elle est variable au premier horizon dont elle est de 35 puis descend à 30 une CEC moyenne au niveau du premier horizon, très élevée au niveau du deuxième horizon et très faible sur l'horizon 70 cm à plus sur le site Liboré. La CEC est très faible en surface ensuite elle devient moyenne un peu en profondeur puis très faible en allant plus en profondeur au niveau de site de N'Dounga1.

3.1.2 EFFET DE LA COMBINAISON TRAITEMENTS-VARIÉTÉS PAR SITE ET PAR SAISON SÈCHE

Les résultats de l'analyse des variances de 5 traitements avec 3 variétés au niveau des trois sites sont consignés dans le tableau 5. Pendant la saison sèche, les résultats montrent une différence hautement significative ($p < 0,01$) à Liboré entre les 5 traitements de fertilisants, tandis qu'à NDounga1 les résultats ont montré une différence significative ($p < 0,05$) entre les variétés et une différence hautement significative ($p < 0,01$) entre les traitements des fertilisants et ensuite une différence hautement significative ($p < 0,01$) à Saadia Amont pour les deux facteurs. Cependant, pendant cette même période, les combinaisons de ces deux facteurs dans les 3 sites montrent une différence non significative ($p > 0,05$).

Tableau 5. Analyse des variances par site en saison sèche

Source de variance	DF	Moyenne au carrée
LIBORE		
Répétition	2	22639,02 ^{ns}
Facteur A	2	176907,76 ^{ns}
Facteur B	4	5412392,17 ^{**}
Facteur A x Facteur B	8	132880,37 ^{ns}
Erreur	28	118804,55
N'DOUNGA 1		
Répétition	2	13712,69 ^{ns}
Facteur A	2	1024470,16 [*]
Facteur B	4	3729936,22 ^{**}
Facteur A x Facteur B	8	88737,32 ^{ns}
Erreur	28	118830,39
SAADIA AMONT		
Répétition	2	96017,76 ^{ns}
Facteur A	2	3244526,42 ^{**}
Facteur B	4	4406002,74 ^{**}
Facteur A x Facteur B	8	38300,64 ^{ns}
Erreur	28	70423,87

3.1.3 EFFET DE LA COMBINAISON TRAITEMENT -VARIÉTÉS PAR SITE EN SAISON HIVERNALE

Les résultats de l'effet de la combinaison doses d'engrais-variétés par site en saison hivernale sont présentés dans le tableau 6. Ces résultats montrent une différence hautement significative ($p < 0,01$) entre les traitements des fertilisants qu'entre les variétés utilisées à Liboré aussi bien qu'à NDounga1. Dans le site de Saadia Amont, la différence est seulement hautement significative ($p < 0,01$) entre les différentes doses d'engrais. S'agissant de l'inter-action doses d'engrais x variétés, la différence est non significative ($p > 0,05$) dans les trois sites.

Tableau 6. Analyse des variances par site en saison hivernale

Source de variance	DF	Moyenne au carrée
LIBORE		
Répétition	2	22891167 ^{ns}
Facteur A	2	1095626,87 ^{**}
Facteur B	4	5632428,74 ^{**}
Facteur A x Facteur B	8	53229,31 ^{ns}
Erreur	28	147277,17
N'DOUNGA 1		
Répétition	2	36354,42 ^{ns}
Facteur A	2	3009327,76 ^{**}
Facteur B	4	4797618,14 ^{**}
Facteur A x Facteur B	8	86072,89 ^{ns}
Erreur	28	165006,54
SAADIA AMONT		
Répétition	2	837709,49 ^{**}
Facteur A	2	82886,02 ^{ns}
Facteur B	4	2613192,41 ^{**}
Facteur A x Facteur B	8	108989,83 ^{ns}
Erreur	28	137867,92

3.1.4 PERFORMANCE DE MOYENNES DES VARIÉTÉS SUR LE RENDEMENT PADDY PAR SITE ET PAR SAISON

Les performances de moyennes des variétés en fonction des différentes doses d'engrais sur le rendement paddy par site et par saison sont présentées dans les tableaux 7, 8 et 9. Une différence significative due à l'effet des traitements des différentes doses est apparue entre les rendements de paddy obtenus.

A Liboré, pendant la saison sèche, le rendement varie de 3271,30 (pour la variété N°1 Gambiaka avec traitement T0 = N₁₂₂P₃₀K₃₀) à 5655,70 kg/ha (pour la variété N°2 oryflux combinée au traitement T4 = N₁₂₂P₃₀K₃₀S₂₀Zn₂) avec une moyenne de 4462,49 kg/ha (tableau 7). Pendant la saison hivernale, le rendement paddy varie de 3459,70 (variété N°3 IR15 avec traitement T0 = N₁₂₂P₃₀K₃₀) à 5957,30 kg/ha (variété N°2 oryflux combinée au traitement T4 = N₁₂₂P₃₀K₃₀S₂₀Zn₂) avec une moyenne de 4535,80 kg/ha. Toujours dans le site de Liboré pendant la saison sèche, six traitements sur 15 ont un rendement supérieur à la moyenne générale qui est de 4262,49 kg/ha, et les trois premiers ont été obtenus du traitement T4 = N₁₂₂P₃₀K₃₀S₂₀Zn₂; tandis que les traitements T0 = N₁₂₂P₃₀K₃₀ et T1 = N₁₃₈P₉₀K₆₀ enregistrent les rendements les plus bas. S'agissant de la saison sèche, sept traitements sur 15 ont chacun un rendement supérieur à la moyenne générale (4535,80 kg/ha), et les trois premiers sont l'effet du traitement T4 appliqué respectivement sur la variété N°1 Gambiaka (5957,3 kg/ha), variété N°2 oryflux (5608,7 kg/ha) et la variété N°3 IR15 (5373,00 kg/ha). Les traitements T0 = N₁₂₂P₃₀K₃₀ et T1 = N₁₃₈P₉₀K₆₀ sont encore les moins performants pendant cette saison hivernale. S'agissant de ces deux saisons, les résultats relèvent que le traitement T4 est le plus productif quel que soit la variété avec laquelle il est combiné.

Tableau 7. Performance de moyennes sur les variétés et traitements à Liboré

Combinaison		Saison sèche		Saison hivernale	
Facteur A	Facteur B	Moyenne	Groupement	Moyenne	Groupement
1	0	3271.33	H	3502.00	H I
1	1	3627.00	G H	4101.67	H G F
1	2	4131.33	G F	4246.33	E G F
1	3	5029.00	B C	4853.00	E D C
1	4	5633.33	A	5608.67	B A
2	0	3793.33	G H	3902.00	H G I
2	1	4120.00	G F	4110.67	H G F
2	2	4382.33	D F E	4939.67	D C
2	3	4739.67	D C E	5266.33	B D C
2	4	5655.67	A	5957.33	A
3	0	3722.33	G H	3459.67	I
3	1	4189.00	D F E	3862.00	H G I
3	2	4420.00	D F E	4150.67	G F
3	3	4780.00	D C	4704.00	E D F
3	4	5449.00	B A	5373.00	B A C
Moyenne générale		4462,49		4535,80	
CV		7,72		8,46	
Ppds		576,48		641,86	

ppds = plus petite différence significative; CV = coefficient de variance, pour Facteur A (1 = variété1, 2 = variété2 et 3 = variété3); pour le Facteur B (0 = T0, 1 = T1, 2 = T2, 3 = T3 et 4 = T4)

Les résultats du site de NDounga1 (Tableau 8) montrent une différence entre les traitements surtout entre les cinq premiers et les cinq derniers pour les deux saisons d'études. Pendant la saison sèche, le rendement varie de 3651,00 kg/ha (variété N°3 IR15 avec T0 = N₁₂₂P₃₀K₃₀) à 5726,70 kg/ha (variété N°2 avec T4 = N₁₂₂P₃₀K₃₀S₂₀Zn₂). Pendant la saison hivernale ce rendement varié entre 3002,00 kg/ha (variété N°3 avec T0 = N₁₂₂P₃₀K₃₀) et 5873,30 kg/ha (variété N°2 orylux combinée au traitement T4 = N₁₂₂P₃₀K₃₀S₂₀Zn₂). Pendant la saison sèche, huit combinaisons sur quinze ont chacune un rendement supérieur à la moyenne générale (4622,78 kg/ha) et six sur quinze pendant la saison hivernale (4192,29 kg/ha). On remarque que trois combinaisons des traitements sont meilleures (14), (24) et (34), que ça soit en saison sèche ou en saison hivernale leur rendement est meilleur par rapport aux autres combinaisons. Des cinq premières moyennes les plus performantes de ces deux saisons sèches à N'Dounga1, trois sont issues du T4 = N₁₂₂P₃₀K₃₀S₂₀Zn₂ et deux du T3 = N₁₀₀P₁₂₀K₅₀S₂₀Zn₂. A N'Dounga1, le traitement T4 a été révélé le meilleur suivi par le traitement T3. Cependant, pendant les deux saisons, les traitements T0 = N₁₂₂P₃₀K₃₀ et T1 = N₁₃₈P₉₀K₆₀ sont les moins performants surtout appliqués sur la variété IR-15.

Tableau 8. Performance de moyennes sur les variétés et traitements à NDounga1

Combinaison		Saison sèche		Saison hivernale	
Facteur A	Facteur B	Moyenne	Groupement	Moyenne	Groupement
1	0	3853.33	HG	3573.00	GFEH
1	1	4140.00	FHEG	3784.33	GFE
1	2	4857.67	DEC	4186.67	CED
1	3	5180.00	BAC	4590.67	CB
1	4	5646.33	BA	5124.33	B
2	0	3891.00	HG	3704.33	GFE
2	1	4444.33	FDEG	3831.00	GFED
2	2	4860.00	D EC	4508.67	CBD
2	3	5122.33	BDAC	5120.00	B
2	4	5726.67	A	5873.33	A
3	0	3651.00	H	3002.00	H
3	1	4115.67	FHG	3331.00	GH
3	2	4135.67	FHEG	3497.67	GFH
3	3	4780.00	FDEC	4071.00	CFED
3	4	4937.67	BDC	4686.33	CB
Moyenne générale		4622,78		4192,29	
CV		9,40		9,69	
Ppds		726,79		679,39	

ppds = plus petite différence significative; CV = coefficient de variance, pour Facteur A (1 = variété1, 2 = variété2 et 3 = variété3); pour le Facteur B (0 = T0, 1 = T1, 2 = T2, 3 = T3 et 4 = T4)

Les résultats des performances des moyennes à Sadia Amont pendant la saison sèche et la sèche pluviale montrent une différence dans les différents traitements imposés (Tableau 9). Le rendement paddy varie de 3020,00 (variété N°3 IR15 avec T0 = N₁₂₂P₃₀K₃₀) à 5691,00 kg/ha (variété N°2 orylox avec traitement T4 = N₁₂₂P₃₀K₃₀S₂₀Zn₂) en saison sèche et de 3719,70 (variété N°3 IR15 avec T0 = N₁₂₂P₃₀K₃₀) à 5433,00 kg/ha (variété N°3 IR15 avec traitement T4 = N₁₂₂P₃₀K₃₀S₂₀Zn₂) en saison pluviale. Pendant la saison sèche, sept combinaisons sur quinze ont chacune un rendement supérieur à la moyenne générale ((4289,58 kg/ha) et six sur quinze ont chacune un rendement supérieur à la moyenne générale (4601,58 kg/ha) pendant la saison pluviale. Pendant les deux saisons, le traitement T4 = N₁₂₂P₃₀K₃₀S₂₀Zn₂ est le meilleur suivi du traitement T3 = N₁₀₀P₁₂₀K₅₀S₂₀Zn₂. Les meilleures combinaisons sont la variété 1 (Gambiaka) et variété 2 (orylox) combinée traitement T4 = N₁₂₂P₃₀K₃₀S₂₀Zn₂.

Tableau 9. Performance de moyennes sur les variétés et traitements à Saadia Amont

Combinaison		Saison sèche		Saison hivernale	
Facteur A	Facteur B	Moyenne	Groupement	Moyenne	Groupement
1	0	3724.33	FGH	4002.00	EF
1	1	4082.00	FGE	4399.67	ED
1	2	4473.00	CDE	4501.67	EDC
1	3	4840.33	CB	5053.33	BAC
1	4	5513.33	A	5366.33	A
2	0	3648.67	GH	4093.00	EF
2	1	4004.67	FG	4328.33	EDF
2	2	4595.67	CB	4404.00	ED
2	3	5002.00	B	4555.33	EDC
2	4	5691.00	A	5217.33	BA
3	0	3020.00	I	3719.67	F
3	1	3360.00	IH	4173.00	EDF
3	2	3717.67	FGH	4715.33	BDC
3	3	4137.67	FDE	5061.67	BAC
3	4	4533.33	CD	5433.00	A
Moyenne générale		4289,58		4601,58	
CV		6,19		8,07	
Ppds		443,84		621,02	

ppds = plus petite différence significative; CV = coefficient de variance, pour Facteur A (1 = variété1, 2 = variété2 et 3 = variété3); pour le Facteur B (0 = T0, 1 = T1, 2 = T2, 3 = T3 et 4 = T4)

3.1.5 ANALYSE DE STABILITÉ

Les résultats de l'analyse combinée des trois sites pendant la saison sèche (Tableau 10) montrent que les meilleures combinaisons sont variété 2 (orylux) combinée au traitement T4 ($N_{122}P_{30}K_{30}S_{20}Zn_2$), variété 1 (Gambiaka) avec T4 ($N_{122}P_{30}K_{30}S_{20}Zn_2$) et variété 1 (Gambiaka) avec T3 ($N_{100}P_{120}K_{50}S_{20}Zn_2$) avec respectivement 1^{ere}, 2^e et 3^e. Pendant la saison pluviale, les meilleures combinaisons sont aussi les mêmes; la variété 2 (orylux) combinée au traitement T4 ($N_{122}P_{30}K_{30}S_{20}Zn_2$) en 1^{ere} position, variété 1 (Gambiaka) avec T4 ($N_{122}P_{30}K_{30}S_{20}Zn_2$) en 2^e position mais variété 3 (IR15) avec T4 ($N_{122}P_{30}K_{30}S_{20}Zn_2$) en 3^e position. En comparant, les sites, le site de NDounga1 (E2) produit le rendement le plus élevé (4623 kg/ha) pendant la saison sèche alors que le site de Saadia Amont (E3) produit le meilleur rendement (4602 kg/ha) pendant la saison pluviale.

Les résultats de "GGE biplot" pour le rendement paddy sont présentés dans les figures 8 et 9. Le "which win where" montre que les deux composantes principales contribuent à 99,39% de la variation totale pendant la saison sèche et pendant la saison pluviale elles contribuent à 99,04% de la variation totale. "GGE Biplot" pendant la saison sèche montre que les combinaisons variété 2 (orylux) au traitement T4 ($N_{122}P_{30}K_{30}S_{20}Zn_2$) et variété 1 (Gambiaka) avec T4 ($N_{122}P_{30}K_{30}S_{20}Zn_2$) ont chacune un rendement supérieur à la moyenne et sont aussi stables dans les trois sites (Figure 8). Pendant la saison pluviale, la combinaison variété 2 (orylux) et traitement T4 ($N_{122}P_{30}K_{30}S_{20}Zn_2$) a un rendement élevé et stable à Liboré et à NDounga1 alors que la combinaison variété 3 (IR15) avec traitement T4 ($N_{122}P_{30}K_{30}S_{20}Zn_2$) donne un meilleur rendement à Saadia Amont.

Tableau 10. Analyse de stabilité des différentes combinaisons étudiées

Combinaison	Moyenne (kg/ha)	Classement	Moyenne (kg/ha)	Classement
	Saison sèche		Saison pluviale	
10	3616	2176945(14)	3692	2227993(14)
11	3950	1536921(11)	4095	1479200(10)
12	4487	760346(8)	4312	1106625(8)
13	5016	235991 (3)	4832	501486(5)
14	5598	6416(2)	5366	114502(2)
20	3778	1834635(13)	3900	1787426(12)
21	4190	1141145(9)	4090	1466932(9)
22	4613	595455(6)	4617	659467(6)
23	4955	279694(4)	4981	302548(4)
24	5691	0(1)	5683	7752(1)
30	3464	25300991(15)	3394	2903068(15)
31	3888	1696812(12)	3789	2073580(13)
32	4091	1325379(10)	4121	1570480(11)
33	4566	679270(7)	4612	826190(7)
34	4973	334251(5)	5164	291736(3)
E1	4493		4536	
E2	4623		4192	
E3	4290		4602	

E1= Liboré; E2 = N'DOUNGA1 et E3 = Saadia Amont

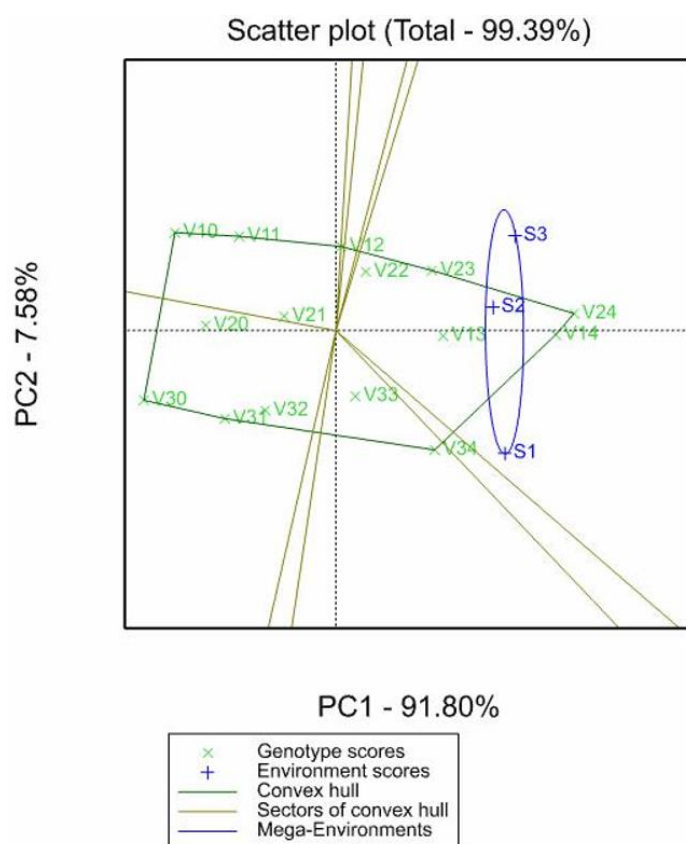


Fig. 8. Analyse de 'GGE biplot' portant sur le rendement paddy en saison sèche

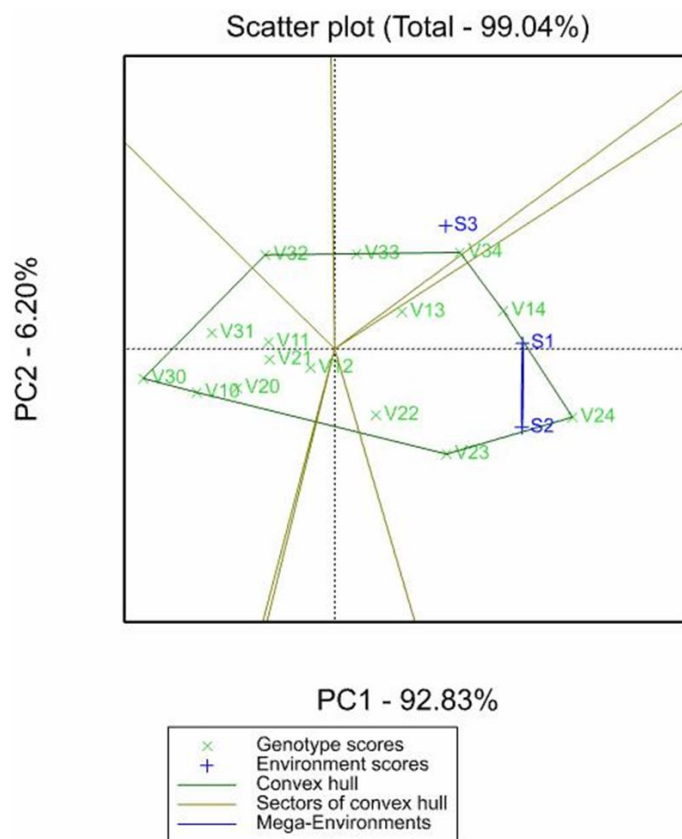


Fig. 9. Analyse de "GGE biplot" portant sur le rendement paddy en saison pluviale

3.2 DISCUSSIONS

3.2.1 CARACTÉRISATION DES SOLS DES SITES D'ÉTUDE

La fertilité des sols dépend de tout un ensemble de facteurs, les uns de nature physique et les autres de nature chimique. La qualité du sol peut être évaluée sur la base de caractéristiques liées à la fertilité du sol, qui sont des paramètres typiques utilisés pour les cultures, tels que le pH, la teneur en matière organique, les macro-éléments (dont les plus courants sont N, P et K) ou la taille des grains [16]. Les résultats sur la granulométrie ont montré que la texture des sols au niveau des sites des Liboré et N'Dounga1 a une texture limono-sableuse et le site de Saadia Amont a une texture limoneuse. La structure massive et la couleur brune au brune jaunâtre sont dominantes au niveau des tous les horizons étudiés. Cette variation texturale est aussi rapportée par [12]. Récemment, [28] a rapporté que les caractéristiques de sol aux différents sites expérimentaux varient largement en fonction des régions. Les éléments chimiques sont pauvres en phosphore assimilable, en carbone organique, les taux de la matière organique et l'azote total diminuent avec la profondeur au niveau de tous les sites étudiés. Ces mêmes résultats ont été démontrés par [3] que les éléments chimiques changent en fonction des profondeurs. Les sols de tous les trois sites d'étude ont un taux de matière organique proche de celui des sols érodés/dégradés qui sont respectivement 0,3 % et 7 % rapporté par les études [8] sont faibles dans les sols de même que les bases échangeables sont faibles, cela s'explique que les traitements effectués au niveau des sols des sites ont amélioré la qualité du sol d'où un rendement proportionnel aux traitements. La qualité des sols est définie comme la capacité des sols à remplir des fonctions écologiques et à fournir des services écosystémiques pour maintenir la productivité biologique et la qualité de l'environnement et améliorer la santé des plantes et des animaux [6]. Le pH influence le taux de la matière organique du sol et la CEC. Cette dernière régularise le taux de la matière organique dans le sol. Des études ont rapporté que la fertilité du sol est probablement due au pourcentage élevé en argile et en CEC [28]. Le rapport C/N de 8 à 14 qui indique une matière organique bien évoluée. Avec un rapport C/N moyen inférieur à 15, tous les sols sont compris entre 0,51 et 1,28% au niveau des trois sites d'étude, occasionnant un faible taux de la matière organique (inférieur à 3%) couplé avec une faible teneur en azote total dans les trois sites d'étude.

3.2.2 EFFET DE LA COMBINAISON TRAITEMENTS-VARIÉTÉS PAR SITE ET PAR SAISON SÈCHE

Les résultats de l'analyse des variances de 5 doses d'engrais avec 3 variétés pendant la saison sèche ont montré une différence significative ($p < 0,05$) et une différence hautement significative ($p < 0,01$) entre les variétés à NDounga1 et à Saadia Amont respectivement. Cette différence explique la variation qui existe entre les trois génotypes pour le caractère rendement. Les génotypes du riz montrent différents comportements comme réponse lorsqu'ils sont soumis aux différents traitements d'azote [1]. Des études précédentes ont rapporté des différences significatives entre le comportement des génotypes ([10], [19], [22]). Les différences hautement significatives ($p < 0,01$) obtenues dans les trois sites entre les cinq doses d'engrais peuvent supposer une différence significative entre les différentes doses appliquées sur les trois variétés. Il a été rapporté que les performances des génotypes sont influencées par les traitements imposés ou l'environnement dans lequel la culture s'est installée ([7], [19]). Les résultats de l'analyse combinée de deux saisons ont révélé une différence significative entre les génotypes de riz, aussi bien qu'entre les différentes dose d'azote et interaction génotypes doses d'azote [28]. La différence non significative ($p > 0,05$) enregistrée dans les trois sites pour l'interaction doses d'engrais x variétés présage une réponse indifférente de chacune des doses sur chaque variété.

3.2.3 EFFET DE LA COMBINAISON TRAITEMENT -VARIÉTÉS PAR SITE EN SAISON HIVERNALE

Les résultats de l'effet de la combinaison doses d'engrais-variétés par site en saison hivernale montrent une différence hautement significative ($p < 0,01$) entre les traitements des fertilisants qu'entre les variétés utilisées à Liboré aussi bien qu'à NDounga1. Dans le site de Saadia Amont, la différence est seulement hautement significative ($p < 0,01$) entre les différentes doses d'engrais. Ces résultats sont comparables à ceux trouvés par d'autres travaux antérieurs ([10]; [19]; [22]). Une différence hautement significative ($p < 0,01$) entre les génotypes du riz sur le rendement et les composantes de rendement a été rapportée [28]. S'agissant de l'inter-action doses d'engrais x variétés, la différence est non significative ($p > 0,05$) dans les trois sites donnant une réponse indifférente de chacune des doses sur chaque variété.

3.2.4 PERFORMANCE DE MOYENNES DES VARIÉTÉS SUR LE RENDEMENT PADDY PAR SITE ET PAR SAISON

Les performances de moyennes des variétés en fonction des différentes doses d'engrais sur le rendement paddy par site et par saison. Une différence significative due à l'effet des traitements des différentes doses est apparue entre les rendements de paddy obtenus.

A Liboré, pendant la saison sèche, le rendement varie de 3271,30 (pour la variété N°1 Gambiaka avec traitement T0 = $N_{122}P_{30}K_{30}$) à 5655,70 kg/ha (pour la variété N°2 oryflux combinée au traitement T4 = $N_{122}P_{30}K_{30}S_{20}Zn_2$) avec une moyenne de 4462,49 kg/ha. Pendant la saison hivernale, le rendement paddy varie de 3459,70 (variété N°3 IR15 avec traitement T0 = $N_{122}P_{30}K_{30}$) à 5957,30 kg/ha (variété N°2 oryflux combinée au traitement T4 = $N_{122}P_{30}K_{30}S_{20}Zn_2$) avec une moyenne de 4535,80 kg/ha. Les résultats sont similaires à ceux obtenus par ([2], [4], [5]) Aussi, la fertilisation minérale du riz irrigué se traduit toujours par un gain de rendement qui se situe entre 4 et 6 t/ha. Pendant la saison sèche, six traitements sur 15 ont un rendement supérieur à la moyenne générale qui est de 4262,49 kg/ha, sept traitements sur 15 ont chacun un rendement supérieur à la moyenne générale (4535,80 kg/ha) pour la saison hivernale, et les trois premiers ont été obtenus du traitement T4 = $N_{122}P_{30}K_{30}S_{20}Zn_2$ pour les deux saisons d'études; tandis que les traitements T0 = $N_{122}P_{30}K_{30}$ et T1 = $N_{138}P_{90}K_{60}$ enregistrent les rendements les plus bas et les moins performants pendant les deux saisons d'études. Les résultats relèvent que le traitement T4 est le plus productif quel que soit la variété avec laquelle il est combiné.

Les résultats du site de NDounga1 montrent une différence entre les traitements surtout entre les cinq premiers et les cinq derniers pour les deux saisons d'études. Pendant la saison sèche, le rendement varie de 3651,00 kg/ha (variété N°3 IR15 avec T0 = $N_{122}P_{30}K_{30}$) à 5726,70 kg/ha (variété N°2 avec T4 = $N_{122}P_{30}K_{30}S_{20}Zn_2$). Pendant la saison hivernale ce rendement varie entre 3002,00 kg/ha (variété N°3 avec T0 = $N_{122}P_{30}K_{30}$) et 5873,30 kg/ha (variété N°2 oryflux combinée au traitement T4 = $N_{122}P_{30}K_{30}S_{20}Zn_2$). Pendant la saison sèche, huit combinaisons sur quinze ont chacune un rendement supérieur à la moyenne générale (4622,78 kg/ha) et six sur quinze pendant la saison hivernale (4192,29 kg/ha). ([2], [4], [5]). On remarque que trois combinaisons des traitements sont meilleures (14), (24) et (34), que ça soit en saison sèche ou en saison hivernale leur rendement est meilleur par rapport aux autres combinaisons. A NDounga1, le traitement T4 a été révélé le meilleur suivi par le traitement T3. Cependant, pendant les deux saisons, les traitements T0 = $N_{122}P_{30}K_{30}$ et T1 = $N_{138}P_{90}K_{60}$ sont les moins performants surtout appliqués sur la variété IR-15.

Les résultats des performances des moyennes à Saadia Amont pendant la saison sèche et la saison pluviale montrent une différence dans les différents traitements imposés. Le rendement paddy varie de 3020,00 (variété N°3 IR15 avec T0 = $N_{122}P_{30}K_{30}$)

à 5691,00 kg/ha (variété N°2 orylix avec traitement T4 = N₁₂₂P₃₀K₃₀S₂₀Zn₂) en saison sèche et de 3719,70 (variété N°3 IR15 avec T0 = N₁₂₂P₃₀K₃₀) à 5433,00 kg/ha (variété N°3 IR15 avec traitement T4 = N₁₂₂P₃₀K₃₀S₂₀Zn₂) en saison pluviale. Pendant la saison sèche, sept combinaisons sur quinze ont chacune un rendement supérieur à la moyenne générale (4289,58 kg/ha) et six sur quinze ont chacune un rendement supérieur à la moyenne générale (4601,58 kg/ha) pendant la saison pluviale. Pendant les deux saisons, le traitement T4 = N₁₂₂P₃₀K₃₀S₂₀Zn₂ est le meilleur suivi du traitement T3 = N₁₀₀P₁₂₀K₅₀S₂₀Zn₂. Les meilleures combinaisons sont la variété 1 (Gambiaka) et variété 2 (orylix) combinée traitement T4 = N₁₂₂P₃₀K₃₀S₂₀Zn₂.

3.2.5 ANALYSE DE STABILITÉ

Selon l'analyse la stabilité, les trois meilleures combinaisons sont variété 2 avec T4, variété 1 avec T4 et variété 1 avec T3. Ces résultats indiquent que le T4 est le meilleur traitement comparé aux autres et la variété 2 est la plus stable parmi celles étudiées. Cette combinaison peut être proposée aux producteurs des ces trois sites. La différence des rendements liée à l'application des différentes doses d'engrais explique que les génotypes répondent différemment lorsqu'ils sont soumis aux différents types et doses d'engrais. [1] ont rapporté que la quantité élevée de l'Urée contribue directement à la stabilité des variétés du riz en production grain; ce qui est contraire pour ce cas d'étude où le T4 qui a moins d'urée que le T1 et T2 est plus stable. Cependant, la variabilité due à l'interaction génotype x environnement montre que les génotypes avec différents rangs de rendement potentiel en grain sont plus productifs dans un environnement spécifique [11].

Le "which win where" de "biplot" de l'analyse GGE portant sur le rendement grain montre que les deux composantes principales expliquent 99,39% de la variation totale pendant la saison sèche et pendant la saison pluviale elles expliquent 99,04% de la variation totale. Des études précédentes ont rapporté de contributions élevées à la variation totale ([1], [3], [23], [27]). L'analyse de "GGE Biplot" pendant la saison sèche, a montré que la combinaison variété 2 avec T4 et V1 avec T4 sont plus productives dans le site 2 et la combinaison V3 avec T4 est la plus productive dans le site 1. Pendant la saison pluviale, toujours la combinaison variété 2 avec T4 est la plus productive dans les sites 1 et 2 et la combinaison V3 avec T4 est la plus productive dans le site 3. Les génotypes qui se situent à droite sur l'angle proche de l'axe des abscisses sont considérés avoir un rendement supérieur à la moyenne et sont les plus productifs. Considérant les variétés individuellement soumises à un traitement spécifique, ces combinaisons peuvent être proposées aux agriculteurs en fonction de sites et de types de saisons.

4 CONCLUSION

Les résultats des caractéristiques des sols ont révélé que les sols des Liboré et N'Dounga1 ont une texture limono- sableuse mais celui de Saadia amont, la texture est limoneuse et pauvre en éléments minéraux et organiques. Les taux de la matière organique et l'azote total diminuent avec la profondeur au niveau de tous les sites étudiés. L'analyse des variances de 5 doses d'engrais avec 3 variétés pendant les deux saisons ont montré une différence significative ($p < 0,05$) et ou hautement significative ($p < 0,01$) entre les variétés, exceptées à Liboré pendant la saison sèche et à Saadia Amont pendant la saison pluviale indiquant la différence qui existe dans les différentes doses d'engrais appliquées sur les variétés de riz. Il ressort que le traitement T4 (N₁₂₂P₃₀K₃₀S₂₀Zn₂) qui est la pratique paysanne (N₁₂₂P₃₀K₃₀) à laquelle on a adjoint du soufre (20 kg/ha) et de zinc (2g/ha) combiné avec des variétés ont donnés les meilleurs rendements moyens. Pendant les deux saisons d'études la combinaison variété 2 (orylix) au traitement T4 (N₁₂₂P₃₀K₃₀S₂₀Zn₂) a un rendement supérieur et est aussi stable dans les trois sites. Ces résultats indiquent que toute proposition de nouvelle formule d'engrais pour une amélioration des rendements du riz, doit nécessairement associer les oligoéléments soufre et zinc.

REFERENCES

- [1] Abdelrahman, M., Alharbi, K., El-Denary, M. E., Abd El-Megeed, T., Naeem, E. S., Monir, S., Al-Shaye, N. A., Ammar, M. H., Attia, K., Dora, S. A., & Draz, A. S. E. (2022). Detection of Superior Rice Genotypes and Yield Stability under Different Nitrogen Levels Using AMMI Model and Stability Statistics. *Plants*, 11 (20). <https://doi.org/10.3390/plants11202775>.
- [2] ADRAO. (1997). Points saillants des activités, Rapport annuel, ADRAO, Bouaké, Côte d'Ivoire.
- [3] Apala Mafouasson; Mutengwa, C. S. (2018). Genotype-by-environment interaction and yield stability of maize single cross hybrids developed from tropical inbred lines. *Agronomy*, 8 (5). <https://doi.org/10.3390/agronomy8050062>.
- [4] Attikou A. (2001). *Productivité du riz irrigué et pluvial sous fumures minérale et organiques* [Mémoire d'études supérieures spécialisées (DESS) au CRESA]. Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger.
- [5] Bationo et al. (1995). A critical review of crop residue use as soil amendements in the West African semi-arid tropics. in : Powell Fernandez, S. Williams, T O. Renard, (eds) *Livestock and sustainable nutrient cycling in mixed farming systems of sub-saharan Africa*, II. Technical papers. Proceeding of international conference. 305–322.

- [6] Bunemann E K, Bongiorno G, Baic Z, Creamerb R E, Deynb G D, Goedeb R D, Fleskensk L, Geissend V, Kuyperb T W, Madera P, Pullemanb M, Sukkelf W, Groenigenb J W V, & Brussaard L. (2018). Soil quality – a critical review. *Soil Biol Biochem*, 120, 105–125.
- [7] Choukan, R. (2011). Genotype, environment and genotypex environment interaction effects on the performance of maize (*Zea mays* L.) inbred lines. *Crop Breeding Journal*, 1 (2). <https://doi.org/10.22092/cbj.2011.100349>.
- [8] CILSS, 2001: les aptitudes agricoles et pastorales des sols dans les pays CILSS, 173 p.
- [9] DS/MAGEL. (2024). Rapport d'évaluation de la campagne agricole d'hivernage 2023 et Perspectives Alimentaires 2023/2024/. Documentation de la Direction des statistiques (DS) du Ministère de l'agriculture et de l'élevage (MAGEL), République du Niger.
- [10] Gasura, E., Matsaure, F., Setimela, P. S., Rugare, J. T., Nyakurwa, C. S., & Andrade, M. (2021). Performance, Variance Components, and Acceptability of Pro-vitamin A-Biofortified Sweetpotato in Southern Africa and Implications in Future Breeding. *Frontiers in Plant Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.696738>.
- [11] Gauch, H. G., & Zobel, R. W. (1996). AMMI analysis of yield trials. In Kang, M.S., and Gauch, H.G. (eds.) Genotype by environment interaction. *CRC Press, Boca Raton, Florida, USA*, 85–122. <https://doi.org/10.1201/9781420049374.ch4>
- [12] Guero Y. (1987). Organisation et propriétés fonctionnelles des sols de la vallée du moyen Niger [Thèse doctorat en pédologie]. Universités de Tunis.
- [13] Gurmu, F., Shimelis, H. A., & Laing, M. D. (2018). Correlation and path-coefficient analyses of root yield and related traits among selected sweetpotato genotypes. *South African Journal of Plant and Soil*, 35 (3), 179–186. <https://doi.org/10.1080/02571862.2017.1354405>.
- [14] Henitsoa M. (2013). Disponibilité et dynamique du carbone, de l'azote et du phosphore sous association culturale Riz–Haricot soumise à différents types de fertilisation phosphatée apportée à dose croissante : cas de l'expérimentation agronomique de Lazaina sur sol ferrallitique.
- [15] INS. (2019). Enquête nationale sur les conditions de vie de Ménages au Niger.
- [16] Klimkowicz-Pawlas A, Maliszewska-Kordybach B, & Smreczak B. (2019). Triad-Based Screening Risk Assessment of the Agricultural Area Exposed to the Long-Term PAHs Contamination. *Environ Geochem Health*, 41 (3), 1369–1385.
- [17] Lamboni D. (2003). Approche participative et utilisation du logiciel QUEFT pour la gestion de la fertilité des sols. Université de Lomé.
- [18] Liu C, Lu M, Cui J, Li B, & Fang C. (2014). Effects of straw carbon input on carbon dynamics in agricultural soils: a meta-analysis. *Glob. Change Biol*, 20, 1366–1381. <https://doi.org/doi.org/10.1111/gcb.12517>.
- [19] Mahaman Mourtala, I. Z., Oselebe, H. O., Baina, D. J., Nwankwo Innocent, I. M., Houdegbe, A. C., Oumarou, S., Chukwu, S. C., & Moussa, B. (2023). Selection of new sweetpotato hybrids for West Africa using accelerated breeding scheme and genotype × environment interaction under drought stress. *Scientific Reports*, 13 (1), 6489. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33593-2>.
- [20] Maurya S, Abraham J S, Somasundaram S, Toteja R, Gupta R, & Makhija S. (2020). Indicators for assessment of soil quality: a mini-review. *Environ Monit Assess*, 192 (9), 1–22. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08556-z>.
- [21] Mohamed S M. (2015). Evaluation de l'effet de l'apport de fumier de bovins et de petits ruminants et du phosphate naturel de Tilensi sur la productivité des sols et des cultures dans le Sahel: cas de la région de Mopti.
- [22] Mugisa, I., Karungi, J., Musana, P., Odama, R., Alajo, A., Chelangat, D. M., Anyanga, M. O., Oloka, B. M., Gonçalves dos Santos, I., Talwana, H., Ochwo-Ssemakula, M., Edema, R., Gibson, P., Ssali, R., Campos, H., Olukolu, B. A., da Silva Pereira, G., Yench, C., & Yada, B. (2022). Combining ability and heritability analysis of sweetpotato weevil resistance, root yield, and dry matter content in sweetpotato. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.956936>.
- [23] Mustamu, Y. A., Tjintokohadi, K., Grüneberg, W. J., Karuniawan, A., & Ruswandi, D. (2018). Selection of superior genotype of sweet-potato in Indonesia based on stability and adaptability. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 78 (4). <https://doi.org/10.4067/S0718-58392018000400461>.
- [24] Sido, A., Saminou E, & Hassane A. (2015). *Etat des lieux de la riziculture au Niger*.
- [25] Siri A. (2015). Détermination des options de fertilisation organo- minérale et de densité de semis pour une intensification de la production du Mais dans la région de l'est de Burkina Faso. 73.
- [26] Souleymane O. (2021). Études génétiques sur la tolérance au sel chez le riz (*O. sativa*) (1st ed.). Editions Notre Savoir. Retrieved from <https://www.perlego.com/book/4046613> (Original work published 2021).
- [27] Souleymane O, Nartey E, Joseph B T B, Manneh B, Ofori K, & Danquah E. (2018). Rice Fields Chemical and Physical Properties and the Implications on Breeding Strategies. *Advances in Agricultural Science*, 6 (1), 1–12.
- [28] Uch, C., Roern, S., Ro, S., Kano-Nakata, M., Yamauchi, A., & Ehara, H. (2023). Growth Performance [of Photoperiod-Sensitive Rice (*Oryza sativa* L.) Varieties in Different Soil Types under Rainfed Condition in Cambodia. *Agriculture (Switzerland)*, 13 (8). <https://doi.org/10.3390/agriculture13081602>.
- [29] Yameogo P L. (2009). Contribution des granules d'urée dans l'amélioration des rendements. Cas de la Vallée du Kou au Burkina Faso. Mémoire d'ingénieur agronome Université polytechnique de Bobo-Dioulasso, 40.

Influence of supplemental irrigation in the production of 3 varieties of tomato at the Goudoumaria experimental station (Diffa-Niger)

Yerima Bako Djibo Aboubacar¹ and Illa Salifou²

¹Department of Plant Production and Irrigation, University of Djibo Hamani de Tahoua, Niger

²Radio Isotopes Institute, Abdou Moumouni University, Niamey, Niger

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

ABSTRACT: In the Sahel, irrigated agriculture through market gardening activities occupies a key place in the socio-economic life of populations but food insecurity remains a persistent reality. The solution to deal with this delicate situation which occurs every other year (2), would be to resort to intensive irrigated production of market garden crops intended for consumption, such as the case of tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.). This study was carried out on the experimental site of the departmental directorate of agriculture of Goudoumaria.

The aim is to analyze the impact of complementary irrigation on the growth and productivity of three (3) tomato varieties in experimental trials conducted at a research station. These varieties are: F1 Mongal, Roma and Rio Grande with two (2) supplementary irrigation regimes with 2 treatments (T1: with supplementary irrigation in the absence of rain for 3 successive days and T2: without supplementary irrigation or Control, the plants receive as rainwater). The following parameters were measured over time: germination rate, growth parameters (height, number of leaves, stem diameter) and production. The results showed that supplementary irrigation improves the production of 3 tomato varieties from the first harvest with respective yields for F1 Mongal=9.216t/ha, Roma 16.464t/ha, and Rio Grande, 10.368t/ha.

As for the controls (T2), the yields are 6.336t/ha (F1 Mongolian), 7.392t/ha for the Roma variety, 6.3t/ha (Rio Grande). These varieties are therefore well suited to supplementary irrigation and constitute a solution to the food and economic deficits of the population, especially since these varieties are well palatable to humans and very nutritious.

To perpetuate this activity, which is beneficial to irrigators in the study area, the State must support them; only the means of drainage and wells or market gardening boreholes remain.

KEYWORDS: Supplemental irrigation, irrigated agriculture, food insecurity, tomato varieties and Goudoumaria experimental site.

1 INTRODUCTION

Food insecurity is not a new reality for Africa. For more than twenty years, the continent has been struggling with hunger and food insecurity. Food security prevails when “all people, at all times, have economic, social and physical access to sufficient, safe and nutritious food that meets their nutritional needs to enable them to lead active and healthy lives”. (FAO., 2011). Food insecurity therefore exists when food is not available, when individuals or households do not have the means to obtain it, when it is not available at all times, and when individuals or households do not have the opportunity to consume them.

Niger is one of the most vulnerable countries in the world due to the context linked to its climate, its environment and its economy. In Niger, the performance of the agricultural sector is nevertheless very unstable due to its high exposure to climate change (ABDOUL HABOU *et al.*, 2016). Indeed, aware of the need to specifically tackle agricultural problems in all their aspects, researchers from the National Institute of Agronomic Research of Niger, agricultural executives and those from Abdou Moumouni University provide an overview of the constraints of agricultural production and propose some areas of intervention to remedy them. According to Clark (2006), the most effective and sustainable adaptation measures are often those taken at

the local level directly involving the people affected. The adaptation practices developed by producers in response to the negative consequences of climate change depend on the perception and endogenous knowledge they have of these changes (Dimon., 2008).

Sahelian soils are characterized by a low level of fertility, which is improved by spreading organic manure or fertilizer. However, household economic constraints limit their adoption (Manssour *et al.*, 2014). According to (Ramasamy and Moorthy., 2012), low agricultural productivity exacerbates the incidence of poverty and hunger, which means that whatever their causes, poverty and food security are closely linked (Rukhsana., 2011). The Diffa region, despite its strong agricultural potential, is experiencing a serious food crisis due to insecurity; agricultural production has fallen over the last 10 years. It is in this sense that market gardening must face significant challenges today.

It is in this sense that this study is carried out in the rural commune of Goudoumaria with the objective of analyzing the impact of complementary irrigation on the production of three (3) varieties of tomato mentioned above.

2 PRESENTATION OF THE STUDY AREA

Located in the western part of the Diffa region, the commune of Goudoumaria is bordered to the south by the State of Yobé (Federal Republic of Nigeria), to the east by the commune of Mainé Soroa and N’GuelBeyli, to the north by the commune of Tesker and that of Kellé and to the West by the commune of Gouré. The commune of Goudoumaria covers an area of 6915 km² (PROLAC., 2022).

It is in this sense that this study is carried out in the rural commune of Goudoumaria with the objective of analyzing the impact of complementary irrigation on the production of three (3) varieties of tomato mentioned above.

The figure above represents the Diffa region, with details on the department of Mainé Soroa and the commune of Goudoumaria.

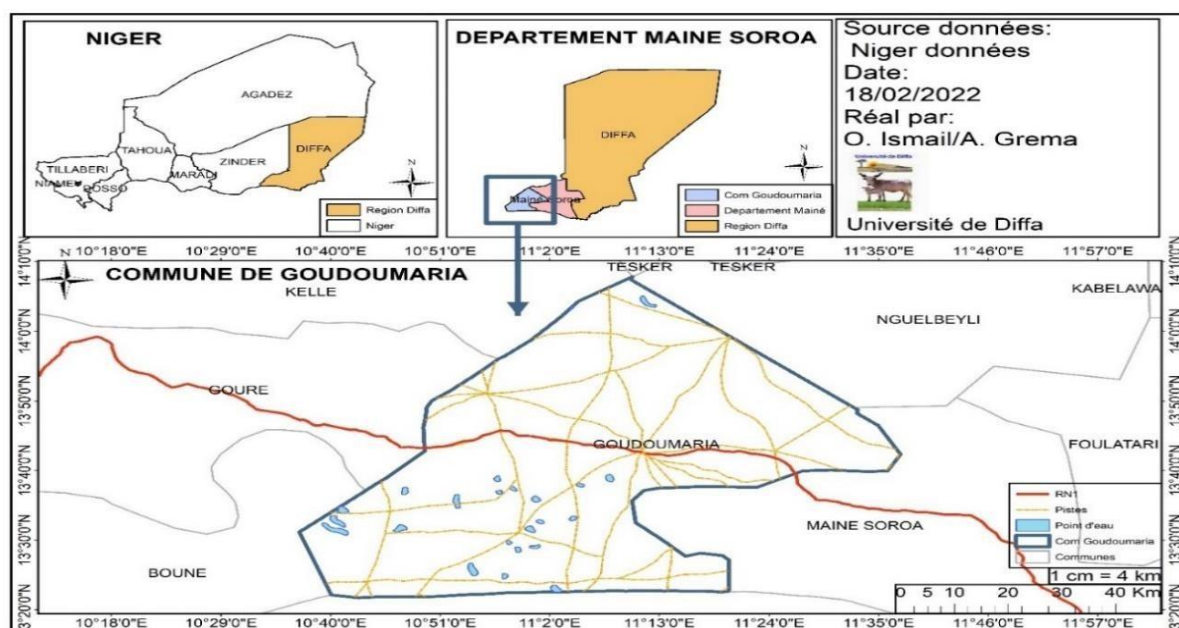


Fig. 1. Location map of the department of Goudoumaria (Fadel., 2024)

2.1 MATERIAL AND METHODS

2.2 MATERIAL

2.2.1 VEGETAL MATERIAL

The vegetal material used consists of seeds of the tomato variety: F1 Mongal, Rio Grand, and Roma.

2.2.2 TECHNICAL MATERIAL

Wooden stakes were used to demarcate the different plots, and to serve as a support for marking the plants to follow in each plot. In order to easily identify the plants monitored in the different plots, they were marked using labels on a metal stake, the plots are labeled from A to D for each variety. Thus, sheets for monitoring the emergence and monitoring the growth cycle of the identified plants were designed. A graduated ruler and a metric tape (m) were used for measurements. To evaluate production, plastic cups were used to harvest the tomatoes, a graduated ruler, large plastic envelopes, and a digital scale were used. A watering can is used to irrigate the plots which had received additional water.

2.2.3 STUDY SITE

This study took place at the experimentation site of the Goudoumaria Departmental Directorate of Agriculture (DDA) located in the city center of the CRG opposite the Goudoumaria prefecture. Its geographical coordinates are: 13°70'91" North Latitude and 11°18'48" East Longitude (photo2).



Fig. 2. Plan of the farm of the experimentation site of the departmental directorate of agriculture of Goudoumaria (DDA)

2.2.4 EXPERIMENTAL DEVICE

The tests were installed on a 150m² plot with an area of 15m x 10m comprising elementary plots on previously plowed soil. The device is made up of 3 repetitions, each of which is made up of 6 plots of 6m² (3m x 2m) in area. These plots were separated by 0.5m alleys. For each variety, we therefore have 2 plots of 6 m² one of which will receive supplementary irrigation every 3 days without rain (supplemental irrigation, this is treatment T1) and the plot water will only receive water of rain therefore without irrigation (this is treatment T2).

For the 3 varieties (Mongal variety, Rio Grand and Roma variety): The spacing between the rows is 30 cm and the spacing between the pockets is also 30 cm, i.e. a density of 110,889 pockets per hectare.

2.3 METHODS

The ground was well plowed before installing the boards. These beds were watered for a week for the decomposition of the bottom manure.

The trials were set up for all three tomato varieties at the start of the rainy season in July 2024. Direct row sowing was done on July 20, 2024 following a density of 0.3m x 0.3m in each plot of 6m².

2.3.1 IRRIGATION

Board to board irrigation and an irrigation mode that we had adapted for the conduct of our experiment. It consists of using a hand watering can to irrigate the beds which had been subject to additional irrigation.

The beds are cross-irrigated, hence the randomization of the treatment. During the entire period of the experiment, additional water was added every three (3) days without rain.

2.3.2 SAMPLING

In each plate, two individuals were randomly selected as monitoring subjects throughout the experimental period, i.e. twelve individuals in each culture.

2.3.3 OBSERVED PARAMETERS AND MEASUREMENT TECHNIQUES

Emergence monitoring was carried out every day from the day the first seedling appeared from the soil.

To evaluate production, all fruits on each plot and in each treatment are harvested... Days after sowing (DAS). These fruits were weighed to determine the fresh weight, then a sample was taken and dried in the sun for a week to determine the dry matter. The dry matter content is obtained by the following formula:

$$PST = \frac{PSE}{PFE} \times PFT$$

PST: Total dry weight; PFE: fresh weight of the sample; PSE: dry weight of sample.

Dry production per hectare is then obtained by extrapolation.

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 RESULTS

3.1.1.1 PERCENTAGE OF LIFT

F1 MONGAL VARIETY

The observation of sowing seeds at emergence depending on the treatments (figure 3) shows that emergence began 4 days after sowing and continued until the 10th day after sowing. We thus obtain a emergence percentage going from 38 to 96% for treatment 1 and from 26 to 90.66% for treatment 2. However, throughout the decade of the nursery, the best results were obtained with treatment T1. This is due to the additional irrigation done twice during this decade for treatment T1.

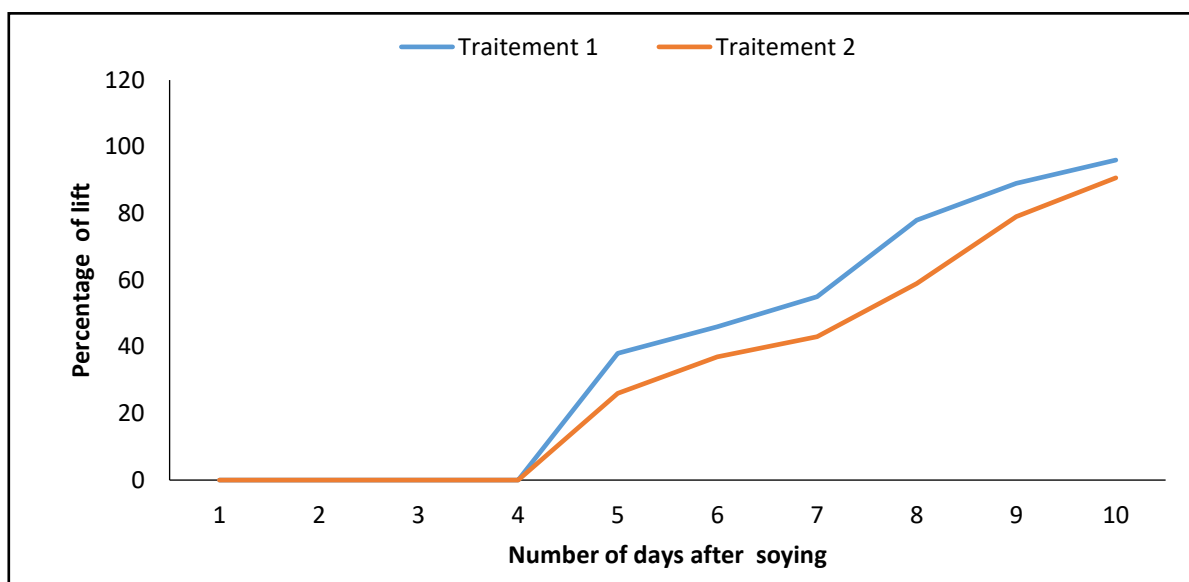


Fig. 3. Percentage of emergence of the F1 Mongal variety with supplemental irrigation (T1) and without irrigation (T2)

ROMA VARIETY

For the Roma tomato variety, the observation of emergence depending on treatment (Figure 3), shows that it began 3 days after sowing (DAS) and continued until the 11th day going from 23.11 to 80% for treatment 1 and 20.33 to 75.33% for treatment 2. However, during the emergence period, its percentage at the level of the beds of treatment 1 is slightly higher than the rate of germination in the treatment beds2.

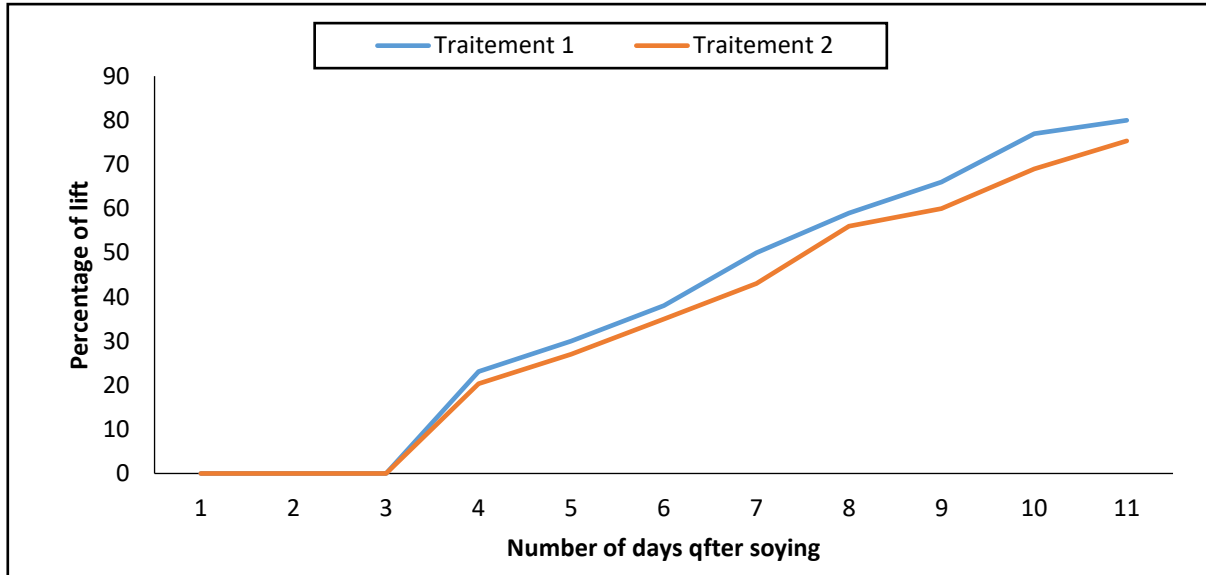


Fig. 4. Percentage of emergence of the Roma variety with supplemental irrigation (T1) and without irrigation (T2) Variété Rio Grande

Concerning the percentage of emergence of the Rio Grande variety, Figure 4 shows that it began 4 days after sowing and continued until the 10th day going from 22.22 to 86.66% for the treatment 1 and from 16.67 to 70.37% for treatment 2. During this period, we observed that it is more important with T1 than T2.

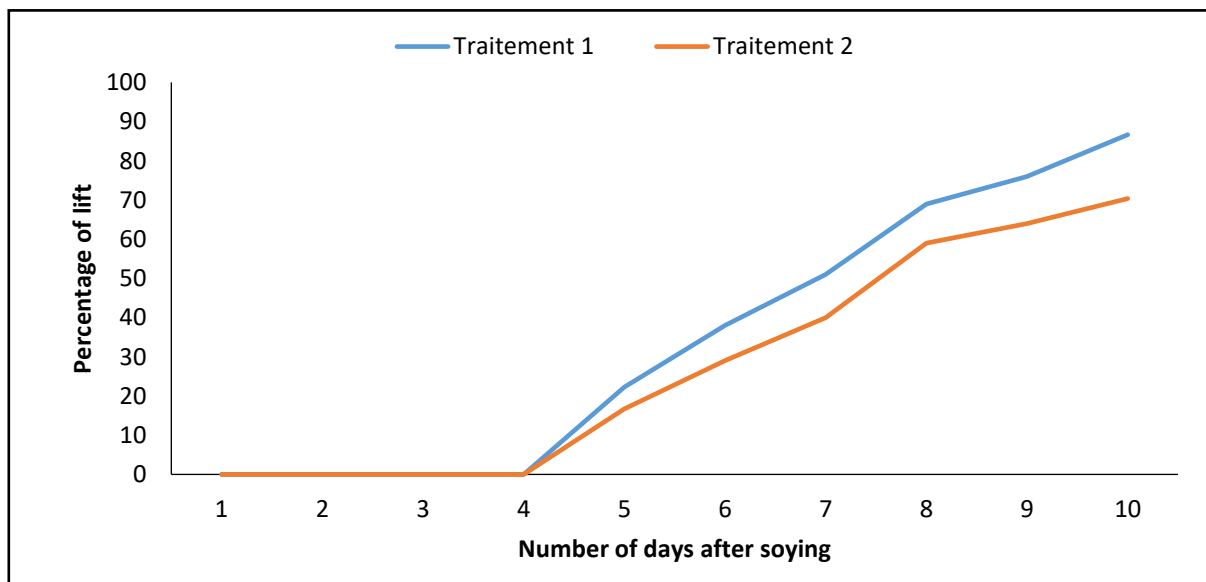


Fig. 5. Percentage of emergence of the Rio Grande variety with supplemental irrigation (T1) and without irrigation (T2)

Therefore, it appears that complementary irrigation (supplemental irrigation) influences the emergence and germination of the tomato, whatever the variety considered in the case of our experiment.

Figure 5 illustrates the production of tomato varieties F1 Mongal with supplemental irrigation (T1) and without irrigation (T2). It appears from this figure that supplementary irrigation has a significant influence on production. Thus, the production obtained with treatment T1 (76.8t/ha) exceeds more than twice that obtained with the control without irrigation in T2 (28.8t/ha). After drying for conservation, the productions are respectively 9.22 t/ha and 6.34 t/ha for the two treatments.

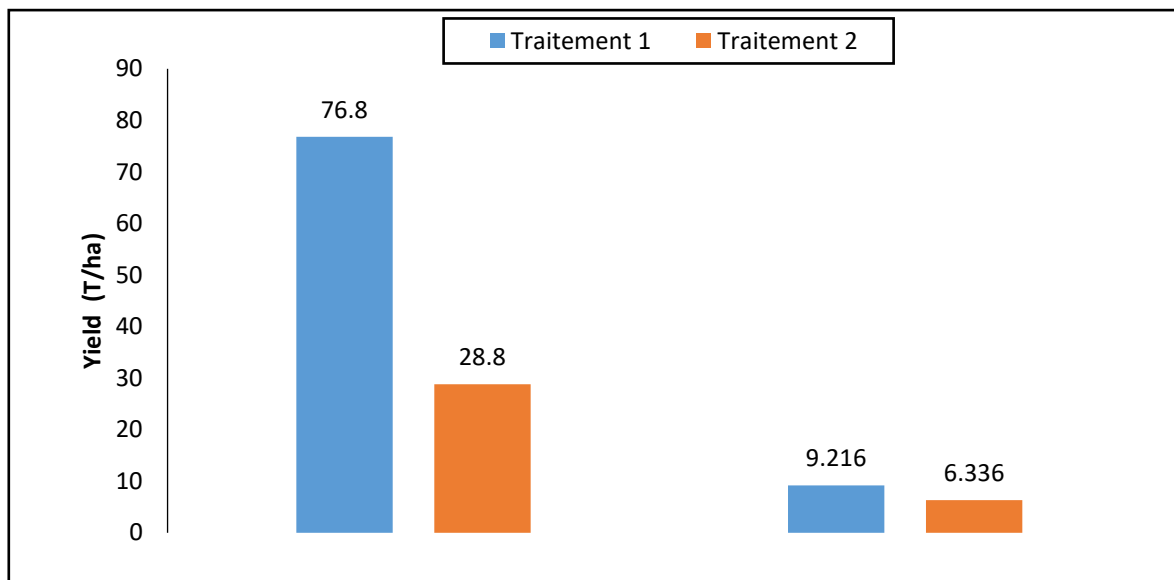


Fig. 6. Production of tomato variety F1 Mongal with supplemental irrigation (T1) and without irrigation (T2)

ROMA VARIETY

Figure 6 shows that at the first harvest of the Roma variety, supplemental irrigation greatly influences production. The production obtained with treatment T1 is double that obtained with the control without irrigation in T2. They are 105.6t/ha and 67.2t/ha respectively for treatments T1 and T2. Once the tomatoes have been dried for conservation, the productions are respectively 16,464 t/ha and 7,392 t/ha for the two treatments.

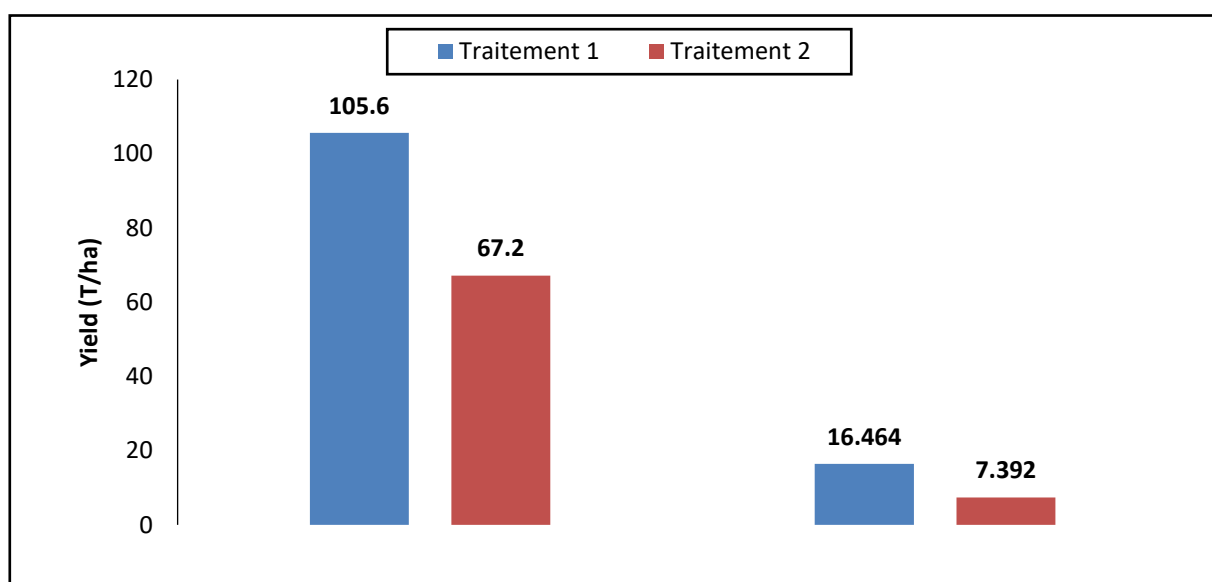


Fig. 7. Production of tomatoes of the Roma variety with supplemental irrigation (T1) and without irrigation (T2)

RIO GRANDE VARIETY

As for the Rio Grande variety at the first harvest, Figure 7 shows that supplemental irrigation also influences production. The production obtained with treatment T1 (86.4 t/ha) far exceeds that obtained with the control without irrigation in T2 (63 t/ha). After drying these productions for conservation, the latter fell respectively by 10.37 t/ha (T1) and 6.3 t/ha (T2).

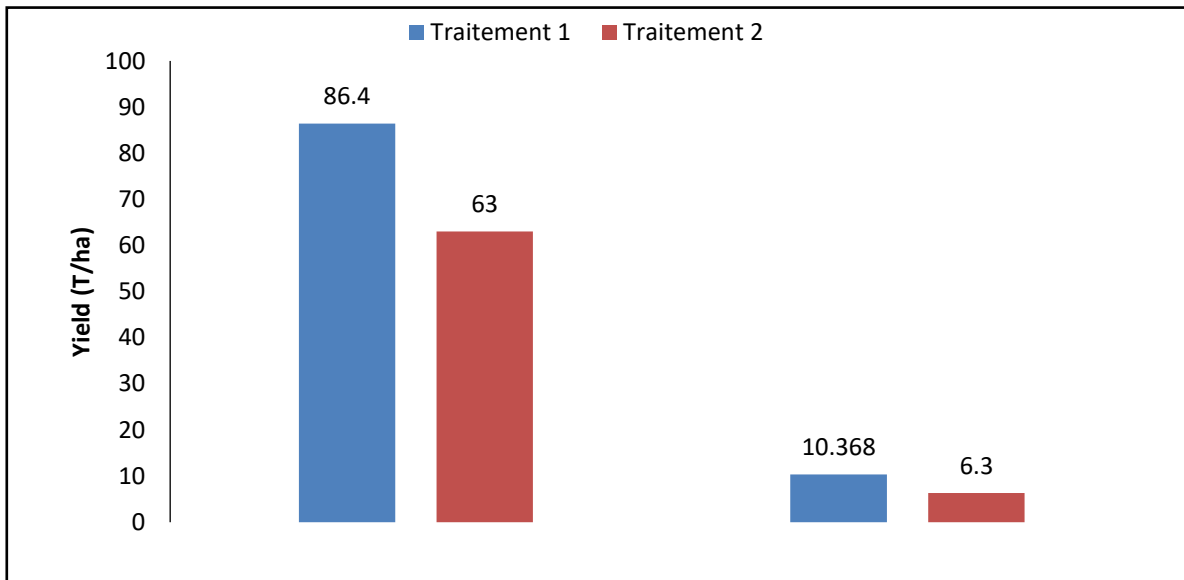


Fig. 8. Rio Grande variety tomato production with supplemental irrigation (T1) and without irrigation (T2)

3.2 DISCUSSION

3.2.1 TEN-DAY MONITORING OF THE LIFTING

For the 3 tomato varieties, emergence began at the same time for all treatments. The start of the first emergences was recorded 3 to 4 days after sowing. For the F1 Mongal variety, the emergence percentages obtained are 96% with a nursery with supplementary irrigation for treatment 1 and 90.66% for a nursery receiving rainwater only. For the Roma tomato variety (80% for treatment 1 and 75.33% for treatment 2) and the Rio Grande variety (86.66% for T1 and 70.37% for T2) which are lower than those obtained by KITABALA et al. (2016) and HASSAN (2024) which respectively obtained lifting percentages of (83% and 87%).

Our results are different from those obtained by BOUABDELLI et al. (2021). This author obtained 82.50% of the seeds which emerged. Although the variety he used is one of the 3 varieties we used, this difference would probably be due to the supplemental irrigation we did and the period during which the trials were conducted. He conducted his experiment in hot weather. Its results are lower than those we obtained with the control, which was also lower than the T2 treatment. The quantity of water it would have would be lower than that of our control watered by the rains which in turn would be lower than our supplemental irrigation treatment. In fact, the latter receives both rainwater and additional water in the event of water stress.

3.2.2 PRODUCTION

For the varieties Roma, Mongal F1 and the Rio Grande variety, the irrigation and control productions are respectively (105.6 t/ha and 67.4 t/ha), (76.8 t/ha and 28.8t /ha) and (86.4t/ha and 63.3t/ha). However after harvest, whatever the variety considered, the production of treatment 1 is significantly higher than that obtained with treatment 2. This superiority in production is due to the differences in emergence percentage recorded with the supplementary irrigated nursery and that watered only by rainwater. Several studies have already affirmed that the pocket of drought observed by cultivated plants has an influence on the yield of legumes (Nadeem et al., 2019).

However, the results obtained in this study are far superior to those obtained by GARANE et al. (2019) of 19.04 t/ha. This difference could be explained by the study environment or even by the conduct of the tests. This difference could be explained by the nature of the soil, the environment, or even by the progress of the trial, by the productive capacity and adaptation to the rainfall conditions of the study region of each of these different cultivated varieties.

4 CONCLUSION

This study showed that supplemental irrigation improves the yields of varieties like F1 Mongal, Roma, and Rio Grande. These varieties develop well in these conditions of complementary water supply and give satisfactory production. Thus, given the production capabilities of these tomato varieties in such conditions, these plants appear as crops to be promoted to alleviate food insecurity and improve the economic conditions of the population which are one of the most big problem in the Sahel. Additional studies will be necessary to study the effects of sowing densities and fertilization on the production of these varieties.

REFERENCES

- [1] Abdou M. Manssour., Elh Seybou D. Djibo., Zaberou A. Mayaki.2014. Productivité de la culture du sorgho (*Sorghum bicolor*) dans un système agroforestier à base d' *Acacia senegal* (L.) Willd au Niger. *Journal of Applied Biosciences* 82 (1): 7339.
- [2] Abdoul Habou Z, Mamane Maidagi, Mamane Garba. 2015. Rapport de synthèse du Diagnostic participatif rapide, d'identification des principales contraintes et des activités des sites d'intervention du projet PADS, 62 p.
- [3] Clark D, 2006. Climate Change and Social/Cultural Values in the Southwest Yukon: A Resilience Building Perspective, pour le Northern Climate Exchange, Waterloo, 41p.
- [4] BOUABDELLI, M. A. ZOUAOUI and S. A. SNOUSSI, Impact de l'acide salicylique sur la germination et le statut hydrique de la tomate irriguée par une eau saline non conventionnelle, *Revue Agrobiologia*, 11 (2) (2021) 2660 - 2669.
- [5] Garane et al., 2019. Etude du comportement de neuf cultivars de tomates (*Solanum Lycopersicum* L.) dans différentes zones agro-écologiques du Burkina Faso pendant l'hivernage, *Journal of Animal & Plant Sciences (J. Anim.PlantSci.)*, 40 (3): 6656-6673p.
- [6] FAO., 2011. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [7] Kitabala Misonga Alain1*Tshala Upite Joseph1, Kalenda Miji Arsene, Tshijika Ikatalo Marcel, Mufind, Kayakez Michel 2016. Effets de différentes doses de compost sur la production et la rentabilité de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) dans la ville de Kolwezi, Province du Lualaba (RD Congo). *Journal of Applied Biosciences* 102: 9669 – 9679 ISSN 1997–5902.
- [8] Hassan A.A. 2024. Évaluation de détection de meilleure performance en productivité et de Résistance de trois variétés de la tomate (*Lycopersicum Esculentum*) qui sont les suivants: les deux hybrides f1 Mongal et la f1 Thorgal et la variété fixée Tropimech dans une parcelle de 300m² au Nouveau Site de la Faculté de Sciences Agronomique (FSA), Université Djibo Hamani de Tahoua, Niger, 59p.
- [9] Kitabala et al., 2016. Effets de différentes doses de compost sur la production et la rentabilité de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) dans la ville de Kolwezi, Province du Lualaba (RD Congo), *Journal of Applied Biosciences* 102 (1): 9669 – 9679page.
- [10] Nadeem M., Jiajia L., Muhammad Y., Sher A., Ma C., Wang X. And Qiu L., Research Progress And Perspective On Drought Stress. 2019. In *Legumes: A Review*. 2003. *International Journal Of Molecular Sciences*, 20 (10): 1–32 Doi: 10.3390/ijms20102541.
- [11] PROLAC., 2022. Bas fond menacé d'ensablement et fixation des dunes; mis en valeur à travers les cultures irriguées Ste de Kilakam, 152p.
- [12] Ramasamy, J., & Moorthy, P., 2012. Managing food insecurity and poverty in India in the era of globalization. *International Journal of Multidisciplinary Research*, 2, 411-421.
- [13] Rodrigue DIMON., 2008. Adaptation aux Changements Climatiques: perceptions, savoirs locaux et stratégies d'adaptation développées par les producteurs des communes de Kandi et de Banikoara, au Nord du Bénin. Diplôme d'Ingenieur Agronome Université d'Abomey----Calavi -Faculté des Sciences Agronomiques.
- [14] Rukhsana., 2011. Dimension of food security in a selected state Uttar Pradesh', *Journal of Agricultural Extension and Rural Development* 3 (2): 29-41.

La place de l'Histoire nationale dans les programmes d'Histoire du cours secondaire général au Bénin: 1987-2016

[The place of national history in secondary school history programs in Benin: 1987-2016]

Arnaud Achille G. Gnidehoue

Laboratoire de Recherche Rétrospective-Afrique (LabRA), Université d'Abomey-Calavi, Benin

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

ABSTRACT: Since its independence in 1960, the education sector has become a sovereign sector of the State of Benin. To this end, the various study programs developed and implemented meet the goals defined by the authorities, which embody the people of Benin. As such, the study programs developed in the various school subjects take into account the objectives and purposes set by the authorities. However, an analysis of high school history studies programs between 1960 and 2016 shows that national history, especially post-colonial history, is poorly taught in schools. While in the years after independence, at least thirty themes related to national history were included in secondary school history curricula, this number has dropped considerably over the course of the reforms. Today, it is only three Learning Situations (SA) that address themes relating to national history. It is briefly taught, the history of the settlement of Benin, the participation of the former coastal kingdoms of Benin in the transatlantic slave trade and the stages of the decolonization of Benin to the detriment of the history of Africa, the great wars, the 'UN... The logical consequence of this situation is the low knowledge of national historical facts by young Beninese.

The objective of this research is to analyze the place of national history in secondary education programs in Benin between 1960 and 2016. Among other words, it is about understanding the anchoring of the national history in the said programs. To achieve this objective, the methodological approach used consists of a cross and adequate use of written and oral sources. The first is conducted through written documents, archives, curriculum documents and secondary history guides. The second was carried out with the designers of school programs, in particular inspectors.

The results of this research show that national history is weakly embedded in high school curricula. This situation, which is due to several reasons, is at the origin of the ignorance of certain parts of national history by the current generation.

KEYWORDS: Benin, education, national history, study programs.

RESUME: Depuis son indépendance en 1960, le secteur de l'éducation est devenu un secteur régalien de l'Etat béninois. A cet effet, les différents programmes d'études élaborés et mis en œuvre, répondent aux finalités définies par les autorités, lesquelles incarnent le peuple béninois. A ce titre, les programmes d'études élaborés dans les différentes disciplines scolaires tiennent compte des objectifs et finalités fixés par celles-ci. Seulement, une analyse des programmes d'études en Histoire au cours secondaire entre 1987 et 2016, montre que les thématiques liées aux faits nationaux fluctuent dans lesdits programmes. Si pendant la période révolutionnaire (1987), au moins une trentaine de thématiques liées à l'Histoire nationale ont été inscrites dans les programmes d'étude, ce nombre a considérablement baissé au fil des réformes. Aujourd'hui, c'est quatre Situations d'Apprentissages (SA) qui sont entièrement consacrées aux thématiques relatives à l'histoire nationale. Il est enseigné l'histoire du peuplement du Bénin (cinquième), la participation des anciens royaumes côtiers du Bénin à la traite transatlantique (quatrième), la vie économique et politique des anciens royaumes de la République du Bénin (première AB) et les étapes de la décolonisation du Dahomey (terminale). La conséquence logique de cette situation, est la faible connaissance des faits historiques nationaux par les jeunes Béninois.

L'objectif de cette recherche est d'analyser les raisons du faible ancrage de l'histoire nationale dans les programmes d'études du secondaire au Bénin entre 1987 et 2016. En d'autres termes, il s'agit d'appréhender l'ancrage de l'histoire nationale dans lesdits programmes. Pour atteindre cet objectif, l'approche méthodologique utilisée consiste en une exploitation croisée et adéquate des sources écrites et orales. La première est menée à travers les documents écrits, les archives, les documents programmes et guides d'Histoire et de Géographie du secondaire. La seconde s'est effectuée auprès des concepteurs des programmes scolaires notamment les inspecteurs.

Les résultats de cette recherche montrent que l'histoire nationale est bien ancrée dans les programmes d'études du secondaire. La méconnaissance de certains pans de l'histoire nationale par la génération actuelle est due à plusieurs raisons notamment, la qualité des enseignants chargés de dispenser les cours, le manque de manuels d'histoire et le manque de préparation des fiches pédagogiques par les enseignants.

MOTS-CLEFS: Bénin, éducation, histoire nationale, programmes d'études.

1 INTRODUCTION

Après son accession à la souveraineté nationale et internationale, le 1^{er} août 1960, le Dahomey aujourd'hui République du Bénin, a obtenu une autonomie de gestion de ses affaires intérieures. Tous les secteurs d'activité sont devenus un patrimoine national et désormais leur destinée est aux mains des nationaux. Il en est de même pour « l'institution scolaire qui est devenu un patrimoine de l'Etat béninois » (Da Silva & Tossou, 2014). Dès lors, pour former des cadres qui répondent aux aspirations et qui peuvent valablement faire face aux défis qui se présentaient à la jeune nation, des programmes d'études ont été conséquemment élaborés. En Histoire et Géographie, les programmes d'études avaient pour finalité d'aiguiser l'esprit critique et la conscience patriotique des apprenants. A ce titre, les nouveaux dirigeants avaient mis un accent particulier sur l'enseignement de l'histoire du passé glorieux des peuples et des réalités ancestrales du jeune Etat. De 1987 à 1991, les faits nationaux occupaient une place considérable dans les programmes d'Histoire et Géographie des lycées et collèges du pays. Mais les différentes réformes épistémologiques opérées dans le système éducatif en général et en Histoire et Géographie en particulier ont eu pour conséquence, la diminution progressive des thématiques consacrées à l'histoire nationale dans les programmes d'histoire des lycées et collèges. D'une trentaine de thématiques abordant l'histoire nationale inscrites au programme entre 1987 et 1991, il n'en reste que quatre aujourd'hui. Il est enseigné: l'histoire du peuple de l'actuelle République du Bénin (cinquième), la participation des anciens royaumes côtiers de l'actuelle République du Bénin à la traite transatlantique (quatrième), la vie économique et politique des anciens royaumes de la République du Bénin (première AB) et le processus de décolonisation du Dahomey au détriment de l'histoire de l'Afrique, des grandes guerres, de l'ONU... Les thématiques comme: les Etats Soudanais (Borgou, Atacora, Nikki, Kouandé), les Etats de la Région côtière (royaume Dahomey et le Royaume de Hogbonou), évolution des royaumes de l'actuelle République du Bénin; de Tégébessou à Glèlè (Période d'adaptation au contexte économique mondial), les royaumes Bariba, l'évolution politique des grands empires et Etats de l'Afrique Noire jusqu'au XVI^e siècle et bien d'autres qui étaient enseignées ont été purement et simplement abandonnées. Mieux aujourd'hui, aucune thématique n'est entièrement consacrée au passé des peuples qui composent la partie septentrionale du pays. Il se pose donc un sérieux problème de valorisation de l'histoire nationale dans les programmes d'études. La problématique qui sous-tend cette recherche est: quelles sont les raisons du faible ancrage de l'histoire nationale dans les programmes d'histoire au secondaire au Bénin entre 1987 et 2016 ? L'année 1987 a été choisie comme première borne chronologique de cette recherche, parce qu'elle correspond à l'année des premières réformes qui ont induit des changements structurels dans les programmes d'études. Quant à l'année 2016, elle correspond à la dernière relecture des programmes d'études en Histoire et Géographie et porte sur les programmes de la classe de troisième. L'objectif de cette recherche est d'analyser les raisons du faible ancrage de l'histoire nationale dans les programmes d'études du secondaire au Bénin entre 1987 et 2016.

Pour atteindre cet objectif, l'approche méthodologique utilisée a consisté en une exploitation croisée et adéquate des sources écrites et orales. La première est menée à travers la documentation écrite, les archives, les documents programmes et guides d'Histoire et Géographie du secondaire. La seconde s'est effectuée auprès des concepteurs des programmes scolaires notamment les inspecteurs.

L'analyse des informations issues de la recherche documentaire et des sources orales recueillies auprès de deux inspecteurs d'Histoire et Géographie a permis de structurer l'article autour de trois grandes parties. La première aborde l'enseignement de l'histoire nationale, comme moyen de renforcement du sentiment nationaliste et l'esprit patriotique chez les apprenants. Quant à la deuxième, elle est consacrée à l'analyse de l'ancrage de l'histoire nationale dans les programmes d'histoire du

secondaire. La dernière partie traite de la méconnaissance des grands faits marquants l'histoire nationale par la jeune génération.

2 L'ENSEIGNEMENT DE L'HISTOIRE NATIONALE, UN MOYEN DE RENFORCEMENT DU SENTIMENT NATIONALISTE ET L'ESPRIT PATRIOTIQUE CHEZ LES APPRENANTS

L'enseignement des faits historiques des peuples qui constituent aujourd'hui, l'actuelle République du Bénin aux apprenants des lycées et collèges constitue un facteur de renforcement chez eux, d'un sentiment nationaliste et d'un esprit patriotique. L'histoire nationale est une science à haute valeur éducative. Elle offre à la jeune génération, la possibilité de comprendre le passé glorieux ou non de leur pays. C'est au regard de son importance que Karl (1975) écrit « construire une nation en tournant dos à l'histoire nationale est plus qu'une gageure, une hérésie politique ». Même sentiment de la part de Sotindjo cité par Ayouba (2012) qui déclare qu' « (...) aucune nation ne saurait prétendre se développer si elle reste amnésique de son passé ». C'est d'ailleurs ce qu'avait compris les enseignants d'Histoire et de Géographie réunis au sein de l'Association nationale des géographes et historiens (ASNAGH) quand ils écrivent: « le passé d'un peuple est ce qu'il y a de plus sacré. Les souvenirs prestigieux, les vicissitudes douloureuses font partie intégrante du patrimoine historique de toutes nations ». Ainsi donc, l'enseignement de l'histoire nationale vise à accroître chez les apprenants le sentiment nationaliste. Le fait qu'un apprenant arrive à s'identifier à travers les raisons qui ont fondé les combats des héros nationaux à l'instar de: Béhanzin, Kaba, Saka Yérima, Bio Guerra, les peuples Hollis, Sahouès et autres, il peut décider de préserver leurs acquis et d'en faire mieux. Ceci est d'autant plus nécessaire parce qu'après 60 ans d'indépendance, la plupart des pays africains dont le Bénin, sont encore sous-développés. Et comme raison fondamentale de cette « surplace » que font ces pays, c'est la survivance des vestiges de la colonisation: pacte colonial, les accords militaires et économiques, les aides au développement déguisés, l'imposition de culture de rente...

S'agissant de l'esprit patriotique, l'enseignement de l'histoire nationale a pour but d'éveiller la conscience des élèves, de leur insuffler des connaissances afin, de susciter, d'entretenir et de développer en eux, l'amour de la patrie, le désintéressement pour ses œuvres. Selon Idohou (1999), l'enseignement de l'histoire nationale peut aider:

Le peuple Béninois à se redécouvrir et l'on peut s'imaginer comment cette redécouverte peut constituer un ferment d'unité dans un pays qui va renaître. Les leçons d'Histoire Nationale peuvent servir de levier fondamental au patriotisme qui lui-même indispensable à l'œuvre de développement économique et sociale.

L'enseignement de l'histoire nationale peut également contribuer au développement du civisme à travers la promotion des valeurs éthiques et morales, le respect du bien public, la conscience nationale. Pour Franck Corneille Togbé:

L'histoire n'est pas le fait de réciter les événements ou les dates. Les apprenants doivent tirer des valeurs pour leur vie. On n'étudie pas l'histoire pour le plaisir de l'étudier, mais pour servir le développement¹.

Et c'est d'ailleurs en tenant compte des fléaux et certains vices qui se dressent sur le chemin du jeune apprenant que les programmes d'études conçus et mise en œuvre selon l'Approche par les compétences (APC) sont fondés sur plusieurs valeurs à faire cultiver aux apprenants. Au plan moral par exemple, l'enseignement de l'Histoire et de la Géographie a pour mission:

De donner aux jeunes béninois une formation qui cultive en eux, une mentalité de bon gestionnaire des ressources naturelles, humaines, économiques et culturelles, le sens de l'effort et de la rigueur, l'esprit de probité, la conscience professionnelle aiguë².

Et à Garba Ayouba, d'ajouter:

Nos programmes sont conçus pour participer à l'effort de construction du pays. Quand on prend le cours sur "comment comprendre les origines lointaines des peuples de l'actuelle République du Bénin ?" la SA n°2 de la classe de cinquième (5^{ème}), c'est un cours très important. La question des origines est importante. Cela permet de régler les questions de cohabitation qui peuvent se poser entre les différents peuples³.

¹ Entretien, Cotonou, le 09 mars 2020

² Extrait des programmes d'études de la classe de sixième version révisée

³ Entretien, Cotonou, le 09 avril 2020

L'enseignant d'histoire à travers son cours prépare donc l'apprenant à être un bon citoyen, un citoyen bien formé et respectueux du bien public et des valeurs morales sociétales.

Au vu de son importance pour le développement d'une nation, il est nécessaire d'identifier la place de l'histoire nationale dans les programmes d'Histoire du secondaire.

3 L'ANCRAGE DE L'HISTOIRE NATIONALE DANS LES PROGRAMMES D'HISTOIRE DU SECONDAIRE

Les programmes d'études en Histoire et Géographie au Bénin ont beaucoup évolué au gré des différentes réformes intervenues dans le système éducatif béninois entre 1987 et 2016. Compte tenu des multiples changements intervenus⁴ à chaque fois pour procéder à des réajustements dans les programmes au vu de les adapter aux réalités et problèmes liés à leur mise en œuvre, l'analyse est faite suivant deux regroupements majeurs: les programmes d'histoire exécutés de 1987 à 1991, les programmes mise en œuvre selon l'Approche par les contenus et selon l'Approche par les compétences.

3.1 L'HISTOIRE NATIONALE DANS LES PROGRAMMES D'HISTOIRE DE 1987 À 1991

L'enseignement de l'histoire des peuples occupant l'espace de l'actuelle République du Bénin entre 1987 et 1991 revêtait un caractère spécial. Dans les multiples réformes entreprises par les autorités de la période révolutionnaire du pays, figure la refonte du système éducatif avec comme pour corollaire, la relecture des différents programmes d'études. En effet, en opérant la réforme de l'Ecole nouvelle, les autorités du Gouvernement militaire révolutionnaire (GMR) proclamaient accordées une place de choix à l'histoire nationale dans les programmes d'histoire du secondaire. A cet effet, dans le programme d'édification de l'Ecole nouvelle, il est clairement écrit:

L'enseignement au Bénin accordera donc une place importante à l'Histoire Nationale: il intégrera les éléments positifs de nos traditions culturelles aux concepts révolutionnaires conformes à la politique nouvelle d'indépendance nationale que sous-tend une idéologie nationale socio-économique diffusée en priorité dans nos langues. (INFRE, 1983).

Ainsi donc, dans l'élaboration des programmes d'enseignement en Histoire et en Géographie en 1987, un accent particulier a été mis sur les thèmes liés au passé du Dahomey / Bénin. A ce titre, une trentaine de thèmes relatifs à l'histoire du Dahomey, précolonial, colonial et les luttes menées pour l'indépendance ont été inscrits dans les programmes d'études des lycées et collèges. Le tableau I ci-dessous, présente les différentes thématiques abordées au niveau I entre 1987 et 1991.

⁴ Entre 1987 et 2016, il y a eu essentiellement quatre grandes réformes épistémologiques. Elles sont intervenues en 1987, 1991, 1997 et en 2003. Les autres n'ont été que de simples relectures des programmes d'études.

Tableau 1. Différentes thématiques au programme au niveau d'étude I

Les thèmes programmés au niveau I	
1 ^{ère} année	- Le thème porte sur : les origines lointaines des peuples de la République du Bénin
2 ^{ème} année	Il s'agit d'étudier quelques données sur l'histoire des peuples de la République du Bénin jusqu'au XVI ^è siècle. Cette étude est répartie en trois leçons à savoir : <ul style="list-style-type: none"> - Mise en place de la population - Les Etats Soudanais (Borgou, Atakora, Nikki, Kouandé) - Les Etats de la Région côtière (Royaume Dahomey et le Royaume de Hogbonou)
3 ^{ème} année	Le thème étudié en troisième année a trait à la traite négrière dans les anciens Royaumes de la République du Bénin. Il est étudié à travers deux leçons : <ul style="list-style-type: none"> - Origine et évolution de la traite dans le royaume du Danhomè, - Les conséquences pour Abomey
4 ^{ème} année	Les leçons qui concernent l'histoire nationale sont les suivantes : <ul style="list-style-type: none"> - Evolution des royaumes de l'actuel République du Bénin ; - De Tégbessou à Glèlè (Période d'adaptation au contexte économique mondial), - Les Royaumes Bariba (insister sur Nikki, Kouandé, Parakou et Kandi), - Résistances africaines (Béhanzin : cause de l'échec de sa résistance. - Le deuxième thème propose l'étude de la lutte des peuples de la République du Bénin face à l'impérialisme. Il est abordé à travers les leçons suivantes : <ul style="list-style-type: none"> - La pénétration coloniale ; - Les rivalités interimpérialistes ; - Les guerres de conquête et de résistance ; Le dernier thème aborde la période de la décolonisation à l'indépendance. Trois leçons sont prévues à cet effet : <ul style="list-style-type: none"> - Mise en place du système colonial, - Les résistances à l'oppression coloniale (1913-1939 : les résistances populaires : Holli, Bariba, Somba, Sahoué, la Contribution de l'intelligentsia : Louis Hounkanrin et Towalou Quenum) et enfin - La marche vers l'indépendance.

Source: Réalisation à partir des Programmes d'Etudes d'Histoire et Géographie

A travers la lecture de ce tableau, il est remarqué le souci des concepteurs de donner aux apprenants du niveau I, une culture assez solide et large sur l'histoire nationale. Cela peut expliquer le fait que les thématiques proposées touchent aux périodes: précoloniale, coloniale et des indépendances. Ceci permet à l'apprenant une fois au niveau II, de s'en sortir facilement avec des acquis et des connaissances importantes sur l'histoire de son pays. Même les apprenants qui ne pourront pas atteindre ce niveau, auront des notions suffisantes sur l'histoire nationale. Les programmes du niveau II sont eux-aussi conçus dans cette vision. Le tableau II suivant présente les différentes thématiques de l'histoire nationale abordées au niveau II entre 1987 et 1991.

Tableau 2. Différentes thématiques au programme au niveau d'étude II

Les thèmes programmés au niveau II/ Séries littéraires	
1 ^{ère} année	En première année, trois thèmes traitent de l'histoire nationale : - Les origines lointaines des peuples de la République du Bénin, - L'évolution politique des grands empires et Etats de l'Afrique Noire jusqu'au XVI ^e siècle (il s'inscrit dans l'étude de cas avec des exemples en République du Bénin) ; - Ouidah et la traite négrière,
2 ^{ème} année	Les thèmes portent sur : - Le Danxomè de Ghézo à Glèlè (1818-1889), - La conquête et résistance au Bénin (à illustrer par quelques exemples Béhanzin, Bio Guerra) et - Les colonisés face aux oppresseurs : exemple de la colonie du Dahome (Sahouè, Bio Guerra, Kaba, les intellectuel patriotes : Louis Hounkanrin, Tovalou Quenum.
3 ^{ème} année	Les thèmes étudiés sont : - Les sociétés de presse des années 1920 ; - L'expérience des partis politiques ; - L'indépendance octroyée en 1960.
Les thèmes programmés au niveau II/ Séries scientifiques	
1 ^{ère} année	- Les origines lointaines des peuples de la République du Bénin, - Origines et évolution des royaumes de la République du Bénin
2 ^{ème} année	Trois thèmes sont abordés en deuxième année. Il s'agit de : - Les poussées impérialistes avec les résistances au Bénin (à illustrer par l'exemple de Béhanzin et de Saka Yérima et expliquer leur échec). - Le Danxomè de Ghézo à Glèlè (1818-1889), - Les colonisés face aux oppresseurs : exemple de la colonie du Dahome (Sahouè, Bio Guerra, Kaba, les intellectuel patriotes : Louis Hounkanrin, Tovalou Quenum. Dans le cadre de l'aggravation des rivalités impérialistes.
3 ^{ème} année	Il est étudié : - L'exemple d'une indépendance octroyée : cas du Dahomey

Source: Réalisation à partir des Programmes d'Etudes d'Histoire et Géographie

Il ressort de ce tableau que plusieurs thématiques sur l'histoire du Bénin sont enseignées. Il faut faire remarquer que cette place prépondérante de l'histoire nationale dans les programmes d'études à l'époque peut s'expliquer par une volonté de s'inscrire dans la logique du gouvernement militaire d'idéologie marxiste-léniniste qui combattait l'impérialisme. Mieux, le gouvernement de Mathieu Kérékou à l'époque prônait plus le « comptons sur nos propres » forces. Il est donc évident qu'après une relecture des programmes, les thématiques liées aux réalités du Bénin, puisse prendre le dessus. Seulement, au fil des années, cette volonté s'est estompée.

3.2 L'HISTOIRE NATIONALE DANS LES PROGRAMMES SELON L'APPROCHE PAR LES CONTENUS ET SELON L'APC

La place de l'histoire nationale dans les programmes d'études d'histoire au secondaire au Bénin a fluctué selon les ambitions et objectifs des décideurs en place. Contrairement à la volonté affichée par les dirigeants de l'époque révolutionnaire, la place de l'histoire nationale dans les programmes d'études du secondaire décroît au fur et à mesure que ceux-ci sont actualisés. Les programmes d'histoire mise en œuvre dans les lycées et collèges entre 1991 et 2003, n'accordent qu'une place congrue aux faits et réalités nationaux. Le graphique 1 ci-dessous, présente les différentes thématiques abordées dans les programmes d'études selon l'Approche par les Contenus de 1991 à 2003.

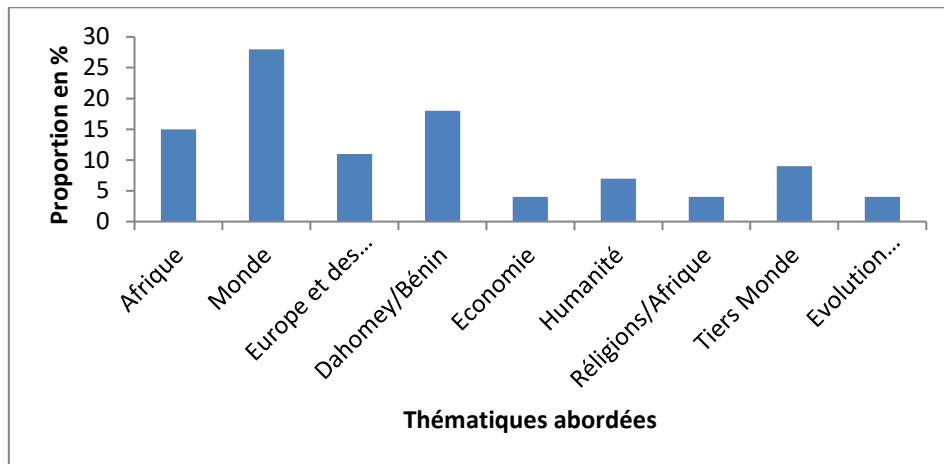


Fig. 1. Différentes thématiques abordées en histoire au second cycle entre 1991-2003

Source: Réalisation à partir des Programmes d'Etudes d'Histoire et Géographie

L'analyse de ce graphique montre que les thématiques d'histoire exécutées dans les lycées et collèges durant cette période sont plus tournées vers l'extérieur. Pendant que l'histoire nationale n'occupait que 18 % du total des thématiques, les enseignements consacrés au monde étaient de 28 %. Les enseignements consacrés à l'Afrique, l'Europe et les Amériques étaient respectivement de 15 % et de 11 %.

Cette baisse du nombre des thématiques entièrement consacrées à l'histoire du Bénin fait suite aux réformes indues par le document cadre de politique éducative adopté par le gouvernement béninois en janvier 1991. Ce document engageait le système éducatif béninois dans une réforme d'approche systémique basée sur l'enseignement selon l'Approche par les contenus. Les programmes d'Histoire et Géographie de l'époque ont donc aussi suivi un toilettage pour s'insérer dans cette nouvelle approche. Mais visiblement, les thématiques abordant l'histoire nationale, ont perdu leur place au profit de l'histoire du monde et de l'Afrique.

Cette situation ne va guère changer avec les programmes mise en œuvre selon l'Approche par les compétences à partir de 2003. Par exemple, entre 2003 et 2012, l'histoire nationale n'occupait que 19 % des thématiques enseignées. Mais avec les nombreuses mesures correctives apportées auxdits programmes d'études, l'histoire nationale se trouve plus ou moins aujourd'hui bien logée dans lesdits programmes. Le graphique 2 suivant fait le point des différentes thématiques à travers les programmes d'histoire exécutés selon l'Approche par les compétences.

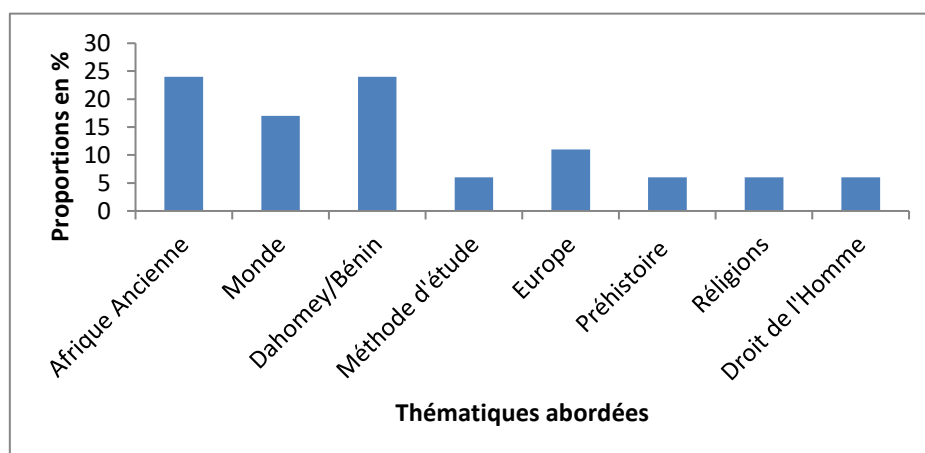


Fig. 2. Différentes thématiques abordées en histoire actuellement

Source: Réalisation à partir des Programmes d'Etudes d'Histoire et Géographie

Il ressort de ce graphique que la place de l'histoire nationale dans les programmes d'étude d'histoire dans les lycées et collèges s'est un peu améliorée quantitativement. Aujourd'hui, sur dix-sept Situations d'Apprentissage (SA) consacrées à l'histoire, quatre Situations d'Apprentissage soit environ 24 % abordent entièrement l'histoire du Bénin. Les autres SA sont consacrées à l'Afrique (24 %), au monde (17 %), à l'Europe (11 %). Les méthodes d'études (6 %), la préhistoire (6 %), la religion (6 %), les droits de l'homme (6 %) occupent aussi une place dans les programmes d'études.

Il est vrai qu'aucun peuple ne peut vivre en autarcie ou se retourner sur lui-même. Le Bénin a besoin de s'ouvrir au monde et que ses fils connaissent les réalités actuelles ou passées du monde afin de se positionner ou de s'en inspirer. Mais il est aussi vrai, que dans ces relations avec les autres peuples, le Bénin doit se positionner à travers ses atouts. Et c'est seulement qu'à travers l'enseignement du passé glorieux et des valeurs ancestrales à la jeune génération que celle-ci peut les sauvegarder ou faire leur promotion à l'international.

3.3 LES PRINCIPES QUI GOUVERNENT L'ÉLABORATION DES PROGRAMMES D'ÉTUDES

Le choix des thématiques à inscrire dans les programmes d'études en Histoire et Géographie, répond selon les concepteurs à des principes rigoureux. Cela tient compte de plusieurs paramètres. Adeptes d'une étude plutôt qualitative que quantitative de l'histoire nationale, Garba Ayouba explique que le premier principe fondamental qui guide le choix des thématiques à enseigner reste:

L'épistémologie de la discipline Histoire et Géographie. En histoire, il s'agit de faire une étude diachronique et synchronique. Une étude diachronique exige qu'on étudie le phénomène à travers le temps. Du plus ancien au plus récent. Et les programmes d'études d'histoire du Bénin sont élaborés suivants cette logique⁵.

Il ajoute:

Le second principe veut qu'on parte du particulier pour aller au général. On part du Bénin pour étudier d'autres thèmes: l'Afrique et le monde. Toute étude sérieuse ne peut s'accrocher que sur l'histoire du Bénin.⁶

Se basant ainsi donc sur ce dernier principe qui colle bien avec l'approche systémique de l'Approche par les compétences (APC), Franck Corneille Togbé trouve que ce sont des préjugés quand certains pensent que l'histoire nationale est faiblement ancrée dans les programmes d'histoire. Sur les 17 SA d'histoire, en plus de celles entièrement consacrées à l'histoire nationale, il y a 10 SA qui abordent partiellement le Bénin soit un taux de 58 %⁷. Même réaction de la part de Garba Ayouba qui déclare:

L'histoire nationale est logée entièrement, partiellement dans les programmes d'histoire. Même si ce n'est pas logé, le Bénin peut s'inspirer de ces thèmes. C'est le cas par exemple, de l'Égypte avec la gestion du Nil par les anciens égyptiens. Le Bénin peut bien s'inspirer pour mieux gérer l'eau qu'on a abondamment au cours de chaque année⁸.

Les inspecteurs affirment choisir les thématiques à enseigner en toute liberté. « Aucun gouvernement ne nous a jamais imposé un thème »⁹. Ainsi donc, les différentes thématiques enseignées en Histoire et Géographie sont arrêtées par les inspecteurs du Groupe Spécialisé avec la collaboration, des enseignants du supérieur, les Conseillers pédagogiques et autres. Toutefois, les thématiques obéissent à la finalité de l'éducation nationale contenue dans la loi n°2003-17 du 11 novembre 2003 portant Orientation de l'Éducation nationale en République du Bénin qui décline clairement le type d'homme que l'école béninoise compte former. Mais au regard de tout ceci, on se demande bien ce qui explique la méconnaissance de certains pans de l'histoire nationale par la jeune génération.

4 MÉCONNAISSANCE DES GRANDS FAITS MARQUANTS L'HISTOIRE NATIONALE PAR LA JEUNE GÉNÉRATION

Les conséquences du faible ancrage de l'histoire nationale dans les programmes d'histoire des lycées et collèges au Bénin est sans précédent sur le terrain. La jeune génération qui est sensée perpétuer l'histoire, semble la méconnaître.

⁵ Entretien, Cotonou le jeudi 09 avril 2020

⁶ *Idem*

⁷ Togbé Franck Corneille, entretien, Cotonou le jeudi 09 avril 2020

⁸ Entretien, Cotonou le jeudi 09 avril 2020

⁹ Ayouba Garba, entretien, Cotonou le jeudi 09 avril 2020

4.1 VERS UNE PERTE DE LA MÉMOIRE COLLECTIVE ?

La conséquence qui est de plus en plus perceptible de la faible représentabilité de l'histoire nationale dans les programmes d'histoire est la méconnaissance de certains pans de notre histoire par les jeunes des lycées et collèges. Les différents micro-trottoirs réalisés par les journalistes à l'occasion de certaines dates commémoratives du Bénin qui impliquent les apprenants, illustrent à quel point, la jeunesse actuelle méconnaît son histoire. Il est vrai que beaucoup de jeunes des lycées et collèges ne sont pas contemporains de certains faits récents du pays, mais ils devraient être en mesure d'expliquer sans difficulté si ces différents événements étaient enseignés dans les écoles. Le coup d'Etat du 26 octobre 1972, l'agression du 16 janvier 1977 et la Conférence des forces vives de la nation de février 1990, qui sont tous des événements très récents de notre vécu, ne signifient pratiquement rien à la plupart des jeunes qui sont aujourd'hui au second cycle du secondaire. Il est possible que l'on explique cette méconnaissance de l'histoire par le fait que cette génération lit de moins, en moins les ouvrages. Un constat que partage Garba Ayouba. Il déclare:

Il y a une baisse du niveau des apprenants. C'est un fait mondial. Les gens ne connaissent pas l'histoire de leur localité. Les hommes lisent peu aujourd'hui. On arrive plus à lire comme avant. On consacre plus de temps à lire et à s'informer sur WhatsApp que dans les livres¹⁰.

En dehors de ce problème qui est directement lié aux apprenants eux-mêmes, Garba Ayouba détermine bien d'autres causes qui sont à l'origine de la méconnaissance de certains pans de l'histoire du Bénin par les apprenants. Il s'agit de la qualité de la formation reçue par les enseignants d'Histoire et de Géographie, le problème de manque de manuels scolaires en histoire et la non préparation des fiches pédagogiques par les enseignants. Garba Ayouba confie ce qui suit:

Il y a d'autres raisons liées à la matière elle-même. C'est lié aux enseignants. C'est le département de Géographie qui fournit plus d'enseignant pour l'enseignement de l'Histoire et Géographie. Ceux qui vont s'inscrire en géographie, ce sont ceux qui ont fait pour la plupart, la série D et qui n'ont pas fait le commentaire, la dissertation. A l'université, ils n'ont pas reçu beaucoup de notions en histoire. Pendant leur formation, ils reçoivent à peine pendant deux ans, quelques notions sur l'histoire nationale. Les étudiants formés sont donc handicapés pour l'enseignement de l'histoire nationale¹¹.

Il continue en expliquant que:

Les effectifs pléthoriques, des facultés impactent aussi les évaluations. On ne fait plus aujourd'hui en histoire, les commentaires, les dissertations. La qualité de la formation a pris un coup. Ce qui a des répercussions sur l'enseignement de l'histoire nationale au secondaire¹².

En plus de ce facteur qui handicape l'enseignement de l'histoire dans les lycées collèges, il faut ajouter le manque de manuels scolaires sur l'histoire nationale. Ayouba (2012) souligne que « la grande difficulté est la non disponibilité du document en général et en particulier l'inexistence de manuel d'Histoire et de Géographie du Bénin qui constituent un handicap fondamental à la bonne préparation des fiches pédagogiques ». Il fait remarquer que « l'absence de manuels d'histoire et de géographie nationales a été longtemps dénoncée par les intellectuels béninois. » (Ayouba, 2012, p. 40). François de Medeiros cité par Ayouba (2012) écrit:

(...) la recherche historique effectuée au sein de notre université doit avoir des conséquences bénéfiques pour tous les ordres d'enseignement, à savoir l'enseignement de Base, l'enseignement Moyen Général et Technique.

Il se pose donc actuellement, un problème de documentation. Garba Ayouba relève que « le seul manuel qui existe est celui de Jean Pliya et date de 1993. Un document qui n'aborde pas l'histoire de toutes les localités du Bénin »¹³. Une situation qui a d'ailleurs amené les enseignants des départements du Borgou et de l'Alibori en 2012 à recommander: « (...) la rédaction de nouveaux manuels adaptés et actualisés d'Histoire et de Géographie afin de bien piloter l'APC. » (Ayouba, 2012). Il est à souligner que la collaboration qui existe entre les enseignants du supérieur et les inspecteurs, contribuent quelque peu, à contourner cette difficulté de manque de manuels scolaires. Ainsi, dans le cadre de l'inscription de certaines thématiques au

¹⁰ *Idem*

¹¹ *Ibidem*

¹² *Ibidem*

¹³ *Ibidem*

programme, certains enseignants du supérieur ont été approchés et ont publiés des ouvrages à propos. Garba Ayouba précise que:

Saka Yérïma et Bio Guerra n'étaient pas inscrits au programme. En voulant les inscrire au programme, on a dû travailler avec le Dr Djibril Mama Débouro. Ce dernier a dû publier deux ouvrages sur les deux personnages de l'histoire de la partie septentrionale de notre pays. C'est aussi le cas du professeur Sylvain C. Anignikin qui a aussi sorti un livre sur le mouvement nationaliste au Bénin. Le Dr Didier N'dah pour ce qui concerne la SA sur le peuplement du Bénin, de la classe de cinquième a mis à notre disposition, sa thèse de doctorat¹⁴.

Il faut aussi reconnaître que la plupart des enseignants ne font pas l'effort d'aller vers les documents souvent listés comme « documents de référence » au niveau de chaque Situation d'Apprentissage afin de bien conduire leurs différents enseignements. Une chose qui déteint sur la qualité de leur dispositif pédagogique et leurs prestations en situation de classe. Garba Ayouba se désolé de cette situation en ces termes:

Ils sont combien d'enseignants qui préparent bien leurs cours ? Beaucoup sont venus à l'enseignement pas par vocation mais en attendant de trouver mieux. Ils ne se préoccupent pas des questionnements. Ils viennent lire les synthèses¹⁵.

Le dernier facteur pouvant expliquer cette situation de méconnaissance de l'histoire nationale par les apprenants reste le manque d'organisation de sorties pédagogiques dans l'exécution des programmes d'études. Franck Corneille Togbé mentionne que:

L'APC exige qu'on parte du vécu des apprenants. Les enseignants n'arrivent pas à organiser les sorties pédagogiques. La sortie est indispensable. On ne peut pas faire un cours sans organiser les sorties pédagogiques¹⁶.

Pour lui, les apprenants gardent mieux les réalités qu'ils ont pu voir eux-mêmes. Il préconise à cet effet, pour régler le problème économique qu'on certains apprenants, que « les établissements prévoient des fonds dans leurs budgets afin de soutenir l'organisation des sorties pédagogiques qui sont indispensables à l'enseignement de l'histoire nationale »¹⁷.

Il est à repenser alors au vu de tout ceci comment l'histoire est enseignée dans nos lycées et collèges. Le fait que les apprenants restent de marbre devant certaines questions liées à l'histoire nationale comme si c'est la première fois qu'ils entendent cela, est inquiétant. Si rien n'est fait pour corriger le tir au plus tôt, dans dix, quinze ou vingt temps, on assistera impuissant à la disparition de certains faits du passé du Bénin.

4.2 NÉCESSITÉ D'UN SURSAUT PATRIOTIQUE EN FAVEUR DE L'HISTOIRE NATIONALE

L'enseignement de l'histoire dans les lycées et collèges aujourd'hui vise plusieurs objectifs. Il s'agit prioritairement de contribuer au développement global de l'élève en lui proposant des tâches d'apprentissage qui exigent un maximum la mise en œuvre de processus cognitif supérieur (analyse, synthèse, créativité dans la formulation d'hypothèses de travail, évaluation) et en accordant simultanément une attention constante aux qualités affectives. Si les thématiques d'histoire au programme permettent d'atteindre cet objectif, il n'en demeure pas moins qu'avec des notions des faits passés, de l'histoire des peuples qui composent l'actuelle République du Bénin, permettrait d'aiguiser plus l'esprit critique et créer le conflit cognitif chez les apprenants. Même s'il est vrai qu'on « (...) ne peut plus enseigner les longues listes de leçons pour enseigner toutes les régions »¹⁸ comme ce fut le cas sous la révolution, il serait aussi bien que le nombre de SA entièrement consacrées à l'histoire du Bénin soit augmentée. Il est à espérer donc que le projet qui est en cours afin de revoir tous les programmes à partir du « socle des compétences et des connaissances », tienne compte de cette préoccupation pour une place plus prépondérante à l'histoire nationale dans les programmes d'études.

¹⁴ *Ibidem*

¹⁵ *Ibidem*

¹⁶ Entretien, Cotonou le 9 avril 2020

¹⁷ Togbé Franck Corneille, entretien, Cotonou le 9 avril 2020

¹⁸ Ayouba Garba, entretien, Cotonou le 9 avril 2020

5 CONCLUSION

Au terme de cette étude, il ressort que la pertinence de l'enseignement de l'histoire nationale dans les lycées et collèges n'est plus à démontrer. Compte tenu du rôle que l'histoire nationale peut jouer dans la redécouverte du passé glorieux, de l'identité et la construction de la nation, il s'avère nécessaire qu'une place de choix lui soit accordée dans les programmes d'études. Il est aussi vrai que fondamentalement, plusieurs d'autres problèmes liés à la matière elle-même, aux enseignants chargés de mettre en œuvre les programmes sont pour la plupart des cas, à l'origine de la méconnaissance de l'histoire du pays par les apprenants. Il est donc nécessaire que le gouvernement puisse réfléchir pour trouver des solutions aux problèmes qui se posent à l'enseignement de l'histoire. Pourquoi pas ne pas organiser comme le pensent certains universitaires, un symposium qui réunirait les autorités, les enseignants du supérieur, les inspecteurs, les conseillers pédagogiques et les enseignants pour se pencher sur la problématique de manuels scolaires et bien d'autres problèmes.

REFERENCES

- [1] Ayouba Garba, 58 ans, Inspecteur de l'enseignement secondaire, Cotonou, le 09 avril 2020.
- [2] Togbé Franck Corneille, 56 ans, Inspecteur de l'enseignement secondaire, Cotonou, le 09 avril 2020.
- [3] Anignikin, C. S. (1993). « Le Concept d'histoire nationale: Dimensions théoriques et Fonctions Pratiques »: in *Africa Zamani*, Nouvelle série, n°1, Spécial Bénin.
- [4] Ayouba, G. (2012). La gestion de la fiche pédagogique en histoire et en géographie: état des lieux et contribution à l'amélioration des pratiques (cas du lycée Mathieu Bouké et du CEG Hubert Coutoucou Maga de Parakou). Mémoire pour l'obtention du Certificat d'aptitude à l'inspection de l'enseignement secondaire général (CAIESG).
- [5] Da Silva, A. & Tossou, M. R. (2014). « Les réformes du système éducatif béninois de 1960 à 2003: permanences et ruptures »: in *EDUCOM*, Lomé.
- [6] Febvre, L. (1979). Conférence à l'ENS de Saint Cloud.
- [7] Gbesserougui, O. Y. (1990). *Réflexion sur l'enseignement de l'histoire nationale au Bénin*: Mémoire de CAPES, ENS-Porto-Novo.
- [8] Idohou, A. J. (1999). Quelques réflexions sur l'enseignement de l'histoire nationale au second cycle de l'enseignement secondaire: Mémoire de CAPES, ENS-Porto-Novo.
- [9] INFRE, (1983). Programme d'édification de l'école nouvelle: Porto-Novo.
- [10] Journal Officiel de l'AOF, (1924), n°1024.
- [11] Karl, E. (1975). « Le rôle de l'histoire dans la vie des nations »: in *Bulletin de liaison de l'ASNAGH*, n°1.
- [12] Marrou, I. (1954). *De la connaissance historique*: Edition du Seuil, Paris.
- [13] Obenga, Th. (1980). *La dissertation historique en Afrique*: Dakar, Nouvelles Editions Africaines.

Mise au point et test d'un banc expérimental destiné à l'identification de fluides à transmission spectrale sélective pour l'amélioration du fonctionnement des cellules photovoltaïques

[Development and test of an experimental bench intended for the identification of fluids with selective spectral transmission for the improvement of photovoltaic cell operations]

Roméo BAMBARA¹, Stanislas SANFO¹⁻², Oumar BAILLOU³, Tizane DAHO¹, and Abdoulaye OUEDRAOGO¹

¹Laboratoire de Physique et de Chimie de l'Environnement (LPCE), Département de Physique, Université Joseph KY-ZERBO, Ouagadougou, Kadiogo, Burkina Faso

²Unité de Formation et de Recherche en Sciences et Technologies, Université Lédéa Bernard OUEDRAOGO, Ouahigouya, Yatenga, Burkina Faso

³Laboratoire d'Energies Thermiques Renouvelables (LETRE), Département de Physique, Université Joseph KY-ZERBO, Ouagadougou, Kadiogo, 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: The aim of this work is to implement an experimental bench for pre-selecting potential fluids that would have the property of filtering the sun's rays from inappropriate spectral bands for photovoltaic cells. In fact, they are responsible of the overheating and low efficiency. For this purpose, an experimental set-up based on in situ recording is applied. It adopts a comparative process of the effects of fluid layers on the electrical production and operating temperature of photovoltaic solar cells. A total of fifteen (14) fluids were analyzed for their ability to improve ICC current and reduce the operating temperature of PV cells. From this study, it emerged that three of the fluids tested, in particular the combination {vinegar + hydro alcohol}, the combination {sugar water + salt water} and vinegar, resulted in permanently positive increases in the I_{cc} characteristic of around +25%, +26,57% and 5,69% accompanied by a decrease in the operating temperature of the cells of around 30%, 22% and 24%, respectively. Other fluids also had an average positive effect on the I_{cc} current, such as sunflower oil (+1.5%), bleach (+3%) and yellow engine fluid (+3%). On the other hand, these stocks showed fluctuations that could become negative. The main observation is that the spectral splitting action is not constant and varies in real time.

KEYWORDS: implementation, experimental bench, liquid spectral splitting, photovoltaic improvement.

RESUME: Il est connu qu'une baisse de performance des cellules solaires photovoltaïques est attribuable à une augmentation de la température associée aux rayonnements de bandes spectrales non exploitables par ces dernières. Dans ces travaux nous présentons un banc expérimental conçu dans la perspective de procéder à la présélection de fluides dotés des meilleurs potentiels de filtration spectrale des rayons inappropriés pour les cellules photovoltaïques. Dans cette optique, un banc expérimental prévu pour fonctionner in situ a été développé afin de procéder à des analyses comparatives des effets de couches de fluides sur la production électrique et la température d'opération des cellules solaires photovoltaïques. Au total, quinze (14) fluides ont été examinés sur leur capacité à améliorer le courant de court-circuit tout en réduisant la température d'opération des cellules PV. De cette étude, il ressort que trois des fluides testés, notamment l'association {vinaigre+hydro alcool}, l'association {eau sucrée + eau salée} et le vinaigre, ont entraîné des augmentations permanemment positives de la

caractéristique I_{cc} d'environ +25%, +26,57%, et 5,69%, accompagnée d'une baisse du niveau de la température de fonctionnement des cellules d'environ 30%, 22% et 24%, respectivement. D'autres fluides ont également présenté des actions en moyenne positives sur le courant I_{cc} telles que l'huile de tournesol avec +1,5%, l'eau de javel avec +3% et le liquide moteur jaune avec +3%. Par contre, ces actions présentaient des fluctuations pouvant devenir négatives. Une observation particulière est le caractère variable de l'effet induit par les fluides sur les performances des cellules solaires, montrant que les taux de filtration subissent des influences paramétriques qu'il est nécessaire d'établir.

MOTS-CLEFS: implémentation, banc expérimental, fluide sélectif, bande spectrale, optimisation, cellule photovoltaïque.

1 INTRODUCTION

Nous disposons aujourd'hui de ressources en énergie solaire inépuisable et le spectre de l'énergie solaire est constitué de 9 % UV, 48 % VIS et 43 % IR, [1]. Ce rayonnement polychromatique couvre une bande spectrale large aux longueurs d'onde allant de 0,25 μm à 2,5 μm [2]. Dépendamment de la technologie PV considérée, certaines de ces longueurs d'onde sont exploitables dans l'effet photovoltaïque, tandis que d'autres sont nuisibles et occasionnent une baisse de productivité. En effet, pour chaque type de cellules solaires, il existe des domaines de bandes spectrales non exploitables qui ont pour incidence d'activer des processus thermiques. Ces processus thermiques enclenchés conduisent à une augmentation de la température de la cellule et l'entraînent à produire moins qu'elle aurait fait dans des conditions de température plus basses [3], [4]. Quand bien même une longueur d'onde est exploitable, il est prouvé que des phénomènes de recombinaison limitent le taux effectif de conversion en énergie électrique [1].

Ainsi, l'un des moyens envisageables pour optimiser les performances électriques d'une cellule PV, consisteraient à lui faire éviter l'augmentation de sa température de fonctionnement [3], [5], [6] en surplus des conditions naturelles de températures ambiantes généralement élevées des zones sahéliennes.

L'objectif visé par nos travaux est d'identifier des liquides transparents dont le pouvoir naturel de sélection spectrale favoriserait l'absorption des longueurs d'onde nuisibles [7], [8] pour une cellule solaire de type donné. Cette démarche nécessite d'identifier le (s) fluide (s) spécifique (s) [9], [10] dont le comportement sélectif spectral singulier correspondrait au domaine spectral de réponse de la cellule PV singulière considérée [11], [12]. Aussi, l'absence de formules empiriques sur le comportement spectral de toutes les substances liquides transparentes et l'absence de base de données scientifiques complètes sur leur pouvoir de transmission optique en fonction de la longueur d'onde du rayonnement solaire sont des difficultés qu'il nous sera nécessaire de contourner [12], [13].

En solution à cette difficulté, nous développerons un banc expérimental pour constater directement de potentielles influences positives de fluides dans des conditions in situ. Notre approche à l'image des travaux menés par [12], [13] permettra de limiter les candidats à des tests en laboratoire de spectrométrie: réflectivité, transmittivité ou d'absorbance spectrale [14].

Contrairement aux conditions contrôlées adoptées dans les travaux de [12], nous travailleront dans des conditions in situ très variables et imprévisibles. Aussi, nous avons opté pour l'implémentation d'une méthode comparative en temps réels, du fonctionnement de plusieurs cellules du même type sous l'influence de différents fluides. Par cette approche nous décelons le fluide recherché à travers les écarts significatif qu'il apporte au fonctionnement de sa cellule, pour des mesures de longue durée, dans des conditions identiques, réelles et évolutives de rayonnement et de température ambiante.

2 POINTS À VÉRIFIER AVANT LA SOUMISSION

La fig 1 montre le banc expérimental qui a servi à réaliser nos différents tests. Il est composé de 04 bassins cylindriques en plexiglass placés au-dessus de 04 cellules solaires PV. Le fond de chaque bassin est fermé de façon étanche au moyen d'une plaque de verre transparente et d'une colle silicone. Chaque plaque de verre repose sur des cadres rectangulaires creux en polystyrène, qui évitent le contact direct entre le verre et les cellules PV.

L'ensemble repose sur une planche en bois qui a été perforée de trous qui ont servis à faire passer les thermocouples et fils de connexions électriques jusqu'au dos de chaque cellule solaire. Une feuille en polystyrène a été placée aux dos des cellules afin d'éviter leurs contacts directs avec la planche.

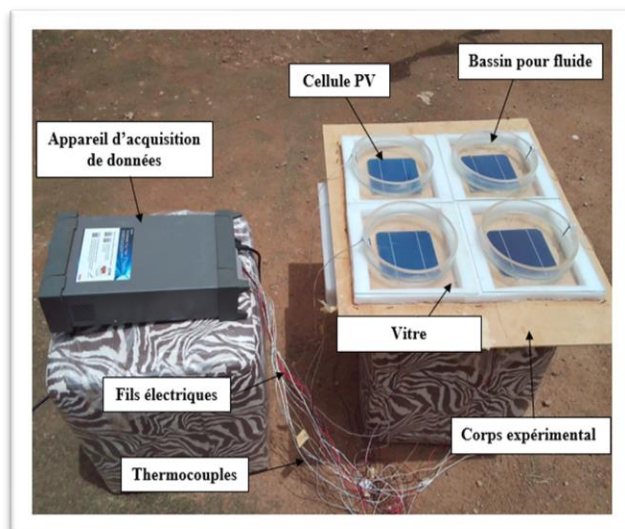


Fig. 1. Photo du banc expérimental

Au total neuf (05) thermocouples ont été placés soit quatre (04) collés aux dos des cellules pour relever leurs températures de fonctionnement et un (01) thermocouple a été disposé à l'air libre pour relever la température ambiante. L'ensemble des thermocouples et les huit 08 bornes électriques des cellules PV ont été connectés sur la carte multiplexeur 2000-Scan 20 channels, elle-même placée dans un data logger Multimètre DMM6500.

Le tableau suivant résume les dimensions des pièces en fonction des matériaux employés pour la fabrication du banc expérimental.

Tableau 1. Les matériaux adoptés et leurs dimensions

Matériaux	Dimensions
Planche de bois	50 x 50 x 2 cm
Polystyrène expansé	100 x 50 x 4 cm
Polystyrène extrudé	40 x 35 x 10 cm
Plexiglass	∅(int) : 18,6 cm ∅(ext) : 20,1 cm Hauteur : 2,9 cm
Verre claire	25 x 21 x 0,4 cm
Feuille cartonnée	29 x 21 x 0,2 cm
Silicone	01 Tube
adhésif double face	01 rouleau 500 x 1,9 cm
Colle thermique	03 baguettes de 13 cm
Etain	01 rouleau

Quatre types de capteurs ont été utilisés pour le banc expérimental. Le tableau 2 présente les détails des différents capteurs utilisés pour nos mesures.

Tableau 2. Caractéristiques des capteurs et conducteurs servant aux mesures

Capteurs	Quantités	Caractéristiques
Cellule polycrystalline PV non encapsulée	04	2,8 W
Résistance shunt	04	50 A, 75 V
Thermocouple Type K	05	∅(ext) : 0,25 cm L : 200 cm
Rouleau de fils conducteurs	02	S: 0,4 mm ²

3 MÉTHODE D'ETUDE

3.1 CONSIDERATIONS ET HYPOTHESES DE L'ETUDE

Notre méthodologie s'appuie sur un certain nombre de considérations et d'hypothèses qui sont que:

- L'eau distillée est un bon fluide de référence pour les comparaisons d'effet de filtration spectrale à travers les mesures de productions électriques et de températures;
- Conformément aux effets escomptés, un fluide possédant un bon potentiel de sélection spectrale conduira simultanément à une hausse du courant de court-circuit et une baisse de la température d'opération de la cellule au-dessus de laquelle il se situe;
- L'influence du verre est assimilable à celui des verres adoptés pour les cellules encapsulées et est la même pour toutes les cellules;
- Le procédé envisagé fourni des résultats stables et répétables.

3.2 PROTOCOL EXPERIMENTAL

3.2.1 ETALONNAGE DES THERMOCOUPLES

Afin de réduire les marges d'erreurs du banc expérimental des équipements de mesure qui la composent ont été soumis à des tests d'étalonnage. En premier lieu, un étalonnage des thermocouples a été réalisé. Ces travaux ont suivi la démarche suivante:

- Un premier thermocouple a été soumis à un étalonnage auprès de l'Agence Burkinabè de la Normalisation (ABNORM, certificat N° 22CET0195) pour des points d'étalonnage compris entre 0°C et 90°C. Ce thermocouple est considéré pour toute la suite comme le thermocouple de référence.
- Le thermocouple de référence a ensuite été considéré comme étalon afin de procéder à l'étalonnage des autres thermocouples dont nous nous sommes servis. Plusieurs thermocouples ont été testés. Suite à ces tests, nous avons retenus les thermocouples qui décrivent les mêmes niveaux de température d'une part et proches du thermocouple étalon d'autre part dans les mêmes conditions d'opération en laboratoire entre 25° et 90°.

3.2.2 ETALONNAGE DES CELLULES SOLAIRES

L'étalonnage des cellules solaires a consisté à constituer des données d'écarts types qui nous servent de Baseline. Pour ce faire, des mesures de courants I_{cc} et de températures de fonctionnement ont été effectuées à vide durant un total de 8h d'exposition au soleil en 4 séances de 2h. Les écarts naturellement préexistant entre les 04 cellules PV ont été déterminés. L'intérêt de de cette manipulation est de relever les écarts maximums de productions électriques attribuables initialement à des différences intrinsèques entre les cellules solaires.

3.2.3 TESTS SUR LES FLUIDES ETUDIÉS

Sept (7) campagnes de tests ont été entreprises avec différents fluides liquides, répertoriés dans le Tableau 3. Chaque campagne de test a duré 02 heures de temps, durant lesquelles les données sont collectées avec un intervalle de temps de 5mn. Pour chacune de ces campagnes, l'un des bassins C1 était constamment réservé à un même fluide témoin tandis qu'un second bassin était constamment laissé à vide C4. L'eau pure a ainsi été utilisée comme fluide témoin réutilisé pour tous les tests en adéquation avec des pratiques mentionnées dans la littérature. Le témoin sert à rendre compte de la stabilité et de la

répétabilité des résultats pour un même fluide d'une campagne de test à l'autre. Le bassin à vide est considéré comme la référence du fonctionnement normal sans les effets qui pourraient être attribuables aux phénomènes de filtration spectrale des rayons solaires. Il reste deux bassins C2 et C3 qui servent à contenir les substances fluides sur lesquelles le test porte.

Tableau 3. Récapitulatifs des fluides testés

Tests	Désignation	Nature
Test N°1	Fluide 1	Eau De Javel
	Fluide 2	Eau de refroidissement moteur
Test N°2	Fluide 3	Eau potable
	Fluide 4	Eau + sucre
Test N°3	Fluide 5	Eau de refroidissement moteur Jaune
	Fluide 6	Solution hydro alcoolique
Test N°4	Fluide 7	Eau de refroidissement moteur vert
	Fluide 8	Eau de refroidissement moteur bleu
Test N°5	Fluide 9	Eau + sel
	Fluide 10	Vinaigre blanc
Test N°6	Fluide 11	Eau + sel + sucre
	Fluide 12	Vinaigre + solution hydroalcoolisée
Test N°7	Fluide 13	Huile de tournesol
	Fluide 14	Huile moteur shell

3.3 TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNÉES

Une fonction de correction $\Delta f_{Ref}(T)$ a été établie sur la base des données d'étalonnage fournis par ABNORM de sorte que la température de correction T_{corRef} considérée lors de l'acquisition d'une mesure $T_{0,Ref}$ au moyen du thermocouple de référence soit prise:

$$T_{corRef} = T_{0,Ref} + \Delta f_{Ref}(T = T_{0,Ref}) \quad (1)$$

Grace aux données recueillies pour l'étalonnage des 4 thermocouples sélectionnés, les fonctions d'ajustement $\Delta f_k(T)$, $k = 1..4$ ont été établies de sorte que les températures de correction $T_{cor,k}$ considérées lors d'acquisitions de données de température $T_{0,k}$ au moyen de l'un de ces thermocouples soient prises:

$$T_{cor,k} = T_{0,k} + \Delta f_k(T = T_{0,k}) \quad (2)$$

$\Delta f_k(T)$ est une fonction de correction qui tient également compte de $\Delta f_{Ref}(T)$.

Nous avons procédé au calcul des écarts relatifs en temps réels entre les données relevées pour le bassin de référence (à vide) et les données relevées pour les autres bassins. Les formules qui ont servi à ces calculs sont:

- Moyenne dans le temps de l'écart relatif en courants Icc en %:

$$\frac{1}{T} \int_{t_i}^{t_f} 100 \frac{(I(t) - I_{ref}(t))}{I_{ref}(t)} dt \quad (3)$$

- Minimum dans le temps de l'écart relatif pour les courants Icc en %:

$$Min \left(100 \frac{(I(t) - I_{ref}(t))}{I_{ref}(t)} \right) \quad (4)$$

- Moyenne dans le temps des écarts relatifs de températures en %:

$$\frac{1}{T} \int_{t_i}^{t_f} 100 \frac{(T(t) - T_{ref}(t))}{T_{ref}(t)} dt \tag{5}$$

- Ecart relatif minimum des températures en %:

$$Min \left(100 \frac{(T(t) - T_{ref}(t))}{T_{ref}(t)} \right) \tag{6}$$

L’analyse consiste à s’assurer du caractère permanent de l’influence d’un fluide donné pour chaque grandeur mesurée à travers la comparaison des moyennes, des minimums et maximums de l’écart relatif.

Deux grandeurs doivent être analysées simultanément pour rendre compte de l’effectivité des effets positifs escomptés.

4 RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1 RESULTATS DES TESTS D’ETALONNAGE

L’étalonnage du thermocouple de référence par l’ABNORM nous a permis d’établir la fonction de correction suivante en appliquant la méthode des moindres carrés polynomiales:

$$\Delta f_{Ref}(T) = -0,0002T^2 + 0,0393T - 1,0647 \tag{7}$$

L’écart moyen de température le plus élevé enregistré entre les 4 thermocouples retenus et le thermocouple de référence est de 0.26°C.

Le Tableau 4 présente les données du Baseline. Ces données ont été constituées sur la base des écarts minimums, moyens et maximums qui ont subsisté entre les cellules photovoltaïques dans les mêmes conditions de fonctionnement lors du test d’étalonnage destiné aux cellules solaires. On remarque par les niveaux des écarts que les cellules employées présentent des performances électriques et des niveaux de température de fonctionnement pratiquement identiques, dans les mêmes conditions d’exposition sans fluide sélectif. Il est à noter que les écarts les plus élevés tournaient autour de 2,19% pour les températures et de 2,17% pour les productions électriques. Pour la suite, et dans nos analyses nous admettrons que des écarts sensiblement plus élevés que les limites du Baseline pourront être attribuables à l’effet probable de la couche additionnelle de fluide.

Tableau 4. Données du Baseline selon le type de la grandeur de mesurées

	Ecart entre les productions électriques Icc (%)		Ecart entre les températures de fonctionnement (%)	
	Moyennes	Intervalles	Moyennes	Intervalles
C2	-0,37	[-2,14 ; 0,12]	1,36	[0,35 ; 2,15]
C3	-0,37	[-2,12 ; -0,17]	1,38	[-0,39 ; 2,17]
C4	-0,38	[-0,13 ; 2,17]	1,4	[-0,36 ; 2,19]

4.2 RESULTATS DES TESTS SUR LES FLUIDES

4.2.1 INFLUENCES DES FLUIDES SUR LES TEMPÉRATURES DE FONCTIONNEMENT DES CELLULES

La fig 2 présente les taux d’écarts entre les températures de fonctionnement des cellules en présence de fluides et celles en l’absence de fluide (à vide). Les résultats nous montrent des écarts relatifs de valeurs toutes négatives. Il ressort donc que chacun de ces fluides a influencé la composition du rayonnement solaire conduisant à diminution sensible de la température de fonctionnement des cellules PV. Les taux d’abaissement de la température de fonctionnement sont significatifs en comparaison avec les intervalles de confiance établis dans le Baseline.

Ce résultat conforte dans l’idée qu’une action de filtration du rayonnement solaire peut être obtenue au moyen de fluide, de sorte à effectivement abaisser la température de fonctionnement des cellules PV.

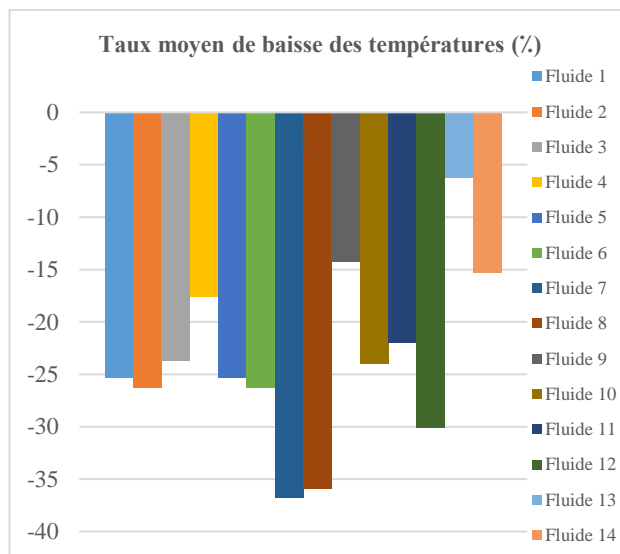


Fig. 2. Moyennes des taux de baisse des températures de fonctionnement des cellules sous l'influence des fluides

4.2.2 INFLUENCES DES FLUIDES SUR LA PRODUCTION ÉLECTRIQUE DES CELLULES

La Fig 3 présente l'évolution en fonction du temps des écarts relatifs entre les courants de court-circuit avec l'influence de fluides, comparés au cas sans influence, lors d'une campagne de test. On peut constater que la cellule solaire soumise à l'influence du fluide 2 a produit un courant I_{cc} moins élevé d'environ -10% à -40%. Tandis que la cellule solaire soumise à l'influence du fluide 1 a produit un courant légèrement supérieur, jusqu'à +6,32% et quelques rares fois inférieurs de -5,30%.

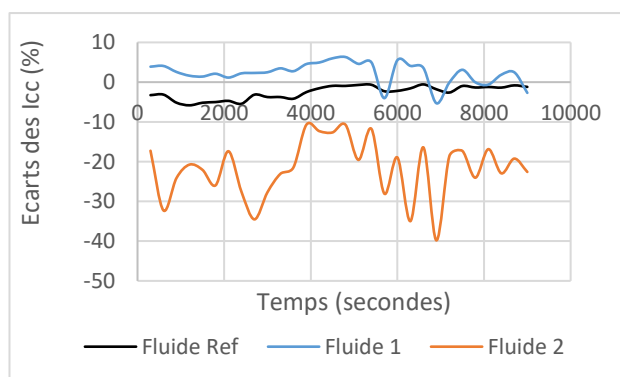


Fig. 3. Écarts enregistrés entre les courants de courts circuits en fonction du temps lors d'une campagne de test

Une observation intéressante que nous pouvons faire est que l'influence du fluide peut ne pas avoir un caractère constant tout au long de la durée du test. Aussi, il pourrait être plus intéressant d'analyser et d'apprécier l'influence des fluides sur la base de comparaisons qui portent les écarts moyens et les écarts minimums sur toute la durée de chaque campagne.

Les figs 4a, et 4b présentent les niveaux des écarts sur le courant I_{cc} enregistrées lors des 7 campagnes de tests. En se référant aux deux diagrammes, on constate que trois (04) fluides donnent des écarts moyens positifs. Il s'agit du fluide 3, fluide 10, fluide 11 et du fluide 12. En effet, pour le cas de ces fluides les productions électriques des cellules PV présentent des améliorations moyennes positives de l'ordre de +5,69%, +3,29%, +25%, +26,57%, respectivement.

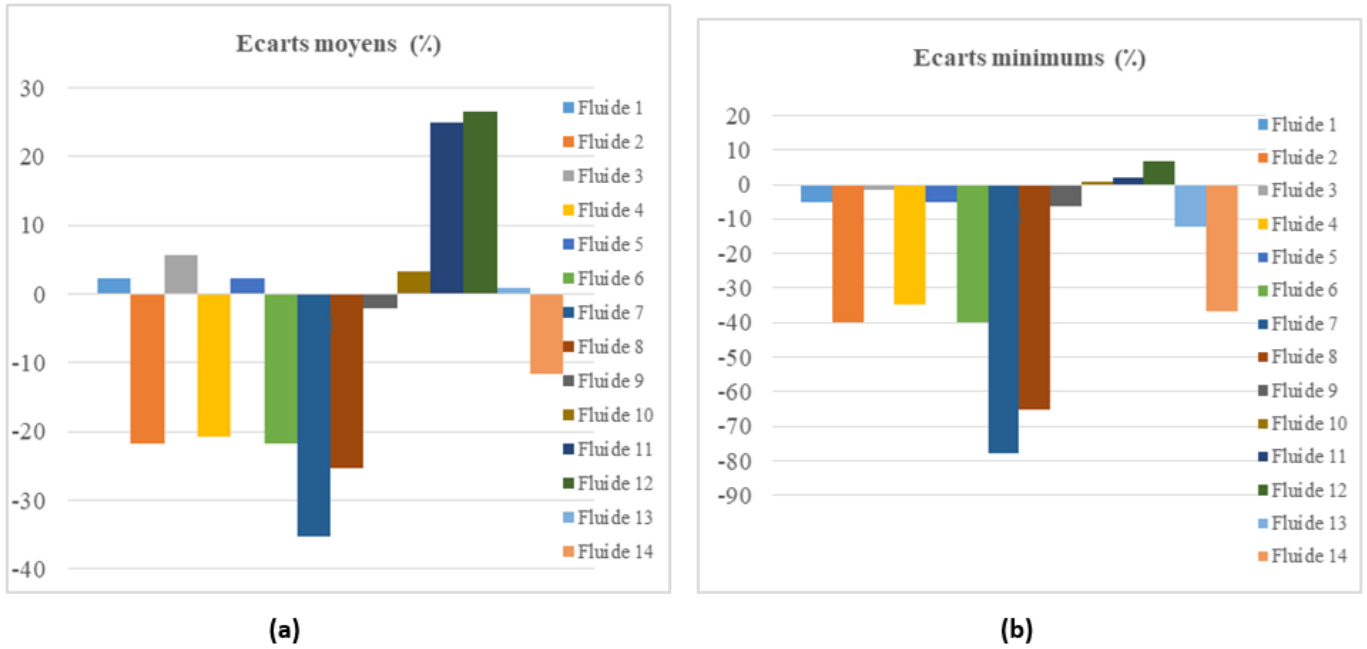


Fig. 4. *Ecarts entre les courants générés sous influence de fluide et les courants sans influence de fluide en fonction du fluide a) écarts moyens; b) écarts minimums;*

Ces fluides se démarquent des autres d’autant plus que leurs effets d’amélioration de la production électrique sont permanemment positifs en témoignent les écarts les plus faibles enregistrés qui sont situés respectivement à -1,42%, +0,5%, 2,12% et +6,76%. Les Fluides 11 et 12 ont tout particulièrement conduit à des résultats situés au-delà de l’intervalle de confiance établi par nos données de Baseline (Voir Tableau 4).

D’autres fluides ont également conduit à des améliorations en moyenne positives de la production électrique telles que les Fluides 1, 5 et 13 avec des moyennes de +2,31%, +2,31% et +0,95%, respectivement. Cependant, ces valeurs sont dans l’intervalle de confiance de notre Baseline. De plus, les actions des fluides concernés ne sont pas permanemment positives car des valeurs minimales négatives ont été enregistrées, notamment -5,29%, -6,36% et -12,12%, respectivement.

4.2.3 ANALYSE DES RÉSULTATS SUR LE FLUIDE TÉMOIN

Ces résultats montrent une grande variation des résultats portant sur les données électriques et une stabilité des résultats portant sur les données de température. Les données électriques sont particulièrement différentes lors des campagnes 6 et 7.

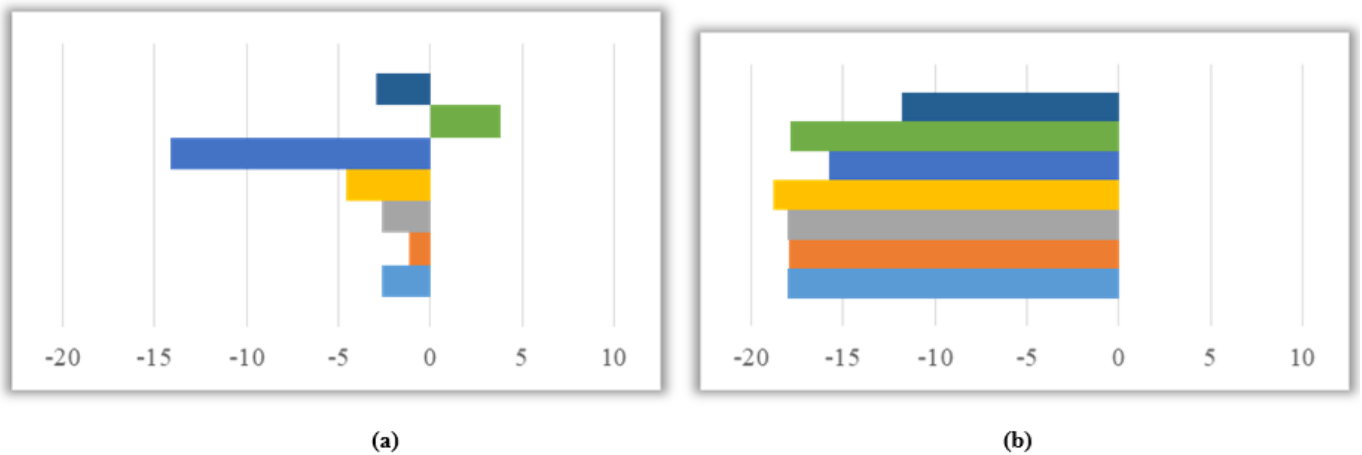


Fig. 5. *Ecarts observés avec le fluide témoin pour différentes campagnes de tests a) courants Icc, b) températures*

Ces deux campagnes ont particulièrement connues des moments de couvertures nuageuses qui pourraient certainement expliquer ces différences. Ceci soulève la question de la variation de la composition spectrale du rayonnement solaire en fonction de l'état du ciel et du taux d'ensoleillement. Les figs 5 a et 5b nous situent sur la variabilité des résultats de notre méthodologie en relatant l'évolution des écarts moyens obtenus pour le même fluide témoin lors de différentes campagnes de test.

4.2.4 DISCUSSIONS DE L'ENSEMBLE DES RÉSULTATS

De l'ensemble des tests sur les fluides sélectifs investigués, il ressort qu'ils ont tous une action sélective sur le rayonnement solaire qui se traduit par leurs influences significatives sur la baisse des températures de fonctionnement. En effet, si les températures sont relativement plus basses cela pourrait s'expliquer par le fait de l'absorption d'une certaine quantité d'énergie par les fluides, réduisant ainsi l'énergie impliquée dans l'effet photovoltaïque ou/et les processus d'échauffement. D'où une baisse de température.

Cependant, si dans certains cas, les baisses de température ne sont pas suivies d'une hausse de la production électrique, cela signifie qu'une portion du spectre électromagnétique utile pour les cellules solaires a dû être absorbée par les fluides concernés. Les deux fluides qui se démarquent particulièrement en maintenant des effets permanent d'augmentation de la productivité moyennes sont le mélange {vinaigre + hydro alcool}, {eau sucrée + eau salée}. Ces deux fluides peuvent potentiellement représenter des cas favorables d'action sélective spectrale permanente pour le type de cellules solaires utilisées.

Les fluctuations des résultats dans le temps pour un même fluide, de même que les fluctuations des écarts pour le fluide témoin au fil des campagnes de test nous permettent de conclure du caractère non constant de l'influence effective des fluides. La température des fluides peut être écartée car dans leurs travaux, [13], ont trouvé que l'action des fluides sélectifs sur le courant I_{cc} à 25°C ne différerait pas sensiblement de leurs actions à 80°C.

Nous pouvons attribuer les fluctuations pour un même fluide à une possible altération de la composition spectrale du rayonnement solaire. Dans cette hypothèse, l'idée de prospection de fluides sélectifs trouve pleinement son sens dans des conditions réelles fluctuantes. Par conséquent, une approche plus holistique telle que nous le proposons dans nos travaux serait mieux indiquée comparativement aux approches de la littérature, [13] où les conditions de rayonnement sont maintenues constantes.

Dans la mesure où certaines substances prises séparément, ne sont pas parvenues à apporter des améliorations, tandis que leurs associations ont donné un tout autre effet, il peut être supposé que le changement de propriétés chimiques soit à l'origine de modifications non superposables des caractéristiques optiques. Par-là, des tests en considérant les concentrations chimiques des molécules doivent être entrepris pour la comparaison des effets y afférent.

5 CONCLUSION

Notre travail a porté sur la mise en œuvre d'un procédé d'identification de fluide à transmission spectrale sélective pour des cellules photovoltaïques. L'objectif principal a été de mettre au point un procédé alternatif de comparaison de plusieurs fluides liquides sur leurs pouvoirs à absorber des bandes spectrales nuisibles pour une cellule photovoltaïque commerciale de type poly cristalline. Le banc expérimental composé de quatre bassins placés au-dessus de quatre cellules PV a été utilisé pour les différents tests.

Au regard des résultats expérimentaux obtenus, les mélanges eau + sucre + sel et le mélange vinaigre + hydro alcool ont montré les meilleurs impacts sur l'amélioration des courants générés par les cellules PV et l'amélioration des niveaux de température de fonctionnement. De cette étude, il est ressorti que ces deux mélanges sont parvenus à entraîner une baisse moyenne appréciable de la température de fonctionnement des cellules solaires de -22% et -30% respectivement et une hausse de production en moyenne de +25% et +26,57% respectivement. Les influences des fluides pouvaient présenter des caractères non constants qui subissent de probables influences du niveau d'ensoleillement ou de phénomènes d'évaporation, ou encore de convection. Pour établir la portée de chacune de ces influences, des tests additionnels doivent être menés avec des instruments de mesure pour déterminer l'évolution des facteurs extérieurs entrevus.

REFERENCES

- [1] Solanki, C. S., *Solar Photovoltaics Fundamentals: Technologies and Applications*, 2nd Ed. PHI Learning, New Delhi, India, 2013.
- [2] Sukhatme, S. P., and Nayak, J. K., *Solar Energy Principles of Thermal Collection and Storage*, 3rd Ed. Tata McGraw-Hill Education, New Delhi, India, 1996.
- [3] D. Evans and L. Florschuetz, «Cost studies on terrestrial photovoltaic power systems with sunlight concentration,» *Solar Energy*, vol. 19, pp. 255-262, 1977.
- [4] E. Skoplaki and J. Palyvos, «On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations,» *Solar Energy*, vol. 83, pp. 614–624, 2009.
- [5] Wysocki, J. J., and Rappaport, P., «*Effect of Temperature on Photovoltaic Solar Energy Conversion*,» *J. Appl. Phys.*, Vol. 31 (3), pp. 571–578, 1960.
- [6] Singh, P., Singh, S. N., Lal, M., and Husain, M., «*Temperature Dependence of I–V Characteristics and Performance Parameters of Silicon Solar Cell*,» *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, Vol. 92 (12), pp. 1611–1616, 2008.
- [7] Imenes, A. G., and Mills, D. R., «Spectral Beam Splitting Technology for Increased Conversion Efficiency in Solar Concentrating Systems: A Review,» *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, Vol. 84 (4), pp. 19–69, 2004.
- [8] Felipe Crisostomo, Robert A. Taylor, et al., «Spectral splitting strategy and optical model for the development of a concentrating hybrid PV/T collector,» *Applied Energy*, Vol. 141, pp. 238–246, 2015.
- [9] Chendo MAC, Jacobson MR, Osborn DE, «*Liquid and thin-film filters for hybrid solar energy conversion systems*,» *Solar & Wind Technology*, Vol. 4, pp. 131–138, 1987.
- [10] Taylor, R. A., Otanicar, T. P., Herukerrupu, et al., «*Feasibility of Nanofluid Based Optical Filters*,» *Appl. Opt.*, Vol. 52 (7), pp. 355–361, 2013.
- [11] Mojiri, A., Taylor, R., Thomsen, E., and Rosengarten, G., 2013. «*Spectral Beam Splitting for Efficient Conversion of Solar Energy—A Review*,» *Renewable Sustainable Energy Rev.*, Vol. 28, pp. 654–663.
- [12] A., Otanicar, T., and Rosengarten, G., «*Nanofluid-Based Optical Filter Optimization for PV/T Systems*,» *Light: Sci. Appl.*, 1, p. 34, 2012.
- [13] S. S. Joshi, A. S. Dhoble, P. R. Jiwanapurkar, «Investigations of Different Liquid Based Spectrum Beam Splitters for Combined Solar Photovoltaic Thermal Systems,» *Journal of Solar Energy Engineering ASME*, Vol. 138, 2016.
- [14] Xinyue Han, Dengshuai Xue, «Spectral characterization of spectrally selective liquid absorption filters and exploring their effects on concentrator solar cells,» *Renewable Energy*, Vol. 131, pp. 938–945, 2019.
- [15] Otanicar, T. P., Phelan, P. E., and Golden, J. S., «*Optical Properties of Fluids for Direct Absorption Solar Thermal Energy Systems*,» *Sol. Energy*, Vol. 83 (7), pp. 969–977, 2009.
- [16] E. Radziemska, «The effect of temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells, *Renew. Energy*,» Vol. 28 (1), pp. 1–12, 2003.
- [17] A. Royne, C. J. Dey, and D. R. Mills, «*Cooling of photovoltaic cells under concentrated illumination: a critical review*,» *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 86 (2005), pp. 451–483, 2006.
- [18] R. Bernard, D. Mengury and M. Schuartz, *Le rayonnement solaire: conversion et application*, Edition Paris, 1979.

Fermented Cassava dough: A Prerequisite for the Technological, Biochemical and Microbiological Properties of Attiéké in Côte d'Ivoire

Weiléko Hélène Dougba¹, Emmanuel Aya Diane Boudouin Dibi², Djedjro Clément Akmel¹, Soro Doudjo¹, and Nogbou Emmanuel Assidjo¹

¹Laboratory of Industrial Processes for Environmental Synthesis and New Energies, Institut National Polytechnique Félix, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

²Department of Agro-Food and Food Industries, UFR Agriculture Fisheries Resources and Agro-Industry, University of San-Pedro, San-Pedro, 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: Attiéké and fermented cassava dough are two cassava derivatives linked by the same transformation process. Fermented dough is obtained after spontaneous fermentation of the pulp over 2 to 3 days, with the addition of inoculum on cassava. Fermentation of dough for attiéké occupy an important role in the availability of fast sugars, mineral salts and cyanide, and in granulation. The dough becomes more acid under the action of Yeasts, Molds, Bacillus and mainly Lactobacillus. Dehydrated by pressing, it is generally characterized by a pH around 4.5, a humidity of around 52% for a reducing sugar content of around 1%. The aspect of the fermented dough that precedes attiéké depends on the factors and conditions involved in fermentation, the force of pressing and the hygiene of operations. However, the traditional processes and properties of attiéké have been assessed without prior studying the technological and biochemical properties of fermented cassava dough.

KEYWORDS: Fermented dough, attiéké, technological, biochemical and microbiological properties.

1 INTRODUCTION

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is a tuber with a wide range of applications, and its culinary diversity in Africa makes it an integral part of strategies to combat hunger. The importance of cassava motivates increased cultivation and processing, making it a priority for food security (Terry, 1986; Favier, 1977; Thresh, 2002). Around 314.8 millions tons of cassava were grown in Africa, representing about 60% of global production (Food and Agriculture Organization (FAO, 2021)). Cassava is produced and consumed in the sub-Saharan part of West Africa as porridge, gari, bread, cooked dough, attiéké, etc. Some cassava derivatives are still only consumed locally, but attiéké, steamed semolina, which originated in Côte d'Ivoire and is highly prized by its inhabitants, is gaining in popularity. Annual production of fresh attiéké is estimated at 40,000 tons (Egnankou, 2020). Annual consumption is estimated at 100 kg per capita per year. Around 5,818 tons of attiéké, mostly from the Bouaké wholesale market, were supplied to Malian markets, a figure estimated in 2015 by a survey report from Mali's Observatory of agricultural market, (FIRCA, 2018). Demand for cassava byproducts is also increasing in the countries of the sub-region, boosting exports, particularly of dough and attiéké (Mendez del Villar *et al.*, 2017). Fermented cassava doughs for human consumption are generally prepared as jellied doughs, but mainly as attiéké (Guira, 2013). More than 4,000 tons of cassava and derivatives reportedly entered Burkina Faso from Côte d'Ivoire in 2013 and 2014 (Perrin *et al.*, 2015). According to operators, the quantities exported to Burkina would be greater than those sent to Mali (informal estimates of demand from Burkina give more than 20,000 tons per year). Bags of pulp are collected in the town of Bouake and surrounding localities in the department. At the loading point, the bags of fermented cassava dough are stacked on top of each other and can last several weeks, with or without shelter, before being exported (Barussaud & Kouassi, 2019). Marketed fermented cassava dough is of interest for placali primary consumption, but for use in producing attiéké, in remote, deficit regions. This trade contributes to improving the incomes of women producers and combating food shortages in demand countries.

The quality of attiéké depends on the physiological and sanitary state of the tubers, the microbiological state of the ferment, the proper conduct of operations and hygiene conditions, all of which contribute to the quality of the dough. However, processing into fermented cassava dough is achieved artisanally by traditional experience, rather than on the basis of theoretical and rational knowledge (Krabi *et al.*, 2015; Zoumenou *et al.*, 1998). This reality bears witness to the fact that production quality is not maintained constant in an artisanal unit. From one region to another, as well as between producers in the same area, attiéké granules vary in grain size, texture, sourness and color. As a result, attiéké production gives rise to variations in quality, and the characteristics of the dough to be fermented need to be elucidated. First and foremost, attiéké is a traditional skill from the south of Côte d'Ivoire, described as the original attiéké, for which urban pressure and the illiteracy of women producers have considerably affected its nature.

2 GENERAL INFORMATION ON CASSAVA

2.1 ORIGIN AND BOTANY

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz), a tropical species native to America, has its center of distribution in the south-western Amazon basin. It is believed to be one of the oldest cultivated crops. Cassava was introduced to West Africa by the Portuguese in the second half of the 16th century, then spread throughout Africa and South Asia during the 18th and 19th centuries, favored by colonial authorities (Perrin *et al.*, 2015). In Côte d'Ivoire, it was cultivated in the 19th century by immigrant Akan populations (Abouré and Alladjan) who introduced it there from southern Ghana (Amani *et al.*, 2007).

Cassava is a semi-woody shrubby annual or biennial plant that can reach a height of 2 to 3 meters in cultivation, even 3 or 5 meters without being harvested (Favier, 1977). The cassava plant has alternate leaves, with an odd number of leaf lobes, varying from 3 to 7 lobes. The leaves are 10 to 20 cm wide, deeply palmatipartite, dark green above and glaucous below (Vernier *et al.*, 2018). The flowers, in clusters, appear in the same inflorescence at the branching point of the stem. The unisexual male and female flowers are pink, purple, yellowish or greenish, and lack a corolla. Fruits are dehiscent capsules, bursting noisily when ripe. The well-developed root system consists of tracing roots up to 1 m long. The main roots measure 5 to 10 cm in diameter and tend to tuberize. They are generally arranged in bundles that can reach 20 to 50 cm in length at harvest time.

2.2 CULTURAL REQUIREMENTS

Cassava is an undemanding crop that adapts to different types of soil and climate in the intercrops, giving relatively satisfactory yields. Cassava has been adopted voluntarily by Africans because of its specific characteristics, which include ease of cultivation in shifting cultivation systems, flexibility of harvesting, resistance to attack and resistance to drought (Carter *et al.*, 1994). It is less demanding and more resistant than certain cereals, notably maize and rice. As a result, cassava cultivation may require few chemical inputs. Production costs can generally be low, thanks to self-production of planting material and affordable labor. Nevertheless, cassava grows well in fairly light, well-drained soil consisting of around 40-60% sand, 30-50% silt and 15-25% clay without excessive moisture (Perrin *et al.*, 2015). It can be grown in all unimodal or bimodal rainy seasons, from 600 mm to over 4000 mm of rainfall per year. The best yields are recorded for rainfall of between 1200 mm and 1800 mm per year, with a minimum temperature of 12°C and a maximum growth rate of between 25 and 29°C (Mémento de l'agronome, 2006).

2.3 COMPOSITION OF CASSAVA

Cassava is a high-energy food, essentially made up of carbohydrates. It contains sugars (maltose, fructose, glucose and sucrose) and around 80-90% starch. The cassava root is not very rich in indigestible carbohydrates, is fairly rich in ascorbic acid and is very low in all other nutrients: lipids, mineral salts, vitamins and especially proteins (Favier, 1977). The average composition of cassava pulp in Côte d'Ivoire is shown in Table 1.

Table 1. Nutrient composition of 100g fresh cassava pulp

Water	60 mg				
Carbohydrates	38 g	Sodium	14 mg	Vitamin A	13 IU
Dietary fiber	1,8 g	Potassium	271 mg	Vitamin D	0 IU
Sugars	1,7 g	Magnesium	21 mg	Vitamin B12	0 µg
Protein	1,4 g	Calcium	16 mg	Vitamin C	20,6 mg
Fats	0,3 g	Iron	0,3 mg	Vitamin B6	0,1 mg
Calories	159 calories				

Source: Agence Nationale d'Appui au Développement Rural, (2017)

2.4 CYANIDE COMPOSITION

Cassava roots and leaves contain cyanogenic compounds, with linamarin (93-96%) being the most abundant and 4-7% lotaustralin (Sylvestre & Arraudeau, 1983). Leaves, stems and root bark contain more cyanogenic glucosides than the peeled root. These compounds are hydrolyzed to produce hydrogen cyanide (HCN), a substance that is toxic to hemoglobin and the nervous system and an endocrine disruptor of the thyroid gland (Delange & Ahluwalia, 1985). When the plant's cells are damaged, these cyanogenetic compounds break down under the effect of enzymes, releasing hydrogen cyanide. This breakdown takes place in two stages, starting with enzymatic hydrolysis of the glucoside by endogenous cassava enzymes, which releases the carbohydrates on the one hand and cyanohydrin on the other, followed by purely chemical dissociation of the cyanohydrin to produce hydrogen cyanide and acetone (White *et al.*, 1994).

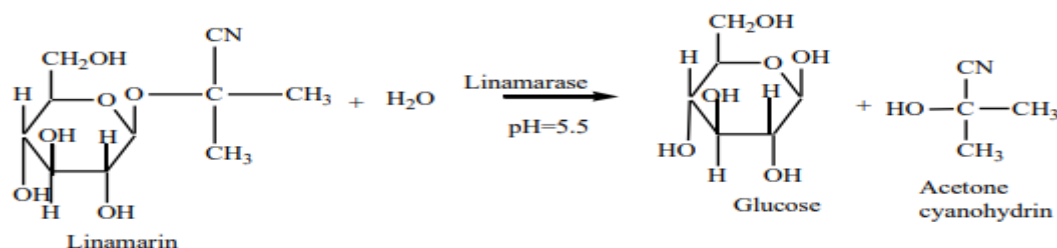


Fig. 1. Ddiagram of hydrogen cyanide synthesis

Source: Fomunyan *et al.*, (1985); White *et al.*, (1994)

The decomposition of cyanohydrin, an unstable molecule into hydrogen cyanide and acetone, is done either spontaneously at a pH above 5 or a temperature above 35°C, or under the effect of another enzyme as Hydroxynitrile Lyase (Brauman *et al.*, 1995; Delange & Ahluwalia, 1985; Raimbault *et al.*, 1990). This standard is limited to 10mg/ Kg for cassava flour following the Commission régulation (EU) 2022/1364, 2022. The standard value for cooking of fermented cassava is between 0,001 et 0,85 mg/kg (FAO/OMS, 2019). Hydrogen cyanide is known to be soluble in water and vanishes into the air when the temperature is above 26°C in conditions of retting, fermentation, drying, cooking on cassava.

According to the content of hydrogen cyanide, cassava compound three forms, bitter with more 100mg/kg of pulp, moderately bitter (between 50 and 100mg/kg), and sweet (under 50 mg/kg). In dry areas with less than 1200 mm of rainfall per year, bitter taste cassava varieties can develop, unlike the more demanding sweet taste cassava (Mémento de l'agronome, 2006).

3 BY-PRODUCTS OF FERMENTED CASSAVA

The by-products of cassava processing are numerous and differ from one region to another. The elimination of cyanogenetic compounds is a major concern in all processing processes for both human and animal consumption. Cassava by-products are obtained by cooking, drying and fermenting, all of them reduce cyanide levels. Traditional African dishes include gari, attiéké, placali, attoukpou, cassava sticks (miondo, bobolo, mintoumba from Cameroon and chikwangue from Congo) and agbelima. Miondo, bobolo and mintoumba are all cassava sticks made by the same process. Depending on how it is packaged, and the

ingredients added (salt, pepper oil for mintoumba), this cassava stick changes its name (Kouakou *et al.*, 2015). Peeled and washed, the tubers are soaked in water for 3 to 5 days to soften them. This soaking of cassava is called retting. Once retted, the central fiber is removed and the dough obtained by grinding is pressed, wrapped in banana leaves or similar and then boiled. Agbelima also comes in the form of a jelly dough in Nigeria and Benin, where the cassava is ground, pressed and then fermented (Mante *et al.*, 2003). Gari is a long-life dry semolina made by fermenting grated cassava dough over 2 to 3 days. The dough is then pressed, crumbled and sieved to reach the roasting stage (Nago, 1995; Sotomey *et al.*, 2001). Attiéké, a wet semolina made from dough fermented from fresh cassava and a cassava-based leaven fermented in 2 to 3 days. Small quantities of cassava and its leaven are finely ground and then pressed before being sieved and molded (Assanvo *et al.*, 2002; Egbe *et al.*, 1995; Grandval, 2012). The pellets are steamed. Attoukpou is a similar product to attiéké with a compacted appearance. Placali is a jelly-like dough made from fermented cassava dough. In addition to its traditional by-products, the fermented dough is used to produce alcohol, fermented drinks, starch and bread flour (Koko *et al.*, 2014). These processes influence hugely on cyanide's production and elimination of this cyanide with pressing.

4 PACKAGING OF FERMENTED CASSAVA DOUGH

Fermented cassava dough is of vital importance in reducing the toxicity and perishability of fresh cassava, which has a shelf life of only 5 days. Grinding, fermentation and pressing effectively eliminate some of the cyanide and its precursors. What's more, the reduction in humidity could guarantee stability that is conducive to good preservation. Long-term preservation depends on the conditions and quality of operations such as fermentation and pressing. Fermented cassava doughs from Côte d'Ivoire is transported to countries with a low cassava production for processing into attiéké (Guira, 2013; Perrier & Garnier, 2019). This trade raises the question of quality. Indeed these doughs are collected and stored either in the open air, or in bulk or stacked, as shown in figures 2 and 3.



Fig. 2. Bag of loose pulp in the ambient air



Fig. 3. Pulp stacked under tarpaulins

5 HISTORY OF THE ATTIÉKÉ PROCESS

The vernacular name “attiéké” is historically linked to the Ebrilé people living in the south of Côte d'Ivoire. Before independence, attiéké remained the traditional food for self-consumption by the people of the Ivorian coast. These communities used archaic tools.

5.1 CHANGES IN PRODUCTION EQUIPMENT

Processing equipment has changed from metal rasps to electric grinders and from sheet metal under brick to screw presses (Diarrassouba, 2018). The workload has therefore been reduced but is increasing under the impact of strong demand. The large-scale production of attiéké is forcing the owners of this technique to employ women from the sub-region in addition to family labor. The importance of this emblematic dish of Côte d'Ivoire has motivated public and private authorities to set up small industrial units.

5.2 PROCESS EVOLUTION AND VARIATION

5.2.1 EVOLUTION OF THE PROCESS

The processing of cassava into dough and attiéké is ethno cultural. The attiéké of the lagoon peoples was essentially made using braised ferment. The unpeeled cassava was initially placed in embers and then cooled in the open air. This braised cassava then underwent the anaerobic fermentation stage by multiple packaging in jute sacks for 3 days (Gnabro, 2018). The fresh cassava, which is grated, and the ferment were ground with a mortar to obtain a dough, which was pressed to reduce the cyanide content. The amount of oil and leaven used varied from one operator to another. According to (Diop, 1992), for 100 kilograms of cassava, an average of 2 to 4 kilograms of sourdough was needed. After crumbling and forming the grains, the 1-day solar drying and winnowing stages were scrupulously followed. Contemporary attiéké has gained considerable momentum on the Ivorian and international markets. Its production has been encouraged by using of more advanced tools such as the screw press and, above all, the electric grinder.

Today, attiéké is produced by all the peoples of the four corners of Côte d'Ivoire and represents an important source of subsistence income, depending on the marketing circuit. The attiéké production stages follow broadly the same order (peeling, grinding, fermentation, pressing, crumbling, granulation and cooking) for most producers. However, there are notable differences in the method used to design the ferment and the drying time. Organoleptic factors are also designed by producers to enhance taste and color. According to some people in central Côte d'Ivoire, braised ferments give attiéké a good flavor. Others produce attiéké by adding salt during grinding, or discolored palm oil to give it a yellow color. As for the water used, it allowed to wash the dough to reduce the acidity.

5.2.2 DIFFERENT DESIGNS OF FERMENTS

In terms of ferment design, the points of difference relate to the type of ferment cooking, the fermentation time, the use of packaging and the fermentation medium. In addition to braised ferment, there are two other trends in cooking of ferment. These are boiled ferment and raw ferment. The survey carried out by Assielou *et al.*, (2018) estimates an adoption rate of 85.3% for boiled ferment compared with 5.3% for braised ferment by several ethnic groups in the south. The Abouré group exceptionally uses raw ferment at 9.4%. This reality on type of ferment is practiced always because of easiness for using boiled ferment and obtaining amount. The optimum fermentation time for raw tubers is 3 days (Tetchi *et al.*, 2012). The duration of fermentation to obtain the ferment varies between 1 and 4 days, but most practice is 2 days and a few hours on the 3rd day.

5.2.3 VARIABLE DRYING TIMES

Solar drying, which firms the grains and preserves them in a few days, is increasingly being abandoned. It is replaced by exposure to the open air in a shed for around thirty minutes. This is largely due to market pressure. Producers also mention the change in color due to dust deposits, climatic disturbances and losses. This form of pre-drying is currently the most common in almost all production areas.

6 BIBLIOGRAPHICAL SUMMARY

6.1 MICROBIOLOGICAL, BIOCHEMICAL AND ORGANOLEPTIC STUDY OF ATTIÉKÉ

Attiéké was studied in several production marketing and experiments places, the information on which is summarized in Table 2. Traditional production is the main knowledge base for Ivorian attiéké and fermented dough. The realities that have evolved with the new production tools and the empirical process design make room for recent studies. The description of the production processes of three attiéké mastery regions and the characterization of their products was carried out by Assanvo *et al.*, (2019). This very rewarding survey covered almost all current aspects of attiéké in these regions (type, granulometry, proportion of production elements, physico-chemical characterization, and sensory evaluation). The physico-chemical characterization confirmed the differences between the types of attiéké and the differentiation criteria.

Table 2. Studies carried out on attiéke at different places

Studies at different places	Publications about	References
Traditional production (Survey and analysis)	- Processing method -Microbiological characteristics -Biochemical characteristics of attiéké	Assanvo <i>et al.</i> , 2002; Amani <i>et al.</i> , 2007; Assanvo <i>et al.</i> , 2006, 2019; Djeni <i>et al.</i> , 2011; Kouassi <i>et al.</i> , 2018; Yéboué <i>et al.</i> , 2017
Urban Productions	-Biochemical quality of attiéké -Organoleptic quality of attiéké	Koffi <i>et al.</i> , 2004; Amani <i>et al.</i> , 2007; Guira, 2013; Krabi <i>et al.</i> , 2015
Experimental	-Microbiological and biochemical study of ferments and starter -Microbiological study of experimental attiéké	Kakou <i>et al.</i> , 2004, 2017; Kouamé <i>et al.</i> , 2017; N'Dédé <i>et al.</i> , 2008; Nimaga <i>et al.</i> , 2012; Bouatenin <i>et al.</i> , 2017; Boli <i>et al.</i> , 2020
Commercial	Microbiology and health risks of attiéké on sale	Kpata-konan <i>et al.</i> , 2020; Anoman <i>et al.</i> , 2018; Akmel <i>et al.</i> , 2017 ; Yobouet <i>et al.</i> , 2016)

The well-made, fiber-free grains add to the traditional product's preferred quality. The average level of cyanide is higher in low-quality commercial attiéke called garba (12 mg/100g DM) than in other attiéké (4.41 mg/100g DM). Perceived differences in attiéké quality by (Djeni *et al.*, 2011) confirmed similar biochemical and organoleptic characteristics in the adjoukrou and alladjan production zones compared with the Ebrié zones, where the process is particular. Attiéké is subject to contamination during the production and packaging process, which can affect consumer health through the detection of *Salmonella*, *Staphylococcus* and toxico-infectious agents (Anoman *et al.*, 2018; Yobouet *et al.*, 2016). Given its short shelf life at room temperature, a new form of attiéké production is envisaged through the dehydration of attiéké and the production of primary grains. The preservable granules produced by Yao *et al.* (2015) show a residual moisture content of 10%, no browning and a stable microbial load. Numerous checks on the sanitary quality of attiéké are carried out to locate the risks of contamination and poisoning at commercial level. *Bacillus cereus* group was found in 25.2% of attiéké on sale and an average load of vegetative cells and spores were respectively. *B. thuringiensis* (56%) and *B. cereus sensu stricto* (44%) were identified species (Yobouet *et al.*, 2016). The results showed that the hydrothermal reheating of attiéké by steam at 90°C for at least 15 min reduced *B. cereus* spores count from in attiéké. A study carried out by Akmel *et al.* (2017) on the microbiological quality of attiéke sold in open markets in Cote d'Ivoire estimated that the probability of developing food poisoning due to *C. perfringens* by the consumption this dish was between 1.27% and 2.80%.

6.2 FERMENT CHARACTERISTICS

6.2.1 TYPE OF FERMENTS

The crushed pulp is fermented by using a few quantity of fermented cassava. The cassava may be raw, boiled or braised beforehand, then kept in anaerobic conditions for at least 2 to 3 days. The quality of the ferment depends on the initial state, the duration of fermentation adopted by each producer and even by region. Coulin *et al.*, (2006) found that the ferment obtained by partial cooking and fermented after 3 days was the most widely used.

Assielou *et al.*, (2018) reported after a survey in the south of Côte d'Ivoire that whole, uncut cassava was the main ferment used, followed by ferment from cassava cut into small pieces. The same survey estimates that women producers ferment 63% of peeled and boiled whole cassava. The biochemical distinction between boiled, braised and raw type ferments was

researched by Kakou *et al.*, (2017). These three types of ferments produced according to the two varieties of bitter and sweet cassava were analyzed every 24 hours for 4 days of fermentation. The pH values gradually decreased from approximately 7.3 to 4.6 in the boiled cassava ferments, respectively for the bitter variety and the sweet variety. In terms of braised cassava ferments, the pH increased from approximately 7.01 to 3.83 for the sweet and bitter varieties. The raw cassava ferment is at a Ph below the other two, 6.08 to 3.75. The Ph of all these ferments after 4 days is between 3.75 and 4.6, a value recognized by the most studies and capable of the acidity of the whole dough to ferment. Regarding titratable acidity, rates increased for boiled and raw cassava ferments from 0.02 to approximate values between 0.08% and 0.12% and at the level of the sweet and bitter variety. In the case of braised cassava ferments, the titrable acidity increased from 0.027 to 0.11% for the sweet variety and by 0.025% to reach 0.82% with the bitter variety.

All types of ferments regardless of the cassava variety recorded a progressive decrease in total and reducing sugars. In terms of sweet varieties, the total sugars of boiled and raw cassava ferments are similar, ranging from 2.7 to 1.2 mg/g and from 2.2 to 0.8 mg/g of material for braised ferments. These total sugars of bitter varieties increased from 1.3 to around 1 mg/g of fresh material in raw and braised ferments and from 2.4 to 1.1 mg/g of material from boiled ferment. With reducing sugars, levels gradually decreased from 1.1 to 0.7 mg/g of material in general on boiled and braised ferments of both sweet and bitter varieties. The raw cassava ferment was distinguished by initially high reducing sugar levels ranging from 1.62 to 0.9 mg/g of fresh material (bitter variety) and from 1.51 to 0.65 mg/g (variety gentle).

6.2.2 RATE OF INCORPORATED FERMENT

The ferment is combined with all the cassava pulp for grinding. Women producers measure the proportions empirically by matching containers. As a result, the mixed proportions remain informal. However, a study by Coulin *et al.*, (2006) and Assanvo *et al.*, (2019) showed that 7-10% of the fresh cassava used to make attiéké was fermented. Further details were provided by Nimaga *et al.*, (2012), who concluded that attiéké of the variety named Yacé made with 10% incorporated ferment and the together fermented for 12 hours was acceptable. It was found that at 10%, lactic bacteria predominate and are responsible for the production of sugars, lactic and acetic acids (Aboua *et al.*, 1990).

Other questions regarding the adequacy between the incorporation rate and the fermentation time were carried out. These are rates of 5, 8, 10 and 15% of ferment incorporation for 0, 6, 12 and 18 hours at a temperature of 35°C (N'Dédé *et al.*, 2008). The dough produced under these conditions showed decreases in pH and total sugars respectively for approximately 4.3 and 0.35 mg/100g of fresh material and an increase in acidity and reducing sugar content respectively of approximately 0.75% and 2.1 g/100g of fresh material after 18 hours of fermentation. In these same studies the highest levels of quantity of lactic acid (482.35 mg/100 g) and acetic acid (236.66 mg/100 g) of fresh material were found at 8% of ferment incorporated after 18 hours of fermentation. The other malic, oxalic, fumaric and citric acids, which are relatively important at each incorporation of ferment, have decreased in quantity at the end of fermentation. Despite these variations in contents, that of ethanol marked a high value of around 25 mg/100g of fresh material at 15% incorporation still at the end of fermentation. The incorporation with 10% of ferment chosen by most authors (Akely *et al.*, 2010; Kouamé *et al.*, 2017; Toka *et al.*, 2018) for studies on attiéké presumes a certain optimization in the traditional process.

6.2.3 MICROBIOLOGICAL STUDY OF THE FERMENT

The ferment, a determining factor in the fermentation of cassava dough, was analyzed in the field. This research, carried out by Assanvo *et al.*, (2002), focused on the microflora of cassava ferment prepared by women producers of Adjoukrou attiéké. The quantitative and qualitative isolation of the major micro-organisms involved in the production of this type of attiéké showed that cassava ferment is a very rich and varied medium in terms of micro-organisms. According to this research, the most frequently encountered germs are lactic acid bacteria (5.7×10^7 cfu/g), yeasts (5.5×10^7 cfu/g), *Bacillus* (38×10^7 cfu/g), total coliforms (3×10^6 cfu/g), enterococci (3×10^6 cfu/g), thermotolerant coliforms (8×10^3 cfu/g) and molds (2×10^6 cfu/g). While lactic bacteria, *Bacillus*, yeasts, enterococci and molds take part in fermentation, coliforms owe their presence to contamination of the ferment by its environment. The ferment ready to be used, has a pH between 5.4 and 6.1 and a temperature of around 30°C.

A microbiological study based on the kinetics of the ferment according to the method of production (raw, boiled, braised) from the varieties (bitter and sweet) was carried out by Kakou *et al.*, (2017). These experiments, which were carried out every 24 hours for 96 hours, showed that the ferments from the sweet variety contained a relatively higher number of lactic acid bacteria (5.83 ± 0.12 log (ufc/g)) and bacillus (6.18 ± 0.42 log (ufc/g)) than those from the bitter cassava (variety). Furthermore, boiled ferments are generally richer in *Bacillus* than raw and braised cassava ferments, regardless of the variety of cassava

used. Traditional starters examined from different areas showed significantly similar microbiological loads (*Lactobacillus sp*, *Bacillus sp*,) but so Yeast (*candida sp*) and Mold in the southern regions of Côte d'Ivoire (Assanvo *et al.*, 2002), in contrast to the central region, which often has a shorter production time (Kouassi *et al.*, 2018).

6.2.4 MICROBIOLOGICAL STARTER ISOLATION

The results obtained on artisanal characteristics serve as a microbiological reference for attiéké starter cultures. The question of selecting and producing a starter ready to be use like baker's yeast is of interest to researchers. Yao (2009) explored this idea for the production of a freeze-dried gari lactic acid bacteria starter. For the preparation of attiéké, Krabi *et al.*, (2016) isolated 11 strains of lactic acid bacteria. Of these, 3 strains (*lactobacillus plantarum* 210,140 and 19) showed satisfactory biochemical properties namely rapid acidification, α -amylase production and pH drop below 4 at a temperature of 45°C. These more active strains in fermenting starch contribute significantly to the reduction of cassava cyanide for the production of akyeke, Ghanaian attiéké (Obilie *et al.*, 2004). They are capable of inhibiting the development of pathogenic microbes (Kakou, Boli, *et al.*, 2017; Koffi *et al.*, 2004). Among 42 *Bacillus spp* strains isolated from many production, only 13 *Bacillus* strains could be used as potential microbial starters in association with lactic acid bacteria for the controlled fermentation of cassava dough (Ehon *et al.*, 2015). These bacillus strains are responsible for production of α -amylase, pectinase, and β -glucosidase improving the organoleptic quality of attiéké by softening and detoxification actions. The work made by Kakou, Olo, *et al.*, (2017) showed that *Bacillus subtilis* was the most present to produce various enzymes notably osidases, phosphatases, lipases and proteases, β -glucosidase and α -glucosidase. The optimization of α -amylase 's production searching by Bouatenin *et al.*, (2016) have permit to know importance of *Candida tropicalis* LVX8 which excretes a large amount of α -amylase (171.33 ± 3 EU/mL) in 24 hours. In addition, toxicological studies of starters and attiéké of various origins have detected only traces of Ochratoxine A, down to 0.2 mg/kg in some samples, with no powerful fungal toxins (Kastner *et al.*, 2010).

6.3 STUDY OF FERMENTED CASSAVA DOUGH

6.3.1 EFFECT OF PRESSING FERMENTED CASSAVA DOUGH

Pressing has an adverse effect on the content of cyanogenic substances. Fermented pulp undergoes pressing and loses some of its water, starch and mineral salts. This operation is generally carried out using a screw press.

Amani *et al.*, (2007) presented the effect of the pressing force of fermented cassava dough on the physico-chemical and sensory qualities of attiéké. In this study, three forces of 0.91 kN, 1.55 kN and 2.58 kN were exerted on 1100g of dough with a water content of 66% for 20 minutes. The water, starch, cyanide and total sugar contents dropped to 46%, 55.5%, 19.5%, and 1.66% respectively. The strong pressure made it possible to obtain dough with characteristics close to the standard for attiéké but is not sufficient for appreciation unlike gari whose pressing is more required. Thus at the level of attiéké, the paste is appreciated in relation to its granular character which results in semolina of average size and texture always considering a low cyanide level. Semolina with a pressing force of 0.91 kN with rough grains of sizes between 2 and 5 mm in diameter, those of 1.55 kN are characterized by granules of sizes ranging from 0.8 to 2 mm. The pressing force of 2.58 kN resulted in granulation with sizes between 0.4 and 0.8 mm. The force of 1.55 (± 0.3) was found to produce at 97% attieke with better physico-chemical qualities and hydrocyanic acid residues of 8mg/ml, lower than the FAO standard recommended to 10mg/ml. However, for the same author, the duration of pressing does not seem to affect the sensory characteristics and the physico-chemical qualities of attiéké.

The use of manual presses without estimation of force and production factors in traditional processes leads to dehydrated dough of different quality. This affects the humidity of the dough and grains, and granulation (Akely *et al.*, 2010). The experiment carried out by this author concludes that cassava paste obtained with inoculum levels of 10 to 12% over 12 to 24 hours of fermentation and at approximately 50–52% of humidity using a press pneumatic is generally favorable to good semolina. The inclination of the semolinizer of 28–31° whose axis in relation to the horizontal also seems more suitable for sizes similar to the reference. The optimal size, which results from these production factors, is estimated to be around 1.25 mm.

6.3.2 EFFECT OF TEMPERATURE

Temperature is a key factor in microbial growth. In the specific case of attiéké, the cassava dough undergoes fermentation after the incorporation of ferment (inoculum) and grinding, which contributes to mixing. This dough is exposed to the ambient air and subjected to pressing and fermentation for 12 to 15 hours (Assanvo *et al.*, 2019).

The effect of temperature on cassava dough (IAC variety) fermented with a 10% incorporated ferment was analyzed by (Amani *et al.*, 2007) under different conditions, namely at 25, 30, 35, 45°C. The results showed significant differences between the doughs according to the incubation temperatures, but above all that 35°C seems to be the temperature best suited to microbial growth. This temperature would be conducive to the production of acid, the consumption of sugars and the production of gases during fermentation.

The first analysis is the reduction of the pH to 4 and the increase of the acidity to 1% especially up to extreme temperatures. Most of the physicochemical and microbiological load peaks were observed after 12 hours and at 35°C with 7.8×10^9 cfu/g of lactic acid bacteria, a pH of 4.2, an acidity of 0.8%, a total sugar content of 0.28g/100g of fresh material, and a reducing sugar content of 0.8 mg/100g.

6.3.3 STUDY OF PRESERVATION'S FERMENTED CASSAVA DOUGH

Numerous studies have been carried out on the long-term quality of attiéké and products derived from the same process. Cassava dough from IAC variety fermented during storage was subjected to a physico-chemical study (Kakou *et al.*, 2004). The washed and unwashed pulps were reduced by pressing to the same humidity at 52% of dry matter and stored in well-closed buckets, at room temperature (30 to 31°C) under cover. The physicochemical analysis of washed and unwashed pulps made it possible to observe the same trends, namely a reduction in the cyanide content (30 to 40 mg/kg), in the pH value (3.82 to 3.9), which stabilizes from the 2nd week and a progressive rise in lactic acid levels. The microbiological analysis of the fermented dough in storage showed the variable and regularly present lactobacillus load during the 10 weeks of storage of the two doughs. This load increased from 6×10^6 germs/g to 4×10^6 for washed dough and from 3×10^6 to 2×10^6 germs/g for unwashed dough.

The aerobic mesophilic germ load initially at 5.9×10^7 germs for washed dough and at 9.6×10^7 germs for unwashed dough decreasing under 10^5 from the 4th to 5th week. However, total and thermotolerant coliforms and sulphite-reducing anaerobes disappeared from the first week. This study also revealed the disappearance of yeasts after two weeks and the absence of Staphylococci, molds and Salmonella in the dough during storage (Amajor, 2022; Kouassi *et al.*, 2022)

7 CONCLUSION

Fermented pressed cassava dough, an intermediate of attiéké, was evaluated with a view of researching the characteristics of attiéké. It is therefore obvious that the quality of the fermented dough influences that of the attiéké, the scale of which has given rise to standards. The present standard on attiéké is an objective achievement in terms of quality control, covering various granulometric, biochemical and microbiological aspects. Fermented cassava dough also deserves special attention in order to achieve quality attiéké and reduce post-harvest losses. Studies carried out on the operational environments of producers or in experimentation constitute a source of interest for the knowledge of data on fermented cassava dough.

REFERENCES

- [1] Aboua, F., Kossa, A., Konan, K., Mosso, K., Angbo, S. & Kamenan, A. (1990). Évolution de quelques constituants du manioc au cours de la préparation de l'attiéké. In *La post-récolte en Afrique. Acte du Séminaire International* (pp. 217–221). Montmagny QC Marquis Publishers.
- [2] Agence Nationale d'Appui au Développement Rural. (2017). *Fiche technico-économique du Manioc*. Agence Nationale d'Appui Au Développement Rural.
- [3] Akely, P. M. T., Azouma, Y. O. & Amani, N. G. (2010). Mechanical pressing and semolina preparation from fermented cassava paste during « attiéké » (yuca flour) processing. *Journal of Food Engineering*, 101 (4), 343–348. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.07.011>
- [4] Akmel, D. C., Aw, S., Montet, D., Assidjo, N., Degni, M. L., Akaki, D., Moretti, C., Elleingand, E., Brabet, C., Baud, G., Mens, F., Yao, B., Michel, T., Durand, N., Assin, H., Berthiot, L. & Tapé, T. (2017). Quantitative assessment of the microbiological risk associated with the consumption of attiéké in Côte d'Ivoire. *Food Control*, 81 (November), 65–73.
- [5] Amajor, J. U. (2022). Effect of Fermentation on the Chemical and Microbial Load of Cassava Mash. *Nigerian Agricultural Journal*, 53 (1), 291–296.
- [6] Amani, G., Nindjin, C., N'Zué, B., Tschannen, A. & Aka, D. (2007). Potentialités à la transformation du manioc (*Manihot esculenta* Crantz) en Afrique de l'Ouest. *Actes Du 1er Atelier International*, 358.
- [7] Anoman, A. T., Koussémon, M., Ignace, K. & Assi, Y. A. K. E. (2018). Qualité microbiologique du garba, un aliment de rue de Côte d'Ivoire Microbiological quality of garba, a street food from Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 12 (October), 2258–2265. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v12i5.26>.

- [8] Assanvo, J. B., Agbo, G. N., Behi, Y. E. N., Coulin, P. & Farah, Z. (2002). La microflore du ferment de manioc pour la production de l'attiéké adjoukrou à Dabou (Côte d'Ivoire). *Rev. Inter. Sci. de La Vie et de La Terre, N° spécial*, 286–299.
- [9] Assanvo, J. B., Agbo, G. N., Behi, Y. E. N., Coulin, P. & Farah, Z. (2006). Microflora of traditional starter made from cassava for '«attiéké»' production in Dabou (Côte d'Ivoire). *Food Control*, 17, 37–41. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2004.08.006>
- [10] Assanvo, J. B., Agbo, G. N., Coulin, P., Heuberger, C. & Farah, Z. (2019). Etude comparée de 3 attiéké traditionnels et d'un attiéké commercial (Garba): Enquêtes sur les méthodes de production et caractéristiques physicochimiques du ferment de manioc et des différents produits finis. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 26 (4), 1108–1133. www.ijias.issr-journals.org
- [11] Assielou, B., Binaté, S., Digbeu, Y. D., Kouadio, J. P. E. N. & Dué, E. A. (2018). Cassava 's Size and Methods of Preparation of Ferments for The Production of Attiéké in The South of Côte d ' Ivoire. *Haya : The Saudi Journal of Life Sciences*, 3 (6), 502–510. <https://doi.org/10.21276/haya.2018.3.6.9>
- [12] Barussaud, S. & Kouassi, A. (2019). Emploi et Revenu dans la Chaîne de Valeur du Manioc en Côte d ' Ivoire. 9.
- [13] Boli, Z. B. I. A., Bouatenin, K.-P. M., Alfred, K. K., Coulibaly, H. W., Kakou, A., Koffi-Nevry, R. & Dje Koffi, M. (2020). Technical Sheet of the Preparation of Traditional Cassava Starters Used for Attieke Production in Côte d'Ivoire. *Biotechnology Journal International*, 24 (4), 11–20. <https://doi.org/10.9734/bji/2020/v24i430108>.
- [14] Bouatenin, J. K. M., Kouame, A. K., Zamblé, A., Irié, B., Djeni, T. N., Menan, H. E. & Dje, M. K. (2017). Technical sheet of the influence of grinding technical on some biochemical characteristics of the fermented cassava dough for the production of Attieke. *Agricultural Science Research Journal*, 7, 247–251.
- [15] Bouatenin, K. M. J.-P., Djéni, N. T., Kakou, A. C., Menan, E. H. & Dje, K. M. (2016). Optimisation de la production de l' α-amylase par les microorganismes isolés des ferments traditionnels de manioc provenant de trois zones de production de l'attiéké en Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal, ESJ*, 12 (9), 259. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n9p259>.
- [16] Brauman, A., Kéléké, S., Mavoungou, O., Ampe, F. & Miambi, E. (1995). Étude cinétique du rouissage traditionnel des racines de manioc en Afrique centrale (Congo). *Transformation Alimentaire Du Manioc, iii*, 288–305.
- [17] Carter, S. E., Fresco, L. O., Jones, P. G. & Fairbairn, J. N. (1994). Introduction et diffusion du manioc en Afrique Introduction et diffusion du manioc en Afrique. In *Guide de recherche de l' Institut international d'agriculture tropicale* (Vol. 49).
- [18] Commission régulation (eu) 2022/1364, 2022. (2022). Amending Regulation (EC) No 1881/2006 as regards maximum levels of hydrocyanic acid in certain foodstuffs. *Official Journal of the European Union*, 17 (1881), 2022–2024.
- [19] Coulin, P., Farah, Z., Assanvo, J., Spillmann, H. & Puhan, Z. (2006). Characterisation of the microflora of attiéké, a fermented cassava product, during traditional small-scale preparation. *International Journal of Food Microbiology*, 106 (2). <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2005.06.012>
- [20] Delange, F. & Ahluwalia, R. (1985). *La toxicité du manioc et la thyroïde recherches et questions de santé publique*. Centre de recherches pour le développement international.
- [21] Diarrassouba, D. (2018). Histoire et techniques des cultures du vivrier en Côte d'Ivoire, de la transformation à la commercialisation: le cas du manioc de 1960 à 2000. Université Alassane Ouattara.
- [22] Diop, A. (1992). L'attiéké dans la région d'Abidjan: Analyse économique de la filière traditionnelle à travers quelques type d'organisation (adjoukrou, ébrié, attié). Thèse de Doctorat 3ième cycle, Université Nationale de Côte d'Ivoire.
- [23] Djeni, N. T., N'Guessan, K. F., Toka, D. M., Kouame, K. A. & Dje, K. M. (2011). Quality of attieke (a fermented cassava product) from the three main processing zones in Côte d ' Ivoire. *Food Research International*, 44 (1), 410–416. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.09.032>
- [24] Egbe, T. A., Brauman, A., Griffon, D. & Treche, S. (1995). *Transformation alimentaire du manioc* (ORSTOM).
- [25] Egnankou, A. P. (2020). L ' attiéké, un patrimoine alimentaire en devenir : entre quête identitaire et désir de conquête des marchés internationaux. 7 (3), 381–403.
- [26] Ehon, A. F., Krabi, R. E., Assamoi, A. A. & Niamke, S. L. (2015). Preliminary Technological Properties Assessment of Bacillus Spp. Isolated From Traditional Cassava Starters Used for Attieke Production. *European Scientific Journal March*, 11 (9), 177–187.
- [27] FAO. 2021. World Food and Agriculture - Statistical Yearbook 2021. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb4477en>.
- [28] FAO/OMS. (2019). *Projet de norme sur les préparations cuites à base de manioc ferment*. Commission Du Codex Alimentarius. www.codexalimentarius.org
- [29] Favier, J. C. (1977). Valeur alimentaire de deux aliments de base africains: le manioc et le sorgho.
- [30] FIRCA, 2018. VISION 2015-2020, moteur de financement pérenne et innovant pour le développement d'une agriculture durable et compétitive. FIRCA - RAPPORT ANNUEL 2018, 10-61.
- [31] Fomunyan, R. T., Adegbola, A. A. & Oke, O. L. (1985). The stability of cyanohydrins. *Food Chemistry*, 17 (3), 221–225.
- [32] Gnabro, G. O. (2018). Aperçu Historique des Techniques de Conservation et de Transformation des Racines Tubéreuses en Côte d ' ivoire : Cas du Manioc. 56 (4), 467–482.

- [33] Grandval, F. (2012). L'essor des produits dérivés du manioc en Afrique de l'Ouest. *Grain de Sel*, 58, 29–30.
- [34] Guira, F. (2013). Evaluation des valeurs nutritive et sanitaire d'attiéké issu de différentes pâtes de manioc importées ou produites localement à partir de différents ferments. Diplôme d'études approfondies, Université de Ouagadougou.
- [35] Kakou, A. C., Boli, Z. B. A. I., Koffi, N. R., Ollo, K. & Koussemon, M. (2017). Cinétique De Fermentation De Trois Methodes De Production De Ferments De Racines De Manioc. *European Scientific Journal*, 13 (33), 473–487. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n33p473>.
- [36] Kakou, A. C., Kouamé, A. F., Guina, G., Dosso, M. & Kamenan, A. (2004). Etude microbiologique de la pâte de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) au cours de sa conservation. *Revue de Microbiologie et d'hygiène Alimentaire*, 16 (46), 63–68.
- [37] Kakou, A. C., Ollo, K., Zamble, B. B. A., Yoro, T. D., Koffi, N. R. & Koussemon, M. (2017). Diversity and enzymatic characterization of *Bacillus* species isolated from traditional cassava starters used for attiéké production. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 11 (2), 531–540.
- [38] Kastner, S., Kandler, H., Hotz, K., Bleisch, M., Lacroix, C. & Meile, L. (2010). Screening for mycotoxins in the inoculum used for production of attié a traditional Ivorian cassava product. *LWT - Food Science and Technology*, 43 (7), 1160–1163. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.01.023>
- [39] Koffi, L. B., Djedji, C. E. & Kamenan, A. (2004). Taux irréductible d'acide cyanhydrique et qualité microbiologique de l'attiéké produit dans la région d'Abidjan. *Agronomie Africaine*, 16 (3), 11–19.
- [40] Koko, C. A., Kouame, B. K., Assidjo, E. & Amani, G. (2014). Characterization and utilization of fermented cassava flour in breadmaking and placali preparation. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 8 (6), 2478–2493. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v8i6.11>.
- [41] Kouakou, J., Nanga Nanga, S., Plagne-Ismail, C., Pali, A. M. & Ognakossan, E. K. (2015). Production et transformation du manioc. *Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale.*, 40.
- [42] Kouamé, A. K., Bouatenin, K. M. J., Boli, Z. A., Djeni, N. & Koffi, D. M. (2017). Technical Sheet of Process of Attiekie Production in Cote Divoire. *Journal of Food and Dairy Technology*, 5 (4), 1–6.
- [43] Kouassi, K. B., Kouassi, K. N., Nindjin, C. & Amani, N. G. (2018). Physicochemical and microbiological characteristics of cassava starters used for the production of the main types of attiéké in Côte d'Ivoire. *International Journal of Nutritional Science and Food Technology*, 4 (8), 54–59.
- [44] Kouassi, K. B., Nindjin, C., Kouassi, K. N. & N'Guessan, G. A. (2022). Specific qualities of pressed fermented cassava doughs used for attiéké production based on their geographical origin in Côte d'Ivoire. *International Journal of Food Properties*, 25 (1), 2617–2626. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2148166>.
- [45] Kpata-konan, N. E., Yao, B. N., Coulibaly, J. K. & Konaté, I. (2020). Microbiological Quality of Attiéké (Steamed Cassava Semolina) Sold in Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biotechnology*, 8 (2), 14–25. <https://doi.org/10.5296/jab.v8i2.17169>.
- [46] Krabi, E. R., Assamoi, A. A., Ehon, A. F., Amani, N. G., Niamke, L. S., Cnockaert, M., Aerts, M. & Vandamme, P. (2016). Biochemical properties of three lactic acid bacteria strains isolated from traditional cassava starters used for attiékie preparation. *African Journal of Food Science*, 10 (11), 271–277. <https://doi.org/10.5897/ajfs2016.1430>.
- [47] Krabi, E. R., Assamoi, A. A., Ehon, A. F., Bréhima, D., Niamké, L. S. & Thonart, P. (2015). Production d'attiéké (couscous à base de manioc fermenté) dans la ville d'Abidjan. *European Scientific Journal*, 11 (15), 277–292.
- [48] Mante, E. S., Sakyi-Dawson, E. & Amoa-Awua, W. K. (2003). Antimicrobial interactions of microbial species involved in the fermentation of cassava dough into agbelima with particular reference to the inhibitory effect of lactic acid bacteria on enteric pathogens. *International Journal of Food Microbiology*, 89 (1), 41–50. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(03\)00103-X](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(03)00103-X).
- [49] Mémento de l'agronome. (2006). Le manioc. In *CIRAD* (pp. 843–846).
- [50] Mendez del Villar, P., Tran, T., Adayé, A., Bancal, V. & Allagba, K. (2017). Analyse de la chaîne de valeur du manioc en Côte d'Ivoire. In *Rapport final pour l'Union Européenne*.
- [51] N'Dédé, D. T., Kouadio, F. N., Adjéhi, D. T. & Koffi, D. M. (2008). Impact of Different Levels of a Traditional Starter on the Fermentation of Cassava Dough for Attiéké Production. *Global Science Books*, 7.
- [52] Nago, C. M. (1995). La préparation artisanale du gari au Bénin : Aspects technologiques et physico-chimiques. *Transformation Alimentaire Du Manioc*.
- [53] Nimaga, D., Tetchi, A. F., Kakou, A. C., Nindjin, C. & Amani, G. N. (2012). Influence of traditional inoculum and fermentation time on the organoleptic quality of «attiéké.» *Food and Nutrition Sciences*, 03 (10), 1335–1339. <https://doi.org/10.4236/fns.2012.310176>.
- [54] Obilie, E. M., Tano-Debrah, K. & Amoa-Awua, W. K. (2004). Souring and breakdown of cyanogenic glucosides during the processing of cassava into akyeke. *International Journal of Food Microbiology*, 93 (1). <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2003.11.006>
- [55] Perrier, E. & Garnier, B. (2019). Résumé de l'étude de la filière Attiéké en Cote d'Ivoire, production, transformation, marché. Nitidae: Filières et Territoires.

- [56] Perrin, A., Ricau, P. & Rabany, C. (2015). Etude de la filière manioc en Côte d'Ivoire-Projet « Promotion et commercialisation de la Banane Plantain et du Manioc en Côte d'Ivoire ». Rongead.
- [57] Raimbault, M., Treche, S., Brauman, A., Giraud, E. & Jory, M. (1990). Amélioration des mécanismes de détoxification du manioc lors des phases de fermentation. In *ORSTM (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer)*.
- [58] Sotomey, M., Ategbo, E.-A. D., Mitchikpe, E. C., Gutierrez, M.-L. & Nago, M. C. (2001). L'attiéké au Bénin. *Innovations et Diffusion de Produits Alimentaires*, 97.
- [59] Tetchi, F. A., Solomen, O. W., Kakou, A. C. & Amani, G. N. (2012). Effect of cassava variety and fermentation time on biochemical and microbiological characteristics of raw artisanal starter for attiéké production. *Innovative Romanian Food Biotechnology*, 10 (2006), 40–47.
- [60] Toka, M. D., Bouatenin, J. K. M., Kouamé, A. K. & Djè, M. K. (2018). Dynamique des Bactéries Lactiques des ferments traditionnels de manioc (*Manihot esculenta*, Crantz) destinés à la production de l'attiéké Adjoukrou, Ahizi et Ebrié, en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 125, 12531–12541. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.4314/jab.v125i1.3>.
- [61] Vernier, P., N'Zué, B. & Zakhia-Rozis, N. (2018). Le manioc, entre culture alimentaire et filière agro-industrielle. In *Agricultures tropicales en poche* (Quæ, CTA, p. 209).
- [62] White, W. L. B., McMahon, J. M. & Sayre, R. T. (1994). Regulation of Cyanogenesis in Cassava. *Acta Horticulturae*, 375, 69–78. <https://doi.org/10.17660/actahortic.1994.375.4>.
- [63] Yao, AK, Koffi, D., Blei, S., Irie, Z. & Niamke, S. (2015). Propriétés biochimiques et organoleptiques de trois mets traditionnels ivoiriens (*attiéké, placali, attoukpou*) à base de granulés de manioc natifs. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9 (3), 1341. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i3.19>.
- [64] Yao, Amenan. (2009). La fermentation du manioc en gari dans l'Afrique de l'Ouest : production d'un starter de bactéries lactiques lyophilisées. Université de Liège, Belgique.
- [65] Yéboué, K. H., Amoikon, K. E., Kouamé, K. G. & Kati-Coulibaly, S. (2017). Valeur nutritive et propriétés organoleptiques de l'attiéké, de l'attoukpou et du placali, trois mets à base de manioc, couramment consommés en Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 113 (1), 11184–11191. <https://doi.org/10.4314/jab.v113i1.7>.
- [66] Yobouet, B. A., Dadié, A., Traoré, S. G., Djè, K. M. & Bonfoh, B. (2016). Contamination par *Bacillus cereus* de l'attiéké produit dans le secteur informel au sud de la Côte d'Ivoire et gestion du risque par le réchauffage hydrothermique. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 15 (3), 637–654.
- [67] Zoumenou, V., Aboua, F., Gnakri, D. & Kamenan, A. (1998). Etude des caractéristiques physico-chimiques de certains plats traditionnels dérivés du manioc (foutou, placali et kokondé). *Tropicultura*, 3 (16–17), 120–126.

Vulnérabilité urbaine sous l'angle de la gestion des ressources hydriques et vivrières: Application des quartiers précaires de la Ville de Lubumbashi, RD Congo

[Urban vulnerability from the point of view of water and food resource management: Application of the precarious neighbourhoods of the City of Lubumbashi, DR Congo]

Balloy Mwanza Perry¹, Katenda Kankokwe Cathy², and Philippe Hanocq³

¹Professeur au département de Génie Civil, Ecole Supérieure des Ingénieurs Industriels, Lubumbashi, RD Congo

²Professeure au département de Psychologie du Travail, Faculté de Psychologie et de Sciences de l'Education, Lubumbashi, RD Congo

³Professeur émérite au département d'Architecture et d'Urbanisme à l'Université de Liège, Belgium

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

ABSTRACT: The strong demographic pressure on urban-rural environments in the cities of developing countries is very significant, making their evolution difficult to predict and plan. It is accompanied by serious problems in these areas that migrants do not have the means to address. These include: increasing unemployment, growing insecurity, land tenure, the proliferation of shanty towns, growing impoverishment, lack of urban amenities and services and insufficient housing. Furthermore, the remarkable fact of the recent history of the city of Lubumbashi is the proliferation of spontaneous neighborhoods and spaces of illegal and irregular occupation.

This proliferation of precarious housing is the consequence of the lack of response from the State and the formal sector to the needs of the population in general, especially city dwellers and new city dwellers who navigate between the city and the countryside at will. economic and food crises.

KEYWORDS: precarious housing, spontaneous neighborhood, slums, water and market gardening crisis, absence of equipment.

RESUME: La forte pression démographique sur les milieux urbano-ruraux dans les villes des pays en développement est très importante, rendant leur évolution difficile à prévoir et à planifier. Elle s'accompagne de graves problèmes sur ces espaces que les migrants n'ont pas les moyens de relever. Il s'agit notamment: de l'accroissement du chômage, de l'insécurité grandissante, la tenure foncière, la prolifération des bidonvilles, la paupérisation croissante, du manque d'équipements et services urbains et de l'insuffisance de logements.

Par ailleurs, le fait remarquable de l'histoire récente de la ville de Lubumbashi est la prolifération des quartiers spontanés et des espaces d'occupation illégale et irrégulière.

Cette prolifération de l'habitat précaire est la conséquence de l'absence de réponse de l'Etat et du secteur formel aux besoins de la population en général, surtout des citoyens et des néo-citoyens qui naviguent entre la ville et la campagne au gré des crises économiques et alimentaires.

MOTS-CLEFS: habitat précaire, quartier spontané, bidonvilles, crise de l'eau et maraîchères, absence d'équipements.

1 INTRODUCTION

Dans un contexte mondial d'urbanisation, les zones d'habitat précaire constituent un défi majeur pour les villes Subsahariennes. Cette extension des taudis et /ou bidonvilles est particulièrement plus inquiétante pour les villes du Sud.

L'Afrique est actuellement confrontée à une démographie urbaine qui grandit à un rythme toujours plus rapide que jamais. Les villes des pays en développement connaissent aussi cette explosion démographique sans avoir une croissance économique adéquate d'une part, et d'autre part, elles sont confrontées à une vague sans précédent de migration rurale-urbaine. Par manque d'une bonne planification urbaine, la plupart de ces migrants aboutissent généralement dans des bidonvilles, construits illégalement, par les résidents eux – mêmes.

C'est un défi majeur comme l'avait déclaré Joan Clos, Directeur Exécutif du Programme des Nations Unies pour les Etablissements Humains, constatant qu'il est impératif d'améliorer les conditions de vie des habitants des bidonvilles tout en prévenant la formation de ce type d'habitat, et qu'il est tout aussi impératif d'améliorer l'aménagement urbain, en facilitant l'accès aux services de base (eau, électricité), au foncier ainsi que de développer des villes offrant toutes les fonctionnalités (industrie, agriculture et artisanat...) et de freiner l'exode rural des personnes à la recherche d'un emploi.

Aujourd'hui, les grandes villes africaines avec une croissance urbaine continue connaissent, une hausse moyenne de 4% par an, résultant d'une natalité croissante et de l'exode rural. Il y a et il y aura de plus en plus de monde dans les villes africaines mais celles-ci ne sont pas préparées à faire face à cette tendance. Les habitats salubres sont en nombre insuffisant, les services publics (transport, éducation, santé, etc.) également font souvent défaut. Dans ces conditions, croissance démographique rime avec accentuation de la pauvreté ou encore risque d'explosion sociale. L'aspect le plus visible de cette décomposition urbaine, c'est l'habitat précaire (spontané) tentaculaire à la périphérie et parfois au cœur des grandes cités du continent [1].

Ainsi, la croissance urbaine dans les quartiers informels de Lubumbashi comme dans le reste des villes congolaises, continuera d'être une préoccupation importante de la part des décideurs, des acteurs, des chercheurs et de tous ceux qui réfléchissent sur l'espace, en raison du niveau qu'elle atteint, mais surtout de la configuration spatiale qu'elle induit. L'occupation de l'espace par la population maintiendra une réalité contraste, d'une part, des néo-citadins qui continuent d'abriter une part importante de la population et, d'autre part, une urbanisation qui subit le poids des grands centres urbains.

Face à cette urbanisation accélérée et incontrôlée les quartiers de la ville de Lubumbashi ont subi de nouvelles formes d'extensions volontaristes telles que les bidonvilles et l'habitat précaire, empiétant les marges de la ville et formant ainsi des périphéries urbaines faites des taudis.

L'essor de l'urbanisation dans les pays du Sud s'explique par une très forte croissance de la population depuis les années 50. Ce dynamisme démographique qui va, selon les démographes, se poursuivre, se répercute en ville. Les villes des pays du Sud croissent donc largement de manière naturelle, c'est-à-dire par la différence entre les naissances et les décès. L'exode rural, très fort dans le monde en développement, contribue également à accélérer la croissance urbaine [2].

Mais près de deux tiers de ces urbains vivent en réalité dans des bidonvilles qui s'étendent démesurément grignotant les campagnes. L'Afrique est aussi devenue une immense banlieue, à deux échelles différentes: banlieue du monde, tenue à l'esprit par des politiques migratoires restrictives des principaux centres de la mondialisation, banlieue périurbaine du continent où la ville croît de façon anarchique et violente, malgré la résilience de ses habitants [3].

Le développement de l'habitat précaire constitue donc, un élément important dans le cadre de la politique publique du développement de tels habitats. Il faudra dorénavant faire émerger et accompagner des projets urbains dans des municipalités urbano-rurales des quartiers informels illégaux. Cela nécessitera certes de mobiliser des compétences individuelles et collectives qui interagissent dans le système du développement territorial.

La réalisation de cette étude aura pour objectif de fournir les mécanismes de production de logements décents et abordables, de faciliter l'accès aux terres et aux infrastructures, de constituer des services essentiels de base tout en exigeant la mise en place des moyens à caractère durable, permettant d'entreprendre des actions qui s'inscrivent dans la durée.

A ce titre, le maintien et la mise en place de systèmes de financement pérennes et de programmes publics de développement social revêtent une grande importance, souvent sous-estimée par les pouvoirs publics. De même, la reconnaissance de l'apport indispensable des acteurs non institutionnels capables de prendre en charge, de façon autonome moyennant un soutien public conséquent, les opérations de développement et de gestion à long terme de logements abordables s'avère important.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 ZONE D'ÉTUDE

La commune Annexe est une commune essentiellement rurale de la ville de Lubumbashi en République démocratique du Congo. Elle entoure entièrement les autres communes du centre urbain de la ville. Elle fut créée en 1957 pour répondre à l'urbanisation croissante de Lubumbashi.

Situé à 1230 m d'altitude, la ville de Lubumbashi s'étend sur une superficie de 747 km². Elle est constituée d'un plateau légèrement vallonné et limitée par latitude 11° 40' 40" Sud, longitude 27° 24' 14" Est.

Elle comporte les quartiers ci-après: Kalebuka, Kasapa, Kasungami, Kimbeimbe, Kisanga, Luwuwoshi, Munua, Naviundu, Kamasaka, Kamisepe, Kamatete et Kasangiri. Ses coordonnées géographiques se présentent de la manière suivante: latitude 11° 40' 40" Sud, longitude 27° 24' 14" Est



Fig. 1. Cette figure montre la cartographie de la commune Annexe

2.2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

Cette recherche a constitué un défi sur un plan autre que théorique: méthodologique. Pour aboutir aux résultats escomptés, nous avons utilisé la méthodologie suivante:

- Documents issus de différentes communes;
- Documents bibliographiques d'urbanisme;
- Articles et ouvrages;
- Procéder à une analyse succincte des données.

Pour tenter d'apporter une réponse à cette problématique qu'est l'habitat précaire, les méthodes d'enquête et d'analyse des formes de bâti ont été privilégiées, nous croyons qu'elles sont les mieux appropriées à cette étude. Nous nous sommes appuyés sur les observations directes consistant en l'observation visuelle sur le terrain des différentes morphologies des maisons, du cadre du bâti et des conséquences liées à la mauvaise gestion des ressources en eau et vivriers.

Cette activité nous a permis de relever les comportements à risque qui concourent à la détérioration des ressources en eau et des cultures maraîchères. Les entretiens semi structurés ont été largement utilisés par le biais des fiches d'enquête et du guide d'entretien auprès des ménages, des acteurs institutionnels et non institutionnels impliqués dans l'organisation de cet espace. La méthode mise en œuvre a reposé également sur la recherche sur Internet pour savoir comment les autres chercheurs ont abordé la question sur l'habitat précaire. Enfin, le traitement de ces informations recueillies a été réalisé par les logiciels ArcGis, Google earth et les cartes photographiques.

2.3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

2.3.1 PRECARITE DE L'HABITAT EN MILIEU URBANO-RURAL: SOLUTIONS APPROPRIÉES AUX REALITES ET CONTRAINTES COMPLEXES

Le niveau de vie des migrants dans les quartiers périphériques est notable. Parallèlement à la diversité du climat dans le Haut Katanga, notons la diversité dans la vie quotidienne des habitants. Certes, la situation du logement dans les quartiers précaires est un problème important et de toute actualité. L'oubli quasi systématique en milieu urbano-rural est notamment dû au fait que l'habitat en « dur » et « définitif » sert de référence pour désigner un habitat « décent ». Cette logique conduit aux distorsions dans l'analyse de la situation réelle du quartier.

2.3.2 MILIEU URBANO-RURAL DES QUARTIERS PRECAIRES: CADRE BATI

Dans ce milieu déshérité, l'habitat est soit isolé, soit groupé, selon que l'on est en zone périurbaine, agriculteur, pêcheur ou éleveur. Les cultivateurs sédentaires de quartiers urbano-rural vivent en majorité en groupement comme au village. Ce type d'habitants reste attaché aux coutumes ancestrales. Ce fait se révèle davantage dans le mode de vie (les habitudes alimentaires et le système socio-économique). L'évolution du bâti s'est faite selon plusieurs formules en fonction de la taille et forme de la parcelle. Les maisons construites en bonne partie en briques adobes, armées de terre argileuse ou boueuse aux abords de grands axes routiers ou à proximité d'un point d'eau. La toiture est en paille (chaume) ou en tôles généralement de fortune. Certaines maisons peuvent avoir en moyenne 30 m² à 100 m² de surface et 1,5 à 2 m de haut. Les fenêtres sont très petites d'environ 90 cm.



Fig. 2. Cette photo montre une maison en brique adobe sur la voie principale

La vie familiale se déroule dans la maison paternelle. Les enfants âgés ont leur maisonnette à côté de celle des parents. L'équipement familial se résume en quelques habits, des ustensiles en argile (ou en aluminium) et un lit en bambou ou simplement une couverture que l'on dépose à même le sol lequel est non revêtu. L'éclairage se fait à l'aide d'une mèche dans l'huile de palme, d'une lampe à pétrole ou d'une bougie.

Les habitations sont construites à proximité d'une source, d'un cours d'eau, le long des voies principales d'accès. La maison type comprend deux pièces. Les habitations les plus pauvres sont construites en pisé, les moyennes en briques adobes et couvertes de chaume ou de tôles. Le sol peut être couvert de ciment ou simplement en terre battue. Ainsi, les toits sont en « tuile » de palmier-raphia. Tous ces matériaux sont très vulnérables aux intempéries, à l'attaque des termites, et doivent être renouvelés régulièrement. Cependant, ils ont l'avantage d'être « écologiques », produits sur place et de garantir une certaine fraîcheur à l'intérieur des habitations.

Les belles maisons sont en briques cuites, recouvertes d'un toit en tôles ondulées. D'une manière générale, la forme de parcelle la plus répandue est la forme rectangulaire, les logements sont disposés autour d'un couloir central souvent encombré (puits, fosse, des ordures...). Le logement est généralement bas et la cour est en terre battue. Les murs peuvent être édifiés en dur (en parpaing ou en briques). Il n'existe aucun aménagement autour du point d'eau, les WC sont constitués d'un simple trou et s'évacuent vers une fosse toujours en débordement sur la rue, surtout pendant la saison de pluie.

La forte densité de la population dans cette zone d'habitat précaire tiendrait à la possibilité d'approvisionnement en eau, à la fertilité du sol et aux possibilités favorables d'élever des volailles.

La Commune Annexe possède des quartiers de contrastes très frappants en ce qui concerne l'habitat. Nous trouvons généralement ce genre d'habitation précaire s'adossant à des logements en dur et cela montre sa particularité du quartier précaire. Ces contrastes sont le résultat d'une croissance rapide et incontrôlée de la population. Ce quartier n'a pas su ou n'a pas pu mobiliser les moyens importants pour accueillir les migrants dont les arrivées massives sont venues aggraver les difficultés de gestion urbaine. L'absence d'une politique de planification et gestion urbaine de la croissance et des services d'aménagement urbain a favorisé la diffusion de l'occupation spontanée et de l'habitat précaire.

2.3.3 LA QUESTION DE L'ASSAINISSEMENT: COMPORTEMENTS ET PRATIQUES DES MENAGES DANS LES QUARTIERS PRECAIRES

La Commune Annexe concentre de plus en plus d'activités humaines de toute nature, or, celles-ci, on le sait, génère des ordures ménagères et d'évacuations des eaux usées difficiles. La question des déchets a connu au cours de ces dernières années une complication avec la croissance accélérée des villes. La diversité des quartiers spontanés et la place de l'informel accentuent davantage la dégradation de l'environnement et des infrastructures urbaines. La qualité de vie des populations de ce quartier pauvre est largement en dessous des règles élémentaires d'assainissement, d'hygiène et de santé publique.

Cependant, dans les quartiers périphériques de la Commune Annexe, le tissu urbanistique est complétement dégradé du fait de la croissance effrénée de la population et malgré l'accroissement du nombre d'habitants desservis. Le nombre de personnes n'ayant pas accès à l'eau potable est très important d'autant plus que les quartiers n'ont jamais bénéficié d'un réseau de distribution depuis toujours. Il y a encore plus de 400 millions de personnes qui n'ont pas accès à l'eau potable en Afrique Subsaharienne et 26,9 % environ des populations en RD Congo ont accès à une eau potable salubre, une estimation bien en dessous de la moyenne de 60 % pour l'ensemble de l'Afrique Subsaharienne [4] et 350 millions qui ne disposent pas d'installations d'assainissement [5]. Des millions de personnes sont donc laissés pour compte.

Dans les quartiers précaires de la Commune Annexe, les routes défoncées et non revêtues se transforment en une chaussée boueuse semée de poudrières à la tombée de la première pluie.

L'eau stagne et ruisselle avec une forte vitesse provoquant une prolifération de mouches et de moustiques. En saison des pluies, certaines de ces habitations sont souvent inondées et parfois s'écroulent. Les systèmes d'évacuation d'eau usée sont inexistant – dans les parcelles, on est gêné par les flaques d'eau qui stagnent, à un degré moindre par le sol transformé en bourbier. Il y a absence totale de drainage et du réseau d'égouts avec comme conséquence les précipitations qui font déborder les fosses. Les cours d'eau, lessivent les nombreuses ordures ménagères abandonnées le long de la route par des habitants qui font obstruction à l'évacuation des eaux de ruissellement. Il n'existe pas non plus un système de collecte des déchets solides ni de bac à ordures.

L'hygiène est réduite à sa plus simple expression. Par exemple, l'évacuation des déchets humains est l'un des problèmes d'hygiène générale que connaît presque l'ensemble du quartier. Il est dû essentiellement à l'absence de latrines modernes ou des fosses bétonnées. Les conséquences en sont graves. Cependant, dans le meilleur des cas, certaines personnes creusent des fosses d'environ 1,50 m de profondeur et 1m de diamètre, et placent dessus quelques morceaux de bois.

Bien souvent, ces pseudo-toilettes sont en plein air, plus ou moins éloignées des habitations; certaines sont protégées parfois des troncs ou des « tôles »; et d'autres évacuent leurs déchets par des moyens de fortune: trou creusé dans le jardin qui est renouvelé à chaque fois qu'il est plein, incinération des matériaux combustibles, stockage dans un coin de la parcelle, déversement le long de la chaussée. En outre, la quasi absence de collecte des ordures ménagères dans ces quartiers amènent chacun à ressentir une charge de responsabilité dans la dégradation de l'environnement à laquelle il participe lui-même. Les autorités municipales assistent impuissants, devant ce mode de gestion rurale des déchets par les habitants.

2.3.4 RESSOURCE EN EAU

La rapidité et l'ampleur de la poussée démographique et ses répercussions spatiales n'ont permis à l'Etat de doter ces quartiers pauvres de l'ensemble des équipements urbains de base à la vie quotidienne des citoyens. Cette situation de pénurie en eau devient d'autant plus difficile et compliquée que les populations urbaines augmentent rapidement. L'eau devient donc l'objet de nombreuses convoitises et tensions entre milieux urbains et ruraux. Cette carence est particulièrement inquiétante dans plusieurs ménages et met en danger la santé de milliers des personnes. L'analyse des nouvelles ressources en eau à exploiter pour desservir les quartiers périphériques d'extension de la ville (Commune Annexe), y compris la protection de captages ne s'est pas encore réalisée. Avec le développement des activités minières, industrielles et agro-alimentaires et sans omettre l'importance des décharges d'ordures ménagères, il y a risque certain de pollution des ressources en eau actuelles et

futures à capter dans la ville de Lubumbashi. Les problèmes posés par l'eau sont très alarmants, tant sur le plan de sa fourniture que celui de sa distribution.

2.3.5 FAIBLE MOBILISATION D'EQUIPEMENTS TECHNIQUES ET SANITAIRES

Cette question de l'eau constitue un problème majeur pour les populations des villes africaines, et de Lubumbashi en particulier. Cette étude concerne donc l'exploitation des ressources hydriques et l'impact de celles-ci d'une (non) maîtrise de l'urbanisation spontanée. L'accès à l'eau potable dans les quartiers périphériques est inexistant en termes de qualité de l'eau consommée, et notamment le risque de pollution des contenants de stockage domestique, ainsi que les quantités utilisées pour chaque usage, et plus spécifiquement les usages liés à l'hygiène des mains.

Cependant, la demande en eau potable augmente avec la croissance de la population et à la pollution due activités anthropiques. Cette pollution est aggravée par la presque inexistence de réseau d'assainissement. Jusqu'à présent, le réseau d'alimentation en eau potable de la ville de Lubumbashi est alimenté en périphérie généralement à partir des eaux de source, les bornes fontaines et par quelques forages à faible débit et les puits non aménagés.

Il est à noter qu'au niveau de ces bornes fontaines, l'eau se vend à 0,005 usd pour 20 litres, l'attroupelement est considérable: il faut attendre pendant plusieurs heures en période d'affluence pour avoir un bidon d'eau. Tout cela permet d'utiliser le bidon d'eau qui est devenu est l'un des principaux facteurs de longues files d'attentes et de stockage d'eau entraînant beaucoup des femmes à s'approvisionner dans les rivières et sources d'eau fortement polluées.

En effet, cette activité occupe un nombre important de jeunes filles et femmes, et constitue une pratique très courante d'approvisionnement en eau potable. Les ONG qui l'ont placée encouragent la population bénéficiaire pour son entretien et à faire payer la consommation d'eau par les usagers au prix relativement réduit.

Comme les bornes fontaines sont en nombre insignifiant, la grande majorité des ménages est obligée d'utiliser l'eau de puits non aménagés, des sources, voire des forages. Or, l'eau de puits est fréquemment contaminée. Les puits sont creusés à la main dans les parcelles familiales. Ils ne sont pratiquement jamais cimentés, on s'efforce d'en armer la partie supérieure avec un ou deux fûts de tôles rouillés. Ils sont ouverts à toutes les infiltrations, et notamment à celles qui proviennent des toilettes jamais très éloignées.

Concernant les eaux de surface, les ménages à bas revenu s'alimentent avec cette eau quand ils ne disposent pas de puits dans leurs parcelles. Cette population pauvre est estimée dans certains quartiers à environ 30 % dans la Commune Annexe (Rapport Regideso, 2020) se contente de cette eau avec tout le risque sanitaire qu'ils encourent liés à leur consommation. Ces eaux contiennent beaucoup de minéraux qui peuvent avoir des effets et provoquer des maladies et agressions possibles d'éléments toxiques et bactéries.

Ces eaux sont généralement de mauvaise qualité, mais les habitants du quartier les consomment surtout lors de la pénurie de la saison sèche quand les puits tarissent, ce qui oblige les femmes et enfants à attendre les résurgences intermittentes de l'eau pour pouvoir assurer l'approvisionnement de leur famille. L'eau de pluie recueillie constitue donc une source d'approvisionnement très importante, surtout dans l'ensemble de la Commune Annexe où le revenu de la population est faible. Les habitants récupèrent l'eau de pluie surtout pendant les mois de Novembre à Avril en y mettant leurs bassines, sceaux et fûts en dessous de leurs toits.



Fig. 3. Rivière dans les quartiers périphériques (Images de Rapport/Regideso, 2020)



Fig. 4. La rivière Luwowoshi ne manque pas d'eau mais sa population manque d'eau potable

Elle offre moins de garanties. Même si cette eau – là n'est pas utilisée pour la boisson (ce qui n'est pas toujours le cas), elle présente un réel danger lorsqu'elle sert quotidiennement à laver les légumes, à la lessive, à la vaisselle ou encore à faire la toilette et quelques fois à la cuisson des aliments. Il est important de relever que les eaux issues de ces différents ouvrages sont généralement à la base de maladies hydriques (gastro-enterite, fièvre typhoïde, choléra, diarrhée aigue, dysenterie amibienne, vers intestinaux, fièvre jaune, paludisme, verminoses...).

Ce qui s'observe et qui est réel, c'est que les maladies hydriques exercent une action d'affaiblissement sur des populations entières, apportent la misère et amoindrissent leur capacité de production. Les différents entretiens menés avec les populations ont permis de confirmer que la question de l'eau constitue un sérieux problème de santé publique. Les maladies hydriques sont très variées d'une région à une autre mais toutes indiquent le besoin crucial d'une eau propre, pour boire et nettoyer les aliments. D'autres maladies sont dues à des installations d'épuration insuffisantes et à des habitudes d'hygiène personnelle liée au manque d'une eau salubre.

Quant à la couverture du réseau de distribution d'eau de la ville de Lubumbashi, elle couvre une surface totale d'environ 16% et 35% de la surface bâtie dans les limites de quelques quartiers périphériques autour du centre – ville. Cela signifie qu'environ 40% des habitants de la ville de Lubumbashi devront avoir un accès direct à l'eau distribuée par le réseau d'AEP. Tandis que la couverture du réseau dans la Commune Annexe est extrêmement faible. Dans les quartiers Naviundu, Luwowoshi, Kisanga, Kimbéimbe et Kasapa seulement 1% de la surface est couvert par le réseau de distribution d'eau.

Le principal problème de l'urbanisation est la croissance rapide de la population urbaine en plus de la planification inadéquate, la pauvreté, les demandes concurrentes sur les ressources. Tous ces facteurs mal maîtrisés contribuent à augmenter le risque de pénurie d'eau, d'autant plus que la consommation d'eau dans les quartiers périphériques ne cesse d'augmenter. De plus, le changement climatique va vraisemblablement changer le régime des précipitations, ce qui pourrait affecter les réserves d'eau disponibles.

Les préoccupations telles que soulevées par les populations portent sur l'accès difficile à l'eau et la mauvaise gestion des points d'eau, sur les difficultés de mobilisation de la participation financière des populations à l'aménagement et à la gestion des points d'eau, sur les caractéristiques parfois inadaptées des puits. Et même si cette eau n'est utilisée ni pour la boisson ni pour la cuisson, elle est inadaptée [6].

2.3.6 RESSOURCES VIVRIÈRES

L'amélioration de la sécurité alimentaire dans le monde est un enjeu qui dépend des ressources en terre et en eau et de la façon dont elles sont utilisées. La pression démographique, le changement et la compétition de plus en plus âpre dont la terre et l'eau font l'objet vont probablement aggraver l'insécurité alimentaire [7]. Pour satisfaire les besoins alimentaires de la population en forte croissance dans les villes d'Afrique subsaharienne (l'une des parties les moins urbanisées du monde, avec 36 % de ses 750 millions de personnes, la production agricole doit quintupler d'ici 2050 [8].

Différents travaux avancent que de 10 à 80 % des urbains, selon les villes des PED sont impliqués dans l'agriculture urbaine [9], [10]. C'est ainsi que l'agriculture urbaine joue un rôle extrêmement important dans la lutte contre l'insécurité alimentaire. La tendance à l'urbanisation de la pauvreté dans les pays en développement reste donc un défi important à relever pour ces populations.

2.3.6.1 CULTURE VIVRIERE EN MILIEU URBANO-RURAL

L'agriculture, jadis florissante avec des fermes agricoles de colons belges de 1960 – 1970 dans la ceinture verte de la ville de Lubumbashi connut divers produits frais qui inondaient les étals des marchés du centre-ville. Les quartiers ceinturant la Commune Annexe sont réduits depuis lors à des activités de subsistance qui sont pratiquées dans cet espace. Cette agriculture de subsistance est complétée par un élevage de type familial (chèvres, moutons, volailles, etc.). La forte pression d'un marché de consommation en pleine croissance a entraîné le développement de cette agriculture urbaine.

En fait, cette agriculture est une réponse à la pauvreté et améliore la situation économique des familles pauvres et vulnérables et plus spécifiquement des femmes et des enfants [11], [12]. Cette croissance de la population a entraîné une augmentation de la demande de terre au fur et à mesure que les maisons devenaient une nécessité pour les migrants. Enfin, cette croissance de la ville a été motivée en partie par les flux migratoires de ruraux venus en masse pour y trouver un cadre digne et décent.

Dans cette partie de la périphérie non atteinte par le réseau de distribution d'eau, on a creusé des puits dans la nappe peu profonde pour les besoins agricoles, écoles, centre de santé ou concessions. Face à l'urbanisation de leurs terres, les habitants ont localisé leurs activités agricoles le long des berges des marigots où l'accès à l'eau est facile et les espaces non construits sont occupés par des cultures vivrières exploitées par les propriétaires des parcelles cultivées, ou en occupant des parcelles voisines, ou du moins par les femmes. Les maniocs, courges, maïs, choux, arachides, légumes-feuilles, fournissent un apport non négligeable à la nourriture quotidienne. Ces cultures maraîchères se pratiquent à proximité des habitations.



Fig. 5. Vues à différentes échelles du site maraîcher dans la commune Annexe (Choux pommés)

3 DISCUSSION

Face aux multiples problèmes de gestion de l'espace urbain que rencontrent les villes africaines dans la lutte contre la prolifération des logements indécents, non autorisés dans les quartiers spontanés et dans les bidonvilles. Sans aucun doute, il y a lieu de commencer par arrêter la dérive accélérée constatée dans le développement de tels habitats par la recherche des solutions appropriées, à l'expansion des quartiers d'habitat précaire. Incontrôlés, les citadins et les néo-citadins les plus vulnérables se trouvent victimes d'exclusion sociale et urbaine. Souvent, la ville africaine devient le lieu d'une ségrégation et d'une fragmentation spatiale qui se traduit par l'extension des bidonvilles.

En effet, face à l'impuissance des pouvoirs publics, les nouveaux citadins trouvent des solutions en réduisant leur pauvreté urbaine en hausse et en améliorant leur accès aux équipements de base, puisque la majeure partie de l'humanité vit désormais dans des logements précaires, souvent appelés « bidonvilles ». Ce sont donc, les pauvres qui vivent dans toutes les grandes villes abritant un nombre important de bidonvilles. Ces derniers sont donc les conséquences de l'insuffisance de l'office de terrains viabilisés et du caractère inapproprié des normes et des réglementations en matière de construction de logements.

Or, généralement, la majorité de la population n'a pas les ressources nécessaires pour réaliser des constructions conformes à ces normes. Ne pouvant pas obtenir les autorisations officielles de bâtir, beaucoup de ménages dans ce quartier déshérité sont amenés ainsi à réaliser des constructions illégales et anarchiques.

Les plus pauvres des habitants de la périphérie de Lubumbashi s'installent et construisent eux-mêmes, sur des sites très souvent répulsifs et inondables et constituent une première contrainte en termes de viabilisations. Cette illégalité a d'importantes conséquences sur la fourniture des services urbains essentiels. Les réseaux d'eau, d'assainissement et d'électricité s'arrêtent aux portes des bidonvilles. La voirie officielle et les stations des réseaux de transport publics n'y pénètrent pas, voire les ignorent totalement et ces conditions créent une rupture de communication avec d'autres contrées.

. Les manifestations de la pauvreté urbaine et son amplification résultent d'un décalage entre une croissance urbaine accélérée et une économie désagrégée et incapable de la soutenir. Les conséquences de cette trajectoire démographique aboutissent à de vives tensions en termes de constructions d'emplois, de construction de logements, de moyen de transport et de services sociaux de base [13]. L'installation ou développement d'un quartier précaire est une cause de désorganisation économique. C'est bien sûr la destruction des réseaux économiques traditionnels locaux qui ont longtemps régulé l'espace économique et social des quartiers pauvres [14].

D'autres conséquences non moins importantes sur la vie des habitants de la ceinture verte de Lubumbashi qui en souffrent sont dues principalement au manque d'accès aux ressources en eau. Tout d'abord, le problème principal des bidonvilles est la qualité médiocre ou, dans certains cas, l'absence totale des services. Ensuite, c'est le manque d'eau saine et potable cause de nombreuses hydriques, relevant les taux de morbidité et de mortalité des villes en développement. On estime qu'entre quatorze et trente mille personnes, principalement les enfants et des personnes âgées, meurent chaque jour à cause de maladies hydriques comme le choléra, la fièvre typhoïde ou des diarrhées [15].

Cela se traduit par l'absence d'activité économique des adultes et une non-scolarisation des enfants. En effet, selon le PNUD, 4,45 millions journées d'écoles par an dans le monde sont perdues du fait des maladies hydriques [16]. Les pauvres des pays en développement payent bien souvent l'eau très cher, alors que leurs conditions d'accès et la qualité de l'eau qu'ils se procurent sont médiocres, et n'étant pas aussi reliés au réseau. Aucun bidonville dans ces quartiers précaires ne dispose d'adduction de l'eau de la Regideso, l'eau est puisée dans des puits peu profonds à raison de deux ou quatre bidons environ pour une famille. Comme les latrines sont à proximité immédiates des puits, l'eau est fortement contaminée – ce qui entraîne un danger permanent d'épidémie sérieuse.

La demande des besoins en eau, liée à la croissance démographique, à l'urbanisation et à la diversification des activités maraîchères, entraîne une compétition croissante entre ses divers usages et remet en cause la place prépondérante dans l'utilisation de l'agriculture dans l'utilisation des ressources hydriques.

Depuis quatre décennies, l'activité maraîchère est rythmée par les saisons et cultures suite à l'accroissement du poids démographique, et ce d'autant plus dans les villes d'Afrique Subsaharienne où on ne dispose pas d'infrastructures et d'équipements urbains – cette activité est fortement conditionnée par l'accès aux ressources en eau. Par ailleurs, l'accès à l'eau est une contrainte importante pour l'augmentation des surfaces cultivées, pour la production de choux, tomates, oignons... Ces mêmes contraintes se rencontrent d'autres zones semi-arides d'agriculture urbaine, comme au Niger [17], au Cameroun [18], comme dans d'autres villes tropicales comme Kinshasa, Kongo Central, par le recours aux eaux usées [19].

Reprenant les mêmes contraintes évoquées par Kauteng en 2013, qui note que: « les activités de maraîchage à côté de ces indéniables bénéfices ne sont pourtant pas dénuées de difficultés pour ceux qui s'y engagent. En effet, bien que ces activités ne requièrent pas un capital de départ important, se procurer les intrants nécessaires (semences, engrais, pesticides) en quantité et, surtout en qualité suffisantes représente une difficulté majeure pour certains producteurs, futurs ou déjà engagés. Un autre obstacle important concerne l'accès à l'eau: celle généralement utilisée pour arroser les cultures provenant des cours d'eau (nombreux à Lubumbashi), mais aussi de sources d'eau stagnante ou usée et donc...impropre à la consommation ».

La question de la quantité d'eau disponible dans ces puits est aussi apparue comme fondamentale: leur assèchement en cours de saison sèche, et/ou les difficultés, matérielles et de main d'œuvre, pour les sur-creuser, sont des déterminants majeurs de l'évolution temporelle et spatiale. La dynamique de l'eau dans les puits et la manière dont ils sont creusés et entretenus semblent être aussi des éléments importants à approfondir pour améliorer l'extension des surfaces développées [20].

Les résultats obtenus tout au long de cette étude montrent que l'espace exploité dans les quartiers d'auto-construction de la ville de Lubumbashi pour les cultures maraîchères évolue au cours du temps du fait essentiellement des conditions favorables du sol dans lesquels elles cultivent mais également des ressources productives dont elles disposent (eau, terre). L'agriculture

urbaine est confrontée à une forte dualité entre d'une part, la conservation des terres pour la production agricole et, d'autre part, la revendication spatiale de la croissance qui consomme de façon rapide et mal contrôlée les espaces et fragilise le secteur agricole [21]. Cette zone agricole devient progressivement un enjeu de planification urbaine: celle-ci se réfère désormais à des projets urbains et territoriaux, dans lesquels l'agriculture pourrait prétendre à un rôle au nom de ses rôles possibles dans le développement durable des villes [22], [23], [24].

De même, une autre tendance qui se développe dans de nombreux bidonvilles et/ou taudis dans les villes du Sud est la micro-agriculture. Les habitants locaux utilisent souvent chaque mètre carré de terre exploitable pour augmenter leur récolte et leurs revenus en cultivant. Cette tendance peut être une conséquence de la nécessité, mais si elle est utilisée judicieusement et qu'elle est bien accueillie par les autorités locales, elle pourrait être intégrée dans la planification urbaine et permettre d'établir des réseaux biologiques des citoyens impliqués dans l'agriculture urbaine.

Ensuite, dans les quartiers périphériques de la ville de Lubumbashi, il semble que l'agriculture est une bonne manière de sécuriser et de stabiliser des espaces. Elle permet un marquage foncier, de ne pas laisser des espaces à la friche ou au squat. Elle est d'ailleurs tolérée maintenant pour ces raisons, elle est aussi une alternative à la construction spontanée dans les zones marécageuses ou inondables. La principale critique adressée à l'agriculture urbaine est la pollution de l'eau utilisée et la qualité sanitaire des aliments [25].

Enfin, face à l'amplification de l'habitat précaire en périphérie, la formation de bidonvilles n'est ni inévitable ni acceptable (ONU-Habitat). Déloger les pauvres de la ville par des expulsions ou des destructions des constructions anarchiques non autorisées ne résout pas le fond du problème. Au contraire cela ne fait qu'exacerber les pauvres ménages. La seule solution durable est d'intégrer les ménages à bas revenu dans le tissu urbain. Ce qui caractérise le phénomène de l'habitat précaire dans les villes africaines, c'est son ampleur et sa généralisation. Il y a plus de deux décennies, Paul Bairoch l'avait déjà souligné: pratiquement aucune des grandes villes du continent n'échappe à cette solution qui « résout » lamentablement un problème apparemment sans issue: loger très rapidement une grande masse de nouveaux venus en ville, dont les ressources économiques sont quasi inexistantes.

4 CONCLUSION

Ce travail aboutit à la conclusion que même si l'état des lieux de la situation actuelle de l'urbanisation dans les quartiers spontanés présente un aspect désastreux, les habitants de ses contrées sont aujourd'hui en train de se réapproprier leur histoire et leur destin.

Force est de reconnaître que ces quartiers continuent à s'étendre plus vite et le nombre de nouveaux citoyens et des néo-citoyens augmente. Il faut déjà envisager les équipements de base et la planification urbaine des ressources en eau disponibles et vivrières pour améliorer le cadre de vie des populations. En plus de cela, le chômage et la crise de l'emploi pour leur part sont à l'origine d'un secteur informel englobant l'agriculture urbaine.

Loin de n'être qu'un problème technique ou économique, l'accès au logement dans les villes africaines subsahariennes est un problème de développement social, au sens le plus large, avec des aspects juridiques, et d'autres facettes liés au projet de développement urbain et visant à une véritable promotion humaine et sociale.

A la lumière de ce qui précède, un certain nombre de préalables s'avèrent nécessaires à garantir. L'acquisition des parcelles constitue la première étape dans le processus de construction de logements et l'investissement massif dans les infrastructures urbaines contribue à améliorer la connectivité avec les zones rurales à la mise en place des infrastructures et services publics ainsi que la sécurité foncière, véritable enjeu de développement pour tous les habitants.

REFERENCES

- [1] Bangui. 2005. La métropolisation des Pays d'Afrique Subsaharienne et les inondations de Bangui et de Dakar, Paris: Espace et sociétés en Afrique Noire, 2005.
- [2] Bangui. 2011. La ville, un défi du XXI^e siècle: Essai sur les enjeux de développement urbain en Afrique, Paris: L'Harmattan, 2011, p. 214.
- [3] Brunel, S. 2014. L'Afrique, un continent en réserve de développement, Paris: Breal, 2014, p. 290.
- [4] OMS. (2015). « Rapport OMS - UNICEF sur l'accès à l'eau ».
- [5] OMS. (2015). « L'accès à l'assainissement amélioré en RDC ».
- [6] Makpénon, M. (2011). « Crise de l'eau et politique de privatisation en Afrique ».
- [7] FAO. (2011). « Rapport de synthèse »: l'état des ressources en terres et en eau pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde.

- [8] Griffon. (2003). « Evolution des échanges agricoles et alimentaires mondiaux »: quels problèmes en perspective ?.
- [9] Smit J., Ratta A. et Nasr J. 1996 « Urban agriculture: food, jobs and sustainable cities», Yew York (NY-33): PNUD, 1996, p. 302.
- [10] Pèges, Moustier P. (1997). « Légeri-urbain en Afrique »: une Agriculture en marge ? courrier de l'environnement.
- [11] E., Tollens. (2003) « L'Etat actuel de la sécurité alimentaire en RDC »: Diagnostique et Perspectives, Ku Leuven, Working.
- [12] Duchemin E., Wegmuller F. et Legault A. M. (2010) « Agriculture urbaine: un outil multidimensionnel pour le développement des quartiers ». Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement, Vol 10 N°2.
- [13] D, Amadou. (2008). *Enjeux urbains et développement territorial en Afrique Contemporaine.*, Edition Karthala éd., E. Karthala, 2008, pp. 2-3.
- [14] Gouttebel, J.Y. 2003. *Stratégie de développement territorial*, 2è édition, Economica, 2003, p. 262.
- [15] Gleik, P.H. 2000. The changin Water Paradigm A Look at Twenty-first Century Water Resources Development, vol. 25, Water International, Vol. 25, 2000, p. 128.
- [16] Ravignam, A. De. (2013) « L'accès à l'eau, pour tous», Etudes, n°417.
- [17] Motcho K.H. 1991. Cadre de vie et systèmes de santé à Niamey (Niger). Bordeaux: Université Michel de Montaigne de Bordeaux III, Thèse de Géographie., Niger, 1991, p. 300.
- [18] Kouam K., G. R. (2015) « Mutations urbaines et problématiques d'accès à l'eau potable et à l'assainissement dans une zone urbaine d'un pays en développement »: cas de la ville de Yaoundé (Centre-Cameroun).
- [19] Nzuzi Lelo, F. 2011. *Kinshasa: Planification urbaine et Aménagement*, Ed.L'Harmattan, 2011, p. 381.
- [20] Drechsel P., Quansah C., Penning de Vries F. (1999). « Urban and periurban agriculture in West Africa: Characteristics, Challenges and need for action ». In: Smith, O.B., Urban agriculture in West Africa: Contributing to food security and Urban Sanitation.
- [21] RURAL. (2006). « Rural Areas Under Pressure. Case Studies of rural-urban relationships across Europe ». In: Overbeek M.M. et Terluin I.J. (Eds), European Report, Agricultural Economics Research Institute, Den Haag, The Netherlands.
- [22] G., Monédiaire. (1999). « Agricultures urbaines et ville durable européenne »: droits et politiques du jardinage familial urbain en Europe, Limoges, Pulim.
- [23] A., Fleury. (2005). « L'agriculture dans la planification de l'Ile-de-France: du vide urbain à la multifonctionnalité territoriale ». Cahiers de la multifonctionnalité 8, pp. 33-46.
- [24] Sullivan W.C., Lovell S.T. (2006). « Improving the visual quality of commercial development at the rural-urban fringe. Landscape and Urban Planning», pp. 77: 152-166.
- [25] Obuobie; B., Keraita; G., Danso; P., Amoah; O., Cofe; P, Rashid-Sally L. et Dreshel. 2006. *Irrigated Urban Vegetable Production in Ghana: characteristics, Benefis and Riskis, IWMI, RUAF, CPWF, Accra*, 2006, p. 150.

Leadership et bonne gouvernance en République Démocratique du Congo: Analyse de la troisième législature

[Leadership and Good Governance in the Democratic Republic of Congo: Analysis of the Third Legislature]

Muadi Katende Brigitte

Chef de Travaux à l'Université de Likasi. Diplômée d'Etudes approfondies en Sciences Politiques et Administratives et Doctorante à l'Université de Lubumbashi, RD Congo

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

ABSTRACT: The governance of a state refers to the set of process, structures and institutions through which a country is managed. The Democratic Republic of Congo is going through a hinge period of its political history marked by a complexity of challenges related to leadership and governance. This article analyses difficulties which impede the instauration of a good governance during the third legislature which started on 24 January 2019 with a political alternation at the head of the State. These difficulties are explained by the absence of a vision of development by the team of leaders, the rupture of FCC-CACH coalition and the installation of the sacred union and the trend of the power concentration by the President of the Republic. This entails the failure of consolidation of a democratic and transparent governance and constitutes a crucial stake for the national prosperity and the future of a united Congo.

KEYWORDS: Leadership, governance, good governance, national prosperity.

RESUME: La gouvernance d'un État renvoi à l'ensemble des processus, structures et institutions par lesquels un pays est dirigé et administré. La République Démocratique du Congo, traverse une période charnière de son histoire politique, marquée par des défis complexes en matière de leadership et de gouvernance. Cet article analyse les difficultés d'instauration d'une bonne gouvernance sous la troisième législature débutée le 24 janvier 2019 à travers une alternance politique à la tête de l'Etat, qui s'expliquent par l'absence d'une vision de développement dans le chef de la classe dirigeante, la rupture de la coalition FCC-CACH (Front Commun pour le Congo – Cap pour le Changement) et la mise en place de l'Union Sacrée ainsi que la tendance à une concentration des pouvoirs dans le chef du Président de la République. Ce qui entraîne l'échec dans la consolidation d'une gouvernance démocratique et transparente et constitue un enjeu crucial pour la prospérité nationale et l'avenir d'un Congo uni.

MOTS-CLEFS: Leadership, gouvernance, bonne gouvernance, prospérité nationale.

1 INTRODUCTION

Dans la gestion de la chose publique, tout Etat a comme finalité la réalisation de l'intérêt général. Celui-ci consiste à garantir la sécurité de l'Etat lui-même, la sécurité des personnes et de leurs biens ainsi que l'ordre public, le mieux-être de la population et la prospérité nationale. Cela passe par l'assainissement de l'environnement de gestion des affaires publiques afin de répondre à ces impératifs.

La République Démocratique du Congo RDC en sigle, traverse une période charnière de son histoire politique, marquée par des défis complexes en matière de leadership et de gouvernance. Dans ce contexte, la troisième législature, qui a débuté dans un climat d'espoir et d'attentes élevées, représentait une opportunité cruciale pour réformer les institutions et promouvoir une gouvernance transparente et responsable.

Le leadership, en tant que moteur de changement à travers une vision claire, joue un rôle déterminant dans l'orientation des politiques publiques et la mise en œuvre des réformes nécessaires pour répondre aux aspirations des Congolais.

Cette étude vise à explorer les interactions entre le leadership et la bonne gouvernance en RDC, tout en mettant en lumière les enjeux spécifiques auxquels la troisième législature qui a débuté le 24 janvier 2019 à travers une alternance politique à la tête de l'Etat, est confrontée.

En analysant les pratiques de gouvernance, les attentes citoyennes et les dynamiques politiques, nous cherchons à comprendre comment un leadership efficace peut contribuer à instaurer un climat de confiance et à favoriser la bonne gouvernance dans le pays.

2 JUSTIFICATION DU PROBLEME

Le problème de leadership dans la gestion de la chose publique en République Démocratique du Congo se pose avec beaucoup plus d'acuité. L'efficacité d'un dirigeant politique selon Matata Ponyo et Jean Paul Tsasa¹ dans leur réflexion sur le leadership et le changement institutionnel, dépend essentiellement des quatre facteurs clés: son habileté à identifier les opportunités de changement, sa capacité à attirer et à conserver un groupe des collaborateurs et des partisans engagés, son aptitude à mobiliser la participation des partisans et aussi des non-partisans, la perception qu'à le public de la capacité à initier et à mener avec succès des réformes. Ainsi, les changements institutionnels peuvent profiter à la majorité de la population, lorsque les dirigeants sont véritablement partisans et lorsqu'ils font preuve d'un leadership efficace dans la conduite de réformes institutionnelles.

La bonne gouvernance, affirment Mpia Imanda et Ngalamulume dans un article commun² doit commencer à la base dans la gestion des entités administratives pour déclencher la bonne gestion globale au niveau de tout le pays. Ce qui passera par le respect de la règle du droit dans la mise en place de ces entités, la participation, la transparence et la responsabilité de tous dans la gestion de l'entité administrative historiquement définie.

Le 24 janvier 2019, la RDC connut un tournant historique important dans le fonctionnement de l'Etat à travers une alternance politique. C'est fut l'avènement d'un nouveau Président de la République issu de l'opposition qui vient remplacer l'ancien Président issu de la majorité dont la gestion avait été décriée depuis un certain moment. Ce nouveau Président devrait, par son leadership, améliorer la gouvernance et œuvrer pour la prospérité nationale.

L'analyse faite de notre observation empirique relève l'accentuation des pratiques prédatrices et développement des antivaleurs. Nous citons à titre illustratif: le projet 100 jours pour lequel un procès s'est tenu pour détournement des 48.000.000 de dollars US concernant les maisons préfabriquées, le détournement des fonds covid-19, et pour le projet « Tshilejelu » au Kasai Oriental et Central, les fonds de la route Kalamba Mbuji au Kasai Central n'ont pas échappés à cette pratique et ont été à leur tour détournés. Cette situation mit en mal la bonne gouvernance et poussa le Président de la République Chef de l'Etat à instituer l'ordonnance n°20/137-b du 24 septembre 2020 modifiant et complétant l'ordonnance n°87-323 du 15 septembre 1987 portant création de l'Inspection Générale des Finances, en abrégé « IGF ». Celle-ci attribue à son article 2 une compétence générale et supérieure en matière d'audit et de contrôle des finances et des biens publics à l'IGF.

Ces différentes considérations nous déterminent à rechercher pourquoi le leadership de la troisième législature n'est pas parvenu à établir la bonne gouvernance dans la gestion de la chose publique en RDC.

Pour parvenir à répondre à cette préoccupation, nous articulons notre analyse en trois points analysant l'influence du leadership de la troisième législature sur la bonne gouvernance en RDC:

¹ MATATA PONYO et TSASA J.P., « Leadership et changements institutionnels », en ligne sur <https://www.arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2101/2101.08702.pdf> consulté le 21 novembre 2024.

² MPIA IMANDA et NAGALAMULUME BAKAJIKA, « la bonne gouvernance et le développement des entités administratives en République Démocratique du Congo », in *Justicia. Revue de la Faculté de Droit*, n°4, PUL, mars 2014, pp. 1-33.

- De la succession des leaders à la tête de l'Etat en RDC;
- De l'état de lieux de la bonne gouvernance en RDC;
- De l'analyse des facteurs à la base de l'échec du leadership sur la bonne gouvernance en RDC pendant la législature de 2019.

3 DE LA SUCCESSION DES LEADERS A LA TETE DE L'ETAT EN RDC

Depuis son accession à la souveraineté nationale, différents leaders se sont succédé à la tête de l'Etat en République Démocratique du Congo. En 1960, Joseph Kasavubu accède au pouvoir et fut remplacé en 1965 par Joseph-Désiré Mobutu. Joseph Mobutu est succédé par Laurent- Désiré Kabila en 1997, qui à son tour est remplacé par Joseph Kabila en 2001. Joseph Kabila est remplacé en 2019 par Félix Antoine Tshisekedi.

3.1 DU RÈGNE DE JOSEPH KASAVUBU

L'histoire politique de la RDC nous renseigne que Joseph Kasavubu fut leader et fondateur de l'Alliance de Bakongo, parti qui a exigé des belges l'indépendance du Congo et fut élu Président par le Parlement face à Bolikango en 1960 et dirigea le pays du 30 juin 1960 au 24 novembre 1965. Son règne se déroule dans un contexte de crises politiques, rébellions et des sécessions. Travaillant dans la transparence, Kasavubu est considéré comme le symbole de l'honnêteté et de la bonne gouvernance. Néanmoins, il avait ses propres ambitions, voulant être seul aux commandes, il entra en conflit avec son 1^{er} ministre.

En effet, le président Joseph Kasavubu et son premier ministre Patrice Lumumba, avaient des visions politiques différentes. Kasavubu représentait principalement l'Alliance des Bakongo, tandis que Lumumba était un nationaliste panafricain, soutenu par le Mouvement National Congolais (MNC). Etant nationaliste, Lumumba prônait une politique de nationalisme radical et de socialisme, cherchant à établir une indépendance économique vis-à-vis des puissances coloniales et à redistribuer les richesses. Tandis que Joseph Kasavubu avait une approche plus modérée et conservatrice, cherchant à maintenir des relations avec l'Occident tout en stabilisant le pays. Cette situation conduisit aux conflits et les tensions entre les deux hommes ont culminé lorsque Kasavubu a tenté de destituer Lumumba en septembre 1960, ce qui a entraîné une crise politique. Lumumba a été arrêté et finalement assassiné en janvier 1961.

Ainsi, le contexte de crise politique de la première République n'a pas permis d'analyser correctement le leadership de Joseph Kasavubu, dans la mesure où, la Belgique en octroyant l'indépendance au Congo, voulait avoir un droit de contrôle sur la gouvernance du nouvel Etat. C'est ce contexte de crise qui explique l'échec du premier leader à la tête de l'Etat.

3.2 DU REGNE DE JOSEPH DESIRE MOBUTU

Profitant de la crise qui a déchiré la première République, Joseph désiré Mobutu succède à Kasavubu à la tête de l'Etat par un coup d'Etat militaire le 24 novembre 1965. Homme courageux et ambitieux hanté par la puissance inébranlable de gouverner d'après Kambayi Bwatshia, Mobutu était un « personnage gigantesque, fascinant, énigmatique, insaisissable et controversé³». A la fin de l'année 1965, le nouvel homme fort de Léopoldville impose son pouvoir personnel par tous les moyens possibles. Mobutu va instaurer au Congo le mythe d'un Mobutu fort et même très fort, qui va l'aider à construire la pyramide de son pouvoir tyrannique et violent le style stalinien.

La gestion du pouvoir de Maréchal Mobutu a connu deux périodes importantes: la période de la croissance économique de 1967 à 1980; et la période de la crise économique à partir des années 1980. C'est son leadership qui avait amené ce décollage économique au cours de cette période. Malheureusement, ce sont les éléphants blancs et les mauvaises politiques de zairianisation qui ont conduit l'économie congolaise dans la ruine, ce qui a conduit à la faillite de l'Etat. C'est cette situation qui sera à la base des crises et d'instabilité politique qui vont conduire aux ruines et déclin du régime.

³ Kambayi Bwatshia, *L'illusion tragique du pouvoir au Congo-Zaïre*, Paris, L'Harmattan, 2007, pp. 11

3.3 DU REGNE DE LAURENT-DESIRE KABILA

Le 17 mai 1997, Laurent Désiré Kabila arrive au pouvoir à la suite de la victoire militaire de l'Alliance des Forces Démocratiques pour la Libération du Congo, (AFDL), il s'autoproclama Président de la République après la fuite de son prédécesseur Mobutu et prend les rênes du pouvoir en RDC. Il animait avant cela un maquis dans la zone de Fizi-Baraka au Sud-Kivu. Il fut un chef de guerre et un homme d'Etat. Il avait des nobles ambitions d'instaurer au Congo une démocratie socialiste et était considéré comme le soldat du peuple.

Le nouveau Président autoproclamé usa de son charisme pour faire oublier ses difficultés de communication en Lingala ou en Kikongo. Il se voulait un homme du peuple, ne dédaignant pas des meetings populaires et bain de foule. Par son image de leader, il gagna la sympathie de nombreux congolais, ce qui a consolidé sa popularité jusqu'à sa mort. En effet, le soutien populaire dont a bénéficié Laurent- Désiré Kabila avait commencé quand les villes du pays tombaient l'une après l'autre sous le contrôle de l'Alliance des Forces Démocratiques pour la Libération du Congo⁴. Son serment est « ne jamais trahir le Congo ». C'est le fondement de l'engagement pour un Congo toujours debout et affranchi de toutes formes d'ingérence extérieure. Dans son devoir sacré, Laurent-Désiré Kabila exigea l'intégrité territoriale, la discipline, l'honnêteté et la sincérité c'est-à-dire faire preuve d'un esprit de droiture et respectueux des valeurs morales qui fondent la vie en société⁵.

A la grande surprise de tout un peuple qui attendait voir ce nouveau leader accomplir ses objectifs de voir le congolais vivre comme un poisson dans l'eau dans un pays où coule le lait et le miel, le 17 janvier 2001 le gouvernement annonça que le Chef de l'Etat, sorti blessé d'un attentat, qui l'a conduit d'ailleurs à la mort, avait été transféré à l'extérieur du pays et qu'il avait pris la décision de confier la direction de l'action gouvernementale et le haut commandement militaire au Général Major Joseph Kabila.

3.4 DU RÈGNE DE JOSEPH KABILA

Le 26 janvier 2001, le plus jeune Chef de l'Etat congolais, 29 ans, prête serment devant la Cour suprême de justice, comme nouveau Président de la République après l'assassinat de LD Kabila. Joseph Kabila a grandi dans l'anonymat du maquis de Hewa bora territoire de Fizi, au Sud-Kivu.

Le nouveau leader demeure un mystère pour beaucoup. Comment expliquer ce « mystère » que certains qualifieraient de réflexe, de repli sur soi comme dans une carapace impénétrable? Conséquence de cette vie cachée ou posture stratégique pour se protéger contre l'adversité ou la surexposition de son poste ? Somme toute un portrait politique du président congolais peut se dégager à travers ces années d'exercice du pouvoir.

Joseph Kabila accède au pouvoir dans les circonstances qui n'étaient pas le meilleur des cadeaux politiques. L'avoir fait, y survivre encore et surtout avoir restauré l'unité du pays et réuni les belligérants reste le principal mérite de Joseph Kabila dans l'histoire de ce pays. Car de nombreux scénarios d'instituts d'études ou d'experts avaient prédit la disparition du Zaïre-RDC et imaginaient des micro-Etats en fonction des enjeux miniers. Il faut avouer que la mission de restaurer cette unité a été facilitée par la volonté des populations à n'être séparées d'aucun bout du territoire. Mettons aussi en relief et à son actif la plus longue période de stabilité macro-économique depuis l'indépendance de la RDC⁶. Malgré ces moments, le régime a été critiqué pour son autoritarisme et sa gestion opaque des ressources publiques.

3.5 DU REGNE DE FELIX ANTOINE TSHISEKEDI

Félix Antoine Tshisekedi succède à Joseph Kabila à la tête de l'Etat congolais après les élections du 30 décembre 2018 au cours desquelles il est élu Président de la République et prête serment le 24 janvier 2019. C'est le début de la troisième législature que nous analysons dans cet article.

Son mandat a été marqué par des enjeux importants liés à la bonne gouvernance, la lutte contre la corruption et les détournements de fonds publics. C'est dans cette perspective qu'il promet dès sa prise de pouvoir et ce, dans le cadre de la

⁴ Bofenda Lofetu, P., « Trajectoire politique de Laurent Désiré Kabila », In Journal of Social Science and Humanities Research, Vol. 6, n°9, septembre 2021, p. 75

⁵ Idem

⁶ https://www.irenees.net/bdf_fiche-acteurs-522_fr.html consulté le 25 mai 2024.

bonne gouvernance, de mettre en œuvre des réformes pour améliorer la transparence et la responsabilité au sein du gouvernement en mettant l'accent sur la nécessité de lutter contre la corruption, un fléau endémique qui ronge la RDC.

C'est à ce niveau d'ailleurs qu'il faut relever le rôle important joué par l'Inspection Générale des finances (IGF). Ce service de contrôle qui était rattaché au ministère des finances sous les législatures passées, a été, sous le Président Tshisekedi rattaché à la présidence et ses prérogatives ont été étendues. C'est dans ce cadre que certaines tentatives de détournement des deniers publics ont été interceptées, voire dénoncés par ce service.

En effet, de nombreux observateurs ont noté que la corruption et les détournements de fonds publics continuent d'affecter le pays. Des rapports d'organisations internationales et locales ont mis en lumière des cas de malversations au sein de l'administration publique. Plusieurs scandales liés à des détournements de fonds ont éclaté durant cette troisième législature, impliquant des hauts fonctionnaires et des entreprises publiques.

Pour le journal « Eco News » près de 150 milliards de franc congolais échappent chaque mois au Trésor dans la paie des agents et fonctionnaires de l'Etat relevant des Forces armées et de la police nationale congolaise (PNC), de Service de contrôle et de la paie des enseignants (SECOPE) ainsi que des secrétaires généraux de l'administration publique. C'est ce qu'on retient des conclusions rendues publiques jeudi 27 avril 2023, par l'Inspection générale des finances (IGF) au terme d'une mission d'audit du fichier de la paie des agents et fonctionnaires de l'Etat, précise ce journal.

« Les révélations de l'IGF, poursuit le journal, font état d'une calamité qui rognait impunément le Trésor en prenant en otage le fichier de la paie d'une partie de l'administration publique. Car, le travail de l'IGF ne s'est limité qu'à une partie des services dont la paie émerge du budget de l'Etat⁷ ». C'est donc plus de 812 millions USD qui sont détournés chaque année à la Fonction publique.

Selon le journal « Congo Nouveau », ce détournement à la Fonction publique est « le comble de la prédation ». En effet, cette bagatelle détournée régulièrement est ventilée comme suit:

- 145.604 agents payés disposant des numéros matricules incorrects, fantaisistes et fabriqués pour le besoin de la paie;
- 53.328 agents disposant à eux seuls plus d'un numéro matricule dans le fichier avec le même nom;
- 93.356 agents qui partagent un même numéro matricule avec d'autres agents également payés;
- 43.725 agents payés sans que leurs noms ne figurent sur les listes déclaratives provenant de leurs services d'origine;
- 961 agents chargés du traitement de la paie se retrouvent sur les listes de paie de plusieurs ministères. Plusieurs d'entre-deux sur plus de 15 listes de paie⁸.
- 961 agents chargés du traitement de la paie se retrouvent sur les listes de paie de plusieurs ministères. Plusieurs d'entre-deux sur plus de 15 listes de paie⁹.

Un autre exemple est celui du domaine forestier. Plus de 10 millions de dollars américains de droits dus à l'Etat par les exploitants forestiers n'ont pas été payés entre 2014 et 2020. C'est la conclusion du rapport de l'Inspection générale des finances (IGF) établi en mai 2019 et publié le 2 avril 2020.

« L'audit de l'IGF sur la gestion du secteur forestier de la RDC a été sollicité par le Gouvernement de la République. Les conclusions ont été transmises au Gouvernement qui les a adoptées et a décidé de leurs publications en toute responsabilité », a mentionné l'Inspection Générale des finances sur son compte twitter samedi 02 avril. Selon ce rapport, l'analyse du patrimoine forestier de l'Etat, au regard du moratoire fixé par le décret du 24 octobre 2005 et ses textes réglementaires d'application, a conduit l'équipe de contrôle de l'IGF à constater que près de plus de 10 millions de dollars des droits dus à l'Etat congolais n'ont pas été versés par les exploitants forestiers sur une période de six ans, soit de 2014 à 2020, période concernée par cette enquête financière. Pour l'IGF, ce manque à gagner a été occasionné par plusieurs mauvaises pratiques et attitudes de l'administration forestière et des différents ministres de tutelle qui se sont succédé entre 2014 et 2020.

Il nous revient de noter à ce niveau, le fait que malgré le travail qu'abat l'IGF, la justice ne s'implique pas trop pour sanctionner ceux qui sont cités dans des telles actions. C'est pour dire que les pratiques de corruption et de détournement de fonds donnent l'image de la mauvaise gestion des affaires publiques en RDC.

⁷ <https://www.radiookapi.net/mot-cle/linspection-generale-des-finances-igf> consulté le 25 mai 2024

⁸ Idem

⁹ Idem

Ainsi donc, Le règne de Félix Tshisekedi pendant la troisième législature a été un mélange d'espoirs de réforme et de défis persistants liés à la corruption et aux détournements de fonds publics. Bien que des mesures aient été prises pour promouvoir une meilleure gouvernance, les résultats ont été mitigés, laissant encore beaucoup à faire pour instaurer une véritable transparence et responsabilité au sein du gouvernement congolais.

4 DE L'ETAT DE LIEUX DE LA BONNE GOUVERNANCE EN RDC

Au regard de ces considérations sur les différents leaders qui se sont succédé à la tête de l'Etat, il nous paraît important de faire un état de lieux de la bonne gouvernance en RDC, cela sur base de critères ci-après : la responsabilité des gouvernants, la transparence dans la gestion, la primauté de la loi et la participation. Ce sont ces critères qui nous conduiront à affirmer s'il y a eu bonne gouvernance ou pas.

4.1 LA RESPONSABILITÉ DES GOUVERNANTS

La responsabilité consiste pour ceux qui sont au pouvoir ou qui dirigent et tous ceux qui participent au processus de prise de décision à rendre des comptes au peuple à propos de leurs actions et d'assumer les décisions qu'ils prennent.

Sous la troisième législature, tout comme les précédentes législatures, les gouvernants en RDC ne rendent pas des comptes à la population. Aucune autorité ne se sent lié par le devoir de redevabilité envers celle-ci. La gestion se fait pour et au profit de ceux qui sont au pouvoir. Et pourtant, la démocratie est définie par Abraham Lincoln comme « pouvoir du peuple, par le peuple et pour le peuple ». Cela suppose que ceux qui dirigent doivent rendre des comptes à ceux qui les ont désigné. C'est en cela qu'ils sont responsables.

L'allusion est faite ici au « programme 100 jours », pour lequel même un procès a été tenu, malheureusement, jusqu'à ces jours, on ne sait pas la destination de l'argent affecté à ce programme, les maisons préfabriquées n'ont jamais été finies, ceux qui avaient été condamnés aujourd'hui sont acquittés sans suite.

Un autre cas précis est celui de l'argent de la taxe « ram », une taxe créée de toute pièce pour arnaquer le peuple congolais. Il n'y a pas de compte que les dirigeants ont rendu à la population. Et que donc, ceux qui dirigent ne se sentent pas obligés de rendre compte à la population de leurs gestions et des actions qu'ils posent.

4.2 LA TRANSPARENCE DANS LA GESTION

La transparence signifie l'accès par tous à l'information en ce qui concerne l'utilisation des moyens alloués à certains projets. Tout le monde doit avoir accès à ces informations pour assurer la vérification.

Dans le cas du « programme 100 jours », il a été noté une certaine opacité dans la gestion de ce programme. C'est d'ailleurs ce qui a conduit au procès, afin qu'il y ait une certaine traçabilité des fonds de l'Etat engagés dans ledit programme. Ainsi comme le note à ce sujet le Groupe d'étude sur le Congo (GEC): « Au-delà des passions partisans, l'affaire Kamerhe permet de s'interroger sur les méthodes de gouvernance utilisées lors de la première année au pouvoir de Félix Tshisekedi. Plus important encore, elle reflète des pratiques contestées dans la gestion du pays depuis le règne de Joseph Kabila, qui tirent leurs racines dans les pratiques de gouvernance qui datent de l'ère Mobutu »¹⁰.

Selon le Groupe d'Etude pour le Congo, le document public fourni après le discours du chef de l'Etat congolais, le budget du programme d'urgence est évalué à 488 millions de dollars américains, soit plus de 8% du budget total pour l'exercice 2019. Plus de 70% de ce montant devait être alloué à la construction ou à la réhabilitation des infrastructures routières, à des logements sociaux et à des projets dans le domaine de la santé. Il est en grande partie financé par le gouvernement congolais à travers le Trésor public

¹⁰ Groupe d'étude sur le Congo, « Opacité quand tu tiens », mai 2020, p.2 en ligne sur <https://www.congoresearchgroup.org> consulté le 27 mai 2024

(206 millions de dollars), le Fonds de promotion de l'industrie (70 millions) et le Fonds national d'entretien routier (23 millions). Mais ce programme n'a cessé de croître au fil des mois au point de se substituer à la loi des finances 2019 et permettre ainsi au nouveau régime de fonctionner, en l'absence de collectif budgétaire et de contrôle parlementaire¹¹.

Il faut noter que ce programme a été géré au niveau de la présidence de la République, sans l'implication du Parlement. C'est ce qui a fait que le Parlement congolais a eu difficile à mener un contrôle parlementaire sur ce programme, car ayant échappé aux règles de transparence. Ceci démontre, qu'il y eu plusieurs projets qui ont échappé à cette transparence. C'est notamment le projet Tshilejelu, les fonds liés à la gratuité de l'enseignement, la route Kalamba Mbuji. Tous ces projets ont été gérés en toute opacité sans l'implication du parlement et moins encore du gouvernement.

Comme le confirme bien les écrits du GEC: « Au moins trois ministres du gouvernement Tshibala affirment n'avoir été informés des projets choisis par la présidence que plus tard par leurs secrétaires généraux ou lorsque la présidence avait besoin de régulariser des projets inscrits dans leurs secteurs¹² ».

4.3 LA PRIMAUTE DE LA LOI OU LE RESPECT DES TEXTES

Le plus grand problème qui fait défaut à la bonne gouvernance en RDC, c'est le non-respect des textes et des procédures dans la gestion des affaires publiques. Pendant la troisième législature, la gestion des affaires publiques s'est faite dans le non-respect des textes. Le cas illustratif est celui de la gestion du programme 100 jours.

La plupart des contrats du programme des 100 jours ont été passés de gré à gré dans des conditions douteuses et leur taux de réalisation (8,7%) est très faible. Le marché du secteur de l'habitat, d'une valeur de plus de 114 millions de dollars, a été attribué de gré à gré aux sociétés SAMIBO et HUSMAL, soupçonnées d'être des sociétés fantômes. Dans le secteur de l'éducation, des constructions d'école surfacturées ont été financées par le trésor public et le FPI¹³.

L'homme d'affaires libanais, Samih Jammal, a obtenu plus que ce que prévoyait son contrat initial de fourniture de 900 maisons préfabriquées, contrat en souffrance depuis 2018. Il a décroché, sous Félix Tshisekedi, par une procédure de gré à gré, un marché d'une valeur de 115 millions de dollars de commandes de maisons préfabriquées pour ses sociétés Samibo Congo SARL et Husmal SARL. Deux sources proches des intéressés affirment avoir été introduites à la présidence de la République par un membre de famille du directeur de cabinet, sans que les ministres sectoriels ne soient informés. Tous ces cas illustratifs démontrent un problème très sérieux de respect des textes et des procédures durant la troisième législature en RDC.

4.4 LA PARTICIPATION

La participation constitue un autre critère de la bonne gouvernance. Elle nécessite l'implication du peuple dans la prise des décisions, par et à travers les représentants ou des institutions légitimes. C'est vrai que depuis 2006, le peuple participe, c'est-à-dire désigne ses représentants, malheureusement dans certains cas, cette consultation du peuple n'est pas sollicitée.

Ainsi, la bonne gouvernance se mesurera par les actions de futurs dirigeants du pays. De la sorte, la gouvernance c'est la manière dont les gouvernants gèrent les ressources sociales et économiques d'un pays. La démocratisation réelle doit impliquer les responsables élus dans l'élaboration et la mise en œuvre des programmes.

Au regard de ce qui vient d'être démontré ci-haut, malgré les efforts fournis avec l'accentuation de l'Inspection générale des finances, la bonne gouvernance sous la troisième législature a eu du mal à s'instaurer et fut un échec. Ceci s'explique par plusieurs causes que nous développons dans les lignes qui suivent.

5 DES CAUSES A LA BASE DE L'ECHEC DU LEADERSHIP DE LA TROISIEME LEGISLATURE SUR LA BONNE GOUVERNANCE EN RDC

La République Démocratique du Congo a connu le 24 janvier 2019, l'avènement d'un nouveau leadership avec l'alternance qui a eu lieu au pays entre le Président Joseph Kabila et le nouveau Président Félix Antoine Tshisekedi. Ce nouveau leadership avait pour mission d'assurer la consolidation des efforts fournis depuis la transition 1+4, pour la restauration de l'Etat et la bonne gouvernance pour la prospérité nationale et le développement de la RDC. Il se fait que dès les premiers jours de ce

¹¹ Idem, p.3

¹² Ibidem, p. 5

¹³ Lagrange, M-A et Vircoulon, T., « RDC : le changement à pas feutré », notes de l'Ifri, mai 2020, pp.14-15

nouveau leadership, les choses ne se sont pas annoncées meilleurs. D'où ce leadership pendant cinq ans a conduit à l'échec de la bonne gouvernance en RDC.

Cet échec de la bonne gouvernance en RDC s'explique par trois causes essentielles que sont:

- L'absence de vision de développement dans le chef de la classe dirigeante;
- La rupture FCC-CACH et la mise en place de l'Union sacrée;
- La tendance à une concentration des pouvoirs dans le chef du Président de la République.

5.1 ABSENCE DE VISION DE DEVELOPPEMENT DANS LE CHEF DE LA CLASSE DIRIGEANTE

La vision de développement fait allusion à un programme clair de développement échelonné sur une période donnée, avec des étapes à court, moyen et long terme. De ce point de vue, lorsque le Président Tshisekedi prend le pouvoir, cette vision claire n'est pas mentionnée. C'est ainsi que, quelques jours après son investiture, il va se précipiter à mettre en place un programme de 100 jours.

L'absence de vision claire se manifeste par la dissémination des petits projets pilotés par la présidence de la République et qui échappe au gouvernement et au contrôle du parlement. Ces petits projets sont ensuite endossés par le gouvernement, sans en avoir le contrôle mais en assurant le financement. C'est la raison pour laquelle, tous ces projets furent financés en mode d'urgence.

A ce sujet, l'article 91 de la constitution dispose: « Le Gouvernement définit, en concertation avec le Président de la République, la politique de la nation et en assume la responsabilité. Le gouvernement conduit la politique de la nation ». Au regard de cet article, le Président ne peut pas poser des actes isolés sans une concertation avec le Gouvernement qui en assume la responsabilité devant le Parlement. Malheureusement, tous les projets visibles présentés durant les cinq ans de la troisième législature ont été pilotés, pour la plupart, par la présidence de la République. C'est ce qui a expliqué tous les prétendus détournements de fonds dans ces projets.

Le projet 100 jours en est une illustration. C'est le cas aussi avec le projet « Tshilejelu ». Ce projet lancé par le Président de la République lui-même au mois de mars 2021 à Mpasa dans la périphérie Est de Kinshasa, consistait à moderniser les infrastructures routières dans quelques coins de la République Démocratique du Congo, soit 141,43 Kms répartis en 39,72Kms pour Kinshasa, 25,32 Kms pour Mbuji-Mayi, 10,5 Kms pour Kabinda, 10 Kms pour Lusambo, 35 Km pour Kananga, 5,5 Kms pour Mweneditu et 15,39 Kms pour Tshikapa¹⁴.

Pendant sa tournée dans l'espace Grand Kasaï, soit 9 mois après le lancement de ce projet, le Président de la République n'a pas caché sa déception et a même menacé de sanctionner les coupables impliqués dans le présumé détournement des fonds destinés au projet Tshilejelu¹⁵. Il a été démontré par le Ministre des Infrastructures, Travaux publics et reconstruction, que ce projet n'avait pas connu les études de faisabilité. Raison pour laquelle il a souffert de retard dans son exécution.

A en croire à Digital Congo, « dans l'espace Kasaï où le chef de l'État vient de faire deux semaines, c'est bien pire. Quelques travaux ont été réalisés seulement à Mbuji-Mayi (6 km sur les 25, 35 km prévus). Rien à Kabinda où étaient prévus 10 km. De même à Lusambo (10 Km), à Kananga (35 km), Mweneditu (5,5 km) et Tshikapa (15, 39). Huit mois sur trente-six se sont écoulés et il n'y a aucun espoir de voir les travaux prévus se réaliser¹⁶ ».

Cependant, si ces projets étaient approuvés au gouvernement et présentés au programme du gouvernement devant le Parlement, le contrôle et le suivi allaient faire en sorte que ces projets avancent et soient visibles pour le développement du pays. C'est ainsi que l'absence de vision claire de développement constitue un échec du leadership sur la bonne gouvernance dans la mesure où, le leadership consiste en une vision claire que la population doit suivre pour vivre la bonne gouvernance.

¹⁴ <https://scooprdc.net/2022/01/26/projet-tshilejelu-aux-kasaï-malgre-le-saupoudrage-de-crec-7-le-gouvernement-pas-satisfait/> consulté le 5 mai 2024

¹⁵ Idem

¹⁶ <https://www.digitalcongo.net/article/61e184600670ca0015ed8d5a/> consulté le 5 mai 2024

5.2 RUPTURE FCC-CACH ET LA MISE EN PLACE DE L'UNION SACREE

Après les élections du 30 décembre 2018, le Président Félix Tshisekedi est investi le 24 janvier 2019, Largement majoritaire à l'Assemblée nationale, le Front Commun pour le Congo (FCC), plate-forme de Joseph Kabila, lui impose une coalition, à défaut d'une cohabitation. Avec moins de 50 députés sur 500, le Cap pour le Changement (CACH) s'aligne. Un gouvernement de coalition FCC- CACH est mis en place après d'âpres tractations sur le partage des ministères. L'équipe, dominée par des membres du FCC est dirigée par Sylvestre Ilunga Ilunkamba¹⁷.

A moins de deux ans, la coalition bat de l'aile. Des crises internes et institutionnelles se succèdent, notamment autour du contresoining du Premier ministre, de tentative de court-circuiter le conseil des ministres présidé par le chef de l'Etat en tant que chef de l'exécutif pour enclencher les réformes du parquet. Et surtout la crise autour de la nomination de deux juges par ordonnance présidentielle en juillet 2020, décision publiquement contestée par Janine Mabunda et Alexis Thambwe Mwamba, alors présidente de l'Assemblée nationale et président du Sénat, tous les deux cadres du FCC. Un affront de trop pour le chef de l'Etat qui décide alors de passer en force. En l'absence des présidents de deux chambres du Parlement qui ont boycotté la cérémonie, Félix Tshisekedi prend acte, le 21 octobre 2020, de la prestation de serment de trois nouveaux juges constitutionnels. C'est le début officiel de la fin de la coalition FCC- CACH¹⁸.

Le Président Félix Tshisekedi met fin à la coalition FCC-CACH le 6 décembre 2020. Pour former la nouvelle coalition, il fallait d'abord faire tomber le bureau Mabunda, chose faite en décembre 2020 et, fin janvier 2021, par le vote d'une motion de censure contre le Premier ministre Sylvestre Ilunga Ilunkamba et son gouvernement.

La matérialisation de la naissance de la nouvelle coalition « Union sacrée », s'est faite par le don des jeeps « Palissade » à chaque député et l'augmentation des salaires des députés de l'union sacrée à 21000 dollars américain. Ce qui fait qu'il y a eu au cours de cette législature, absence de contrôle parlementaire sur l'action gouvernementale.

Le mélange des éléments tels que la rupture FCC-CACH, la naissance de l'Union Sacrée de la Nation et l'octroi des jeeps aux députés, constitue un facteur explicatif de l'échec du leadership sur la bonne gouvernance dans la mesure où, le fait de donner des jeeps aux députés comme cadeaux pour avoir renversé l'ancienne majorité, est une sorte de corruption morale pour les empêcher de réclamer la transparence et la redevabilité des membres du gouvernement devant les représentants du peuple. Cela a rendu le contrôle parlementaire inefficace. C'est ce qui a fait que dans le dossier « ram », le ministre ne soit pas sanctionné, simplement parce que la motion avait été initiée par l'opposition.

5.3 TENDANCE À UNE CONCENTRATION DES POUVOIRS DANS LE CHEF DU PRESIDENT DE LA REPUBLIQUE

Il est impérieux que dans les régimes où le Chef de l'Etat joue un rôle politique important, qu'il s'assure d'une majorité au parlement pour mieux exercer son pouvoir et éviter d'être soumis à des blocages. Cette situation s'est observée en RDC, depuis l'avènement du régime de la troisième République. Sous la troisième législature, le Président de la République a usé de son autorité pour avoir le contrôle de tous les trois pouvoirs de l'Etat, à savoir le Parlement, le Gouvernement et le pouvoir judiciaire représenté par la Cour constitutionnelle.

Pour parvenir à ses fins, le Président de la République pose le premier acte de remplacement de trois juges à la cour constitutionnelle, ce qui engendra des conflits avec le FCC. Cette nomination unilatérale des juges constitutionnels démontre la volonté pour lui de contrôler le pouvoir judiciaire.

Le deuxième acte est le renversement des majorités au Parlement. La dissolution du FCC-CACH et la création de l'Union sacrée l'ont été par le fait que le Président voulait avoir lui-même le contrôle de la majorité parlementaire. C'est ce qui explique non seulement le don des palissades, mais aussi l'augmentation des salaires des députés à 21000 dollars. Pour ainsi échapper aux premiers jours de son mandat de l'emprise du FCC, il va créer ses propres réseaux parallèles, pour réaliser ses projets. C'est le cas du programme 100 jours.

Pour élaborer et mettre en œuvre son « programme d'urgence », le président de la République s'est donc appuyé sur des réseaux parallèles au sein des institutions publiques, lui permettant à la fois d'éviter ses anciens alliés et de tenter de créer ses propres dépendants économiques autour de son pouvoir. Ces réseaux sont constitués d'individus au sein des ministères et des

¹⁷ Kibangula, T., « Evolution des dynamiques politiques après la fin de la coalition FCC-CACH et son impact sur le processus électoral en cours », in *Congo-Africa*, n°576, juin-juillet 2023, p.657

¹⁸ Kibangula, T., op.cit., p.657

régies publiques telles que l'Office de voirie de drainage (OVD), le Fonds national d'entretien routier (FONER) et le Fonds de promotion de l'Industrie (FPI). Une commission ad hoc composée des conseillers du président, de quelques représentants de l'administration publique contactés directement par la présidence ainsi que des représentants de quelques régies financières et agences d'exécution débouchera sur ce programme¹⁹.

Deux dossiers sur lesquels portaient les premières accusations contre Vital Kamerhe illustrent bien cette situation. L'homme d'affaires libanais, Samih Jammal, a obtenu plus que ce que prévoyait son contrat initial de fourniture de 900 maisons préfabriquées, contrat en souffrance depuis 2018. Il a décroché, sous Félix Tshisekedi, par une procédure de gré à gré, un marché d'une valeur de 115 millions de dollars de commandes de maisons préfabriquées pour ses sociétés Samibo Congo SARL et Husmal SARL. Deux sources proches des intéressés affirment avoir été introduites à la présidence de la République par un membre de famille du directeur de cabinet, sans que les ministres sectoriels ne soient informés²⁰.

Ceci démontre que sur le plan du fonctionnement des institutions, l'institution Président de la République a prééminence sur les autres institutions qui ne font que subir la loi de cette institution. C'est pourquoi, il a mis en place des institutions parallèles à la présidence qui sont des conseillers de son cabinet. Ce sont ces conseillers qui dictent la loi, car la plupart des projets présidentiels sont pilotés et coordonnés par la présidence de la République.

La tentative de concentration des pouvoirs par l'institution Président de la République freine la mise en place de la bonne gouvernance dans la mesure où le Président ne rend pas compte au parlement. Ces projets qui connaissent des détournements et des retards leur réalisation de ne sont pas contrôlés par le parlement. Cela empêche sur la responsabilité, la transparence et le respect de la procédure et des textes qui sont des critères de la réussite de la bonne gouvernance.

6 CONCLUSION

Les considérations développées dans cet article se sont articulées sur le thème: « Leadership et bonne gouvernance en République Démocratique du Congo. Analyse de la troisième législature ». Nous venons de démontrer que la troisième législature qui a débuté le 24 janvier 2019 à travers une alternance politique à la tête de l'Etat, dans un climat d'espoir et d'attentes élevées avec ambitions de réformer les institutions et promouvoir une gouvernance transparente et responsable avec comme promesse de lutter contre la corruption, d'améliorer la gouvernance et de promouvoir le développement économique, n'est pas parvenue à cette fin.

Selon l'indice de perception de la corruption 2021 de Transparency international, la RDC est placée à la 169^e place sur 180 pays enquêtés. De même, les dernières enquêtes en 2019 menées par l'Observatoire de surveillance de la corruption et de l'éthique professionnelle renseignent qu'en RD Congo, sept transactions sur dix sont entachées de pratiques corruptives. Comme on le voit, le Congo-Kinshasa se retrouve au bas du tableau des pays noyés par la corruption²¹.

Ces propos démontrent que la bonne gouvernance a eu du mal à être effective en RDC. Le leadership en place n'était pas en mesure de promouvoir cette bonne gouvernance compte tenu du fait qu'il s'est avéré faible. Cette faiblesse est liée à l'absence de vision de développement dans le chef de la classe dirigeante, la rupture

FCC-CACH, l'instauration d'une tendance autoritaire à la tête de l'Etat, mais aussi la maladresse de la justice congolaise. Comme le Chef de l'Etat lui-même n'a cessé de le marteler: « la justice en RDC est malade ». C'est cette justice qui est incapable d'aider à restaurer l'application correcte des lois.

A ces différents éléments s'ajoute, l'opacité dans la gestion des projets initiés par la présidence de la République comme le démontre le Groupe d'Etude pour le Congo (GEC) en ce qui concerne la gestion du programme de 100 jours. « Aujourd'hui, plusieurs types de violations ou d'irrégularités peuvent être observés dans les dossiers ouverts en due forme, des factures et bons de commande incomplets... Des dizaines des millions de dollars ont été décaissés du trésor public sans aucun soubassement juridique. La formalisation de ces procédures de passations de marché s'est parfois déroulée rétroactivement,

¹⁹ Groupe d'étude pour le Congo, op.cit.

²⁰ Groupe d'étude pour le Congo, op.cit., p. 5

²¹ Kijaja Kijaja, D., « vaincre la corruption au Congo-Kinshasa : un défi à relever pour l'émergence de l'Etat de droit », in Congo-Afrique, n°575, mai 2023, p.521

pendant la phase d'exécution des projets. Les avis de la Direction Générale de Contrôle des Marchés Publics (DGCMP) ont été sollicités tardivement et ignorés²² ».

Ainsi, Le non-respect des lois et des procédures, l'absence de transparence dans la gestion, la non-redevabilité de la classe dirigeante sous la troisième législature furent des éléments ayant fait ombre au leadership en place pour promouvoir la bonne gouvernance en République Démocratique du Congo. C'est la faiblesse de ce leadership qui a expliqué la mauvaise gouvernance pendant ce temps.

REFERENCES

- [1] Badie B. et Birnbaum P., *Sociologie de l'Etat*, Ed. Grasset, Paris, 1979.
- [2] Chevallier J. J., *Les grandes œuvres politiques, de Machiavel à nos jours*, Armand Colin, Paris, 1998.
- [3] De Villers G., *République Démocratique du Congo. De la guerre aux élections. L'ascension de Joseph Kabila et la naissance de la Troisième République (août 1998-janvier 2001)*, L'Harmattan, Paris, 2001.
- [4] Mulumbati Ngasha Adrien, *Introduction à la Science Politique*, Lubumbashi éd. Africa, 2006.
- [5] Mwayila Tshiyembe, *Quel est le meilleur système politique pour la République Démocratique du Congo: fédéralisme, régionalisme, décentralisation ?*, Paris, L'Harmattan, 2012.
- [6] Ndaywel E Nziem, I., *Nouvelle histoire du Congo. Des origines à la République Démocratique*, Bruxelles, éd. LES CRI, 2009.
- [7] Ngoma Binda, P., *La participation politique. Ethique civique et politique pour une culture de paix, de démocratie et de bonne gouvernance*, Kinshasa, 2^{ème}éd. IFEP, 2005.
- [8] Obotela Lingule Bernard, *Le concept de pouvoir en sociologie politique*, PUL 2009.
- [9] Okamba Emmanuel, *Ethique du KÉBÉ – Kébé et promotion du leadership chez les MBOSI du Congo*, 2^e éd., L'Harmattan, décembre 2018.
- [10] Peya Michel Innocent, *l'Afrique au féminin. De la victimisation au leadership*, L'Harmattan, janvier 2018.
- [11] Plane Jean-Michel, *Théories du Leadership, Modèles classiques et contemporains*, Paris, DUNOD, 2015.
- [12] Stephen Robbins, *Bien diriger son équipe*, 2^{ème} éd. Nouveaux Horizons, Paris 2009.

²² Groupe d'Etude pour le Congo, op.cit., p.8

Fonctionnement des formations sanitaires privées en ville de Bunia, Province de l'Ituri, République Démocratique du Congo

[Operation of private health facilities in Bunia Town, Ituri Province, Democratic Republic of Congo]

Ngakpa Bini Vianney¹ and Amuda Baba Dieu-Merc²

¹Chercheur indépendant, Licencié en Gestion des Institutions de Santé, Division Provinciale de la Santé Ituri, RD Congo

²Professeur Associé, Institut Supérieur des Techniques Médicales de Bunia (ISTM, Bunia), RD Congo

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

ABSTRACT: The aim of this study was to describe the operation of private health facilities in Bunia town, in the Province of Ituri, Democratic Republic of Congo.

The survey method, supported by semi-structured interviews and documentary analysis, was used to carry out this work. The data were analyzed using the percentage.

After analyzing the data, the study revealed what follows:

- More than 4/5 of private health facilities have authorization to open the facilities;
- The majority of health facilities have 1 to 3 buildings;
- A weight scale, blood pressure monitor, microscope and consultation table are the basic materials and equipment needed to start up a private health facility;
- Nearly half of private health facilities receive 1 to 3 capacity-building sessions each year.

In view of these results, it is important that the health authorities put in place appropriate strategies not only to supervise the opening of private health facilities, but also to ensure that they operate in accordance with standards.

KEYWORDS: operation, private health facilities, Bunia.

RESUME: Cette étude a été réalisée dans le but de décrire le fonctionnement des formations sanitaires privées de la Ville de Bunia, en Province de l'Ituri, République Démocratique du Congo.

La méthode d'enquête, appuyée par l'interview semi-structurée et l'analyse documentaire a été utilisée pour réaliser ce travail. Les données ont été analysées au moyen de l'indice de pourcentage.

Après l'analyse des données, nous avons abouti aux résultats ci-après:

- Plus de 4/5 des formations sanitaires privées disposent de l'autorisation d'ouverture d'établissement sanitaire;
- La majorité de formations sanitaires disposent de 1 à 3 bâtiments;
- La pèse-personne, le tensiomètre, le microscope et la table de consultation sont les matériels et équipements de base pour commencer une structure sanitaires privées;
- Près de la moitié de formations sanitaires privées bénéficient de 1 à 3 fois de séances de supervision chaque année.

Au vu de ces résultats il s'avère important que les autorités sanitaires mettent sur pieds des stratégies appropriées non seulement pour encadrer l'ouverture d'une formation sanitaire privée, mais également se rassurer que leur fonctionnement est conforme aux normes.

MOTS-CLEFS: fonctionnement, formations sanitaires privées, Bunia.

1 INTRODUCTION

Depuis la publication du rapport sur la santé dans le monde en 2000 par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), une attention particulière est de plus en plus accordée à l'évaluation de l'efficacité des systèmes de santé comme en témoignent de nombreux travaux dans le domaine avec des applications aussi bien dans les pays développés qu'en développement. En effet, ce rapport met l'accent sur la nécessité pour chaque système de santé de s'intéresser à l'utilisation et à la valorisation des ressources pour parvenir aux résultats escomptés. Cette approche accorde plus d'importance à l'objectif primordial de chaque système de santé, qui est l'amélioration de l'état de santé de la population (Avon, 2019). Le système de santé a bien évolué aussi bien à travers le monde qu'en Afrique.

Le système de santé américain, libéral et fondé sur le marché, s'organise autour d'assurances privées souvent liées à l'emploi et d'une assurance maladie obligatoire, liée notamment à la vieillesse et aux faibles revenus (Galnis-Narinos, 2009).

En Chine, c'est l'hôpital public qui est le principal acteur de santé car il a le monopole de l'offre des soins. Néanmoins, à côté du secteur public, il existe aujourd'hui un secteur privé n'assurant que 5% des offres de soins, mais dont le rôle effectif dans l'ensemble du système de santé s'avère plus important, notamment pour la qualité des soins et le développement de certaines techniques de pointe (Durant-Droubin, 2011).

Le contexte de la République Démocratique du Congo a profondément changé depuis la promulgation de la Constitution de la 3ème République avec l'adoption de la Stratégie de Renforcement de Système de Santé en 2006.

Malgré l'absence ou l'inadéquation de certaines lois indispensables à la bonne marche du secteur, plusieurs textes réglementaires ont été produits. Cependant, ils sont insuffisamment vulgarisés et appliqués. Ce phénomène est aggravé par l'absence des mesures coercitives, ce qui explique en partie la faible qualité des soins fournis à la population. Pour relever le défi lié à l'insuffisance d'application des textes, le ministère devra non seulement les vulgariser, mais surtout renforcer les missions de contrôle et d'inspection, et développer les mécanismes de lutte contre la corruption et les autres antivaleurs. (Ministère de la Santé Publique RDC, 2010).

Si la mise en œuvre de la Stratégie de Renforcement du Système de Santé, notamment en ce qui concerne les actions proposées au niveau périphérique et intermédiaire a fait du chemin, il n'en est pas de même du niveau central dont la structure continue de poser des problèmes pour assurer la coordination intra et inter sectorielle (Ministère de la Santé Publique RDC, 2010).

A cause du désengagement progressif de l'Etat dans le financement du système de santé et le manque de contrôle de la gestion des formations sanitaires, il s'est créé au fil des années, un système de taxation informelle et non équitable équivalant au reversement de 5-10 %. Ce système a été essentiellement alimenté par la contribution des malades aggravant ainsi l'appauvrissement des ménages (Ministère de la Santé Publique RDC, 2010).

Par ailleurs, le manque d'outils de gestion dans la majorité des formations sanitaires, et l'absence de contrôle régulier de gestion par l'autorité de tutelle constituent des facteurs importants des malversations financières.

Le secteur privé à but lucratif s'est considérablement développé dans les villes bien que la hauteur de sa contribution au financement de la santé reste méconnue. Au niveau des structures de premier contact, on a constaté une émergence des services privés lucratifs non coordonnés et de qualité douteuse et qui rendent encore plus complexe l'organisation de l'offre des soins de qualité (Ministère de la Santé Publique RDC, 2010).

Cette situation est due d'une part à l'offre du personnel de santé qui de plus en plus dépasse la demande et dont l'exercice libéral de la pratique médicale constitue la seule voie d'issue, et d'autre part au développement des stratégies de survie individuelle et institutionnelle qui se traduisent par une ouverture anarchique et en surnombre des postes de santé, des dispensaires, des centres de santé dits de référence dans lesquels on fait de la chirurgie (Ministère de la Santé Publique RDC, 2010).

On note à titre d'exemples en 2021, 2022 et en 2023 respectivement 106,110 et 150 formations sanitaires privées, soit une augmentation de 41,5 % implantées dans la Ville de Bunia. Il y a donc une évolution ascendante des formations sanitaires privées en ville de Bunia.

L'objectif poursuivi par cette étude est de décrire le fonctionnement des formations sanitaires privées de la Ville de Bunia.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

Cette étude a été réalisée dans les formations sanitaires privées de la Ville de Bunia, dans la Province de l'Ituri, en République Démocratique du Congo.

La population était constituée des gestionnaires des formations sanitaires privées de la Ville de Bunia. Le tableau ci-dessous décrit les catégories de formations sanitaires privées en Ville de Bunia.

Tableau 1. Répartition de la population d'étude par catégorie des formations sanitaires

N°	Catégories de formations sanitaires privées	Effectif
01.	Centre Médical	18
02.	Centre hospitalier	6
03.	Clinique	32
04.	Dispensaire	8
05.	Poste de Santé	86
	TOTAL	150

L'échantillonnage stratifié pondéré dont les détails sont repris dans le tableau II ci-dessous a permis de déterminer la taille des sous échantillons par catégorie des formations sanitaires.

Tableau 2. Répartition des sous échantillons par catégories des formations sanitaires privées

N°	Catégories	Effectif	%	n
01.	Centre Médical	19	13	14
02.	Centre hospitalier	5	3,33	3
03.	Clinique	32	21,33	23
04.	Dispensaire	8	5,3	6
05.	Poste de Santé	86	57	62
	TOTAL	150	100	108

La formule de Lynch telle que décrite par Kothari (2004) a été utilisée pour déterminer la taille de l'échantillon qui s'élève à 108.

La méthode d'enquête a été utilisée pour le présent travail. Pour la récolte des données, la technique d'interview semi-structurée et d'analyse documentaire ont été utilisées.

Les données collectées ont été codées puis encodées pour l'analyse au moyen de l'indice en pourcentage.

En ce qui concerne les considérations éthiques, cette étude a été autorisée par la clairance éthique N° 30/2024 du 23 avril 2024 du Comité Ethique de l'ISTM/Nyankunde. En plus de l'avis favorable du Comité Ethique, d'autres considérations éthiques ont été observées: le consentement éclairé, la confidentialité, l'anonymat.

3 RÉSULTATS

Tableau 3. Respect de procédure d'ouverture de formation sanitaire privée

Document d'autorisation de fonctionnement	n=108	Oui		Non	
		Effectif	%	Effectif	%
Demande d'ouverture à la Zone de Santé		86	79,6	22	20,4
Acte de reconnaissance de son statut		90	83,3	18	16,7
Arrêté du Ministre ou du Gouverneur de la Province		11	10,2	97	89,8
Autorisation d'ouverture d'Etablissement		93	86,1	15	13,9

Plus de ¾ des formations sanitaires disposent de l'autorisation d'ouverture d'établissement sanitaire, de l'acte de reconnaissance de leur statut; de la demande d'ouverture d'un établissement sanitaire de Zone de Santé. Par contre, seulement 10,2% disposent de l'arrêté du Gouverneur ou du Ministre.

Tableau 4. Nombre des professionnels de santé selon les catégories et qualifications

Catégories Professionnelles	N	1 à 3		4 à 6		> 6	
		Eff	%	Eff	%	Eff	%
Médecins Généralistes	52	47	90,4	4	7,7	1	1,9
Médecins Spécialistes	9	8	88,9	1	11,1	0	0,0
Total	61	55	90,2	5	8,2	1	1,6
Infirmiers A0	24	22	91,7	2	8,3	0	0,0
Infirmiers A1	91	79	86,8	10	11,0	2	2,2
Infirmiers A2	87	82	94,3	4	4,6	1	1,1
Total	202	183	90,6	16	7,9	3	1,5
Sage-femme A0	12	10	83,3	2	16,7	0	0,0
Sage-femme A1	34	29	85,3	5	14,7	0	0,0
Sage-femme A2	9	8	88,9	1	11,1	0	0,0
Total	55	47	85,5	8	14,5	0	0,0
TLM A0	16	15	93,8	1	6,2	0	0,0
TLM A1	46	39	84,8	6	13,0	1	2,2
TLM A2	12	9	75,0	2	16,7	1	8,3
Total	74	63	85,1	9	12,2	2	2,7
Autres pro-santé A0	4	2	50,0	1	25,0	1	25,0
Autres pro-santé A1	31	11	35,5	17	54,8	3	9,7
Autres pro-santé A2	21	18	85,7	2	9,5	1	4,8
Total	56	31	55,4	20	35,7	5	8,9

TLM: Technicien de Laboratoire Médical

La majorité des formations sanitaires disposent des médecins, des infirmiers, des sages-femmes, des techniciens de laboratoire médical et des autres professionnels de santé avec 1 à 3 agents.

Tableau 5. Nombre des bâtiments

Caractéristiques	N	1 à 3		4 à 6		> 7		
		Effectif	%	Effectif	%	Effectif	%	
Type de FOSA	Clinique	18	15	83,3	3	16,7	0	0,0
	Centre Hospitalier	6	2	33,3	2	33,3	2	33,3
	Centre Médical	34	30	88,2	3	8,8	1	2,9
	Dispensaire	16	16	100,0	0	0,0	0	0,0
	Poste de Santé	34	34	100,0	0	0,0	0	0,0
Total	108	97	89,8	8	7,4	3	2,8	
Ancienneté	1 à 5 ans	46	42	91,3	4	8,7	0	0,0
	> 5 ans	62	55	88,7	4	6,5	3	4,8
Total	108	97	89,8	8	7,4	3	2,8	

Près de 90% des formations sanitaires disposent de 1 à 3 bâtiments.

Tableau 6. Fréquence de supervision à l'interne par année

	n	1 à 3 fois		4 à 7 fois		8 à 11 fois		12 à 15 fois		
		Eff.	%	Eff.	%	Eff.	%	Eff.	%	
Type de FOSA	Clinique	18	12	66,7	4	22,2	2	11,1	0	0,0
	Centre Hospitalier	6	4	66,7	2	33,3	0	0,0	0	0,0
	Centre Médical	34	24	70,6	8	23,5	2	5,9	0	0,0
	Dispensaire	16	9	56,2	4	25,0	1	6,3	2	12,5
	Poste de Santé	34	24	70,6	10	29,4	0	0,0	0	0,0
Total	108	73	67,6	28	25,9	5	4,6	2	1,9	
Ancienneté	1 à 5 ans	46	34	73,9	10	21,8	0	0,0	2	4,3
	> 5 ans	62	39	62,9	18	29,1	5	8,0	0	0,0
Total	108	73	67,6	28	25,9	5	4,6	2	1,9	

Près de 70% des formations sanitaires privées bénéficient de 1 à 3 séances de supervision à l'interne chaque année.

4 DISCUSSION DES RÉSULTATS

4.1 RESPECT DE PROCEDURE D'OUVERTURE DE FORMATIONS SANITAIRES PRIVEES

Plus de 75% des formations sanitaires privées disposent de l'autorisation d'ouverture d'établissements sanitaires, de l'acte de reconnaissance de leur statut, de la demande d'ouverture. Par contre, près de 90% ne disposent pas d'arrêtés du Gouverneur ou du Ministre de la Santé, Hygiène et Prévoyance Sociale (Tableau III).

Nos résultats ne sont pas semblables à ceux de l'étude menée par Kamundu (2021) en Ville de Goma, qui avait trouvé que 50,3% des formations sanitaires privées et 58,8% n'avaient pas respecté la procédure d'ouverture.

Le fait que la plupart de formations respectent la procédure d'ouverture se justifierait par leur maîtrise de la procédure d'ouverture d'un établissement sanitaire. Par contre, le fait que près de 90% des formations sanitaires privées ne disposent pas d'Arrêté du Gouverneur ou du Ministre de la Santé Publique, Hygiène et Prévoyance Sociale se justifierait par la lourdeur administrative dans l'octroi de ces documents.

4.2 NOMBRE DE PROFESSIONNELS DE SANTE SELON LES CATEGORIES

La plupart de formations sanitaires privées disposent d'un personnel de 1 à 3 agents dans les différentes catégories professionnelles (tableaux IV).

Ce résultat est différent des normes proposées par Anonyme (2006) relatives au management et à l'administration du personnel de santé qui stipulent que le personnel médical, paramédical et administratif représente respectivement 15%, 70%, 15%.

Il y a donc lieu de conclure que les formations sanitaires privées implantées à Bunia ne respectent pas ces normes. Cela se justifierait par l'ignorance ou la négligence dans la mesure où aucune inspection de ce genre ne serait mise en place.

Ce résultat peut se comprendre en ce sens que le caractère non attractif des salaires payés crée une instabilité du personnel qui se retrouve dans une recherche continue du plus offrant. Il se poserait donc un problème de déséquilibre dans la vie des employés. Ce qui conduit certains d'entre eux à pouvoir créer des structures sanitaires privées d'une part. D'autre part, le chômage peut être aussi considéré comme le *leitmotiv* de création des structures sanitaires privées surtout par les médecins.

4.3 NOMBRE DES BÂTIMENTS

La majorité des formations sanitaires privées disposent de 1 à 3 bâtiments (Tableaux V).

Par rapport au nombre des bâtiments, notre résultat est supérieur à celui de l'étude de Kamundu (2021) qui avait trouvé que 31,3% des formations sanitaires avaient un bâtiment non proportionné au paquet complémentaire d'activités.

Le nombre réduit des locaux et des lits peut se justifier par le petit nombre des bâtiments et par l'improvisation de la création des structures sanitaires qui du reste peut aussi expliquer le manque des clôtures pour certaines structures sanitaires.

Il faut également noter que la plupart des structures sanitaires privées fonctionnent dans des maisons de location, c'est ce qui peut justifier le nombre réduit des infrastructures ne répondant pas aux normes exigées de construction d'une infrastructure sanitaire.

4.4 FREQUENCE DE SUPERVISION À L'INTERNE PAR ANNEE

La majorité des formations sanitaires privées bénéficient en moyenne de 1 à 3 séances de supervision chaque année (Tableau VI).

Les résultats de cette étude sont voisins à ceux de Babundiaka (2019) qui, en ce qui concerne la supervision, avait trouvé 77,6% des enquêtés affirmant qu'elles ont fait l'objet de supervision par les membres de l'Equipe Cadre de Zone de Santé.

Par ailleurs Babundiaka (2019) a trouvé que chez 78,8% des enquêtés, les supervisions se font sur une base régulière même si elles interviennent uniquement dans le cadre des supervisions intégrées.

Jessica (2023) souligne que les structures sanitaires privées doivent avoir des documents du Ministère de la Santé Publique, Hygiène et Prévoyance Sociale et être supervisées par celui-ci au travers la Division Provinciale de la Santé, l'Inspection Provinciale de la Santé et la Zone de Santé.

La supervision des formations sanitaires privées n'est pas suffisante, cela se justifierait par la charge des travaux et d'autres contraintes (logistique et financière,...).

Cette faible fréquence se justifierait par les charges d'un superviseur et d'autres contraintes (chevauchement des activités, logistique,...).

5 CONCLUSION

Cette étude révèle que bien que le fonctionnement des formations sanitaires privées en Ville de Bunia se conforme aux procédures d'ouvertures, des efforts supplémentaires doivent être conjugués par les autorités sanitaires de la Province sur les ressources humaines, les infrastructures et la supervision.

REFERENCES

- [1] Avon D. (2019), une analyse comparative publique l'efficacité technique des Hôpitaux camerounais. Université de Yaoundé 2-SOA, Yaoundé.
- [2] Badibanga-Kamuleta (2024), unité de gestion du programme de développement du système de santé services de RDC.
- [3] Badr Dehbi (2017) *La problématique de gouvernance sanitaire au Nord de l'Afrique*: cas de Maroc, Algérie et de la Tunisie. 42: 1.
- [4] Bill & Melinda Gates Fondation (2017) Le rôle du secteur privé dans l'amélioration de la performance du système de santé en République Démocratique du Congo. Washington District of Colombia.
- [5] Durant-Droubin J. L. (2011) Les tribunes de la santé (République de Chine) 1: 30; 87 à 112.
- [6] Franck Gautier (2021) Le secteur privé: définition et délimitation. Paris.
- [7] Haddougui D. (2017) Carte sanitaire au Maroc Le pourquoi et le comment. pp. 125.
- [8] Holtz M., Jeanna S. et Intissar Sarker (2019) Évaluation du secteur privé de la santé en République Démocratique du Congo. Kinshasa, pp 11-16.
- [9] Kamundu A.et al. (2018) Etat de lieux des formations sanitaires privées dans la Ville de Goma (RDC). 1: 1; 2-3.
- [10] Konan A. (2022) Côte d'Ivoire, l'offre et la rentabilité des prestations des cliniques et polycliniques. Bouaké, 23.
- [11] Kothari, C.R. (2004) *Research methodology. Methods and techniques* (2nd ed.) New Delhi: New Age International Publishers.
- [12] Latour C. (2019) Activités pour la santé humaine, Activités immobilières, Commerce de détail, à l'exception des automobiles et des motocycles, édition 2019. Loyettes.
- [13] Leboucher C. (2017) Modalités de l'implantation des formations sanitaires, Bouaké, Edition Journals.
- [14] Ministère de la santé Publique de Cameroun (2020) Cameroun, procédure de création et d'ouverture de formation sanitaire privée. Yaoundé.
- [15] Ministère de la Santé Publique RDC (2016) Rapport de la mission d'inspection des actes administratifs et juridiques des établissements des soins privés modernes dans la ville de Goma. Kinshasa.
- [16] Ministère de la santé publique RDC (2018) Investir dans le secteur de la santé en RDC. Kinshasa. 21-25.
- [17] Ministère de la Santé Publique RDC (2019) Recueil des Normes de Création, D'organisation et de Fonctionnement des structures de la Zone de Santé. Kinshasa.
- [18] Pemanakue Babundiaka J. (2019) Système national d'information sanitaire: un outil pour la prise de décision « Forces et faiblesses » Cas de la Ville de Lubumbashi. Mémoire. Inédit.
- [19] Trésor G. (2023) Le secteur de la santé en Afrique du Sud. Pretoria.

Obstacles à l'entrepreneuriat chez les jeunes du centre commercial de Kasenyi, Province de l'Ituri, République Démocratique du Congo

[Obstacles to entrepreneurship among young people in the Kasenyi business centre, Ituri Province, Democratic Republic of Congo]

Kabona Basara Joseph¹ and Amuda Baba Dieu-Merci²

¹Assistant à l'Institut Supérieur des Techniques Médicales de Nyankunde (ISTM, Nyankunde), RD Congo

²Professeur Associé, Institut Supérieur des Techniques Médicales de Bunia (ISTM, Bunia), RD Congo

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

ABSTRACT: This study was carried out with the aim of describing the obstacles to entrepreneurship among young people in the Kasenyi business Centre. To conduct this study, a survey supported by a semi-structured interview was used with 196 young people. Content analysis using percentage calculations was used to analyze the data.

After analysis the study revealed the following results:

- In terms of personal obstacles, 32.14% of respondents mentioned fear of failing after starting a business. Among respondents who were not ready to start their own business, 67.68% felt that entrepreneurship was too demanding.
- As for economic obstacles, the lack of funds (38,95), and difficulties in accessing financing (84.18%) were mentioned by the majority of respondents.
- As for socio-cultural obstacles, the lack of support resources (13,68%), insecurity (14.74%) and unfavorable environment (12.63%) were mentioned by respondents.

Although some of the young people who have been trained in entrepreneurship have actually undertaken activities, the obstacles are still enormous and need to be analyzed and overcome in order to get young people effectively involved in entrepreneurship.

KEYWORDS: obstacles, entrepreneurship, youth.

RESUME: Cette étude a été réalisée dans le but de décrire les obstacles à l'entrepreneuriat chez les jeunes du centre commercial de Kasenyi. Pour sa réalisation, la méthode d'enquête appuyée par l'interview semi-structurée a été utilisée auprès de 196 jeunes. L'analyse de contenu moyennant le calcul de pourcentage a servi pour l'analyse des données.

Après analyse, l'étude a révélé les résultats suivants:

- Pour les obstacles personnels, la peur d'échouer après avoir entrepris a été évoquée par 32,14% par les enquêtés. Parmi les enquêtés qui n'étaient pas prêts à entreprendre, 67,68% ont évoqué que l'entrepreneuriat est trop exigeant.
- Pour les obstacles économiques, le manque de fonds (38,95), les difficultés d'accéder aux financements (84,18%) ont été évoqués par la majorité des enquêtés.
- Pour les obstacles socio-culturels, le manque de moyens d'accompagnement (13,68%), l'insécurité (14,74%), l'environnement non favorable (12,63%) ont été évoqués par les enquêtés.

Bien que parmi les jeunes ayant été formés en entrepreneuriat, quelques-uns ont réellement entrepris des activités, les obstacles restent énormes et méritent d'être analysés et contournés afin de permettre l'implication effective des jeunes dans l'entrepreneuriat.

MOTS-CLEFS: obstacles, entrepreneuriat, jeunes.

1 INTRODUCTION

Au monde, ceux qui s'intéressent au développement de l'entrepreneuriat social, sont confrontés à plusieurs défis. Leur poids respectif diffère selon les pays, mais le constat est universel. Ces défis ou obstacles sont, à savoir, le contexte légal, les infrastructures d'accompagnement, le soutien à l'innovation sociale, le financement, la formation, la promotion, et l'évaluation de l'entrepreneuriat social (François et al, 2012).

Cependant l'entrepreneuriat est considéré dans le monde occidental, comme un phénomène de société. Il est rare d'observer un tel objet social qui traverse les mondes politique, médiatique, économique et éducatif en recevant autant de faveurs. Il véhicule des croyances, transporte l'imaginaire vers des visions nouvelles de la société, porte l'espoir d'un mieux-être, d'une réussite économique et sociale et de la reconnaissance qui l'accompagne. Solution au chômage, source de créativité et d'innovation, nouveau modèle de travail individualisé..., l'entrepreneuriat recèle de nombreuses facettes qui génèrent une floraison de discours, d'évènements, de mises en œuvre et d'animations de dispositifs publics et privés visant à faciliter sa propagation dans notre société (Caroline et al, 2017).

L'étude de Thibaut (2021) en France portant sur les principaux obstacles à la création d'entreprise, a montré que la création d'entreprise est un parcours parfois long et parsemé d'embûches. Et l'existence de certains obstacles font perdre du temps dont le manque d'information de statut juridique à adopter face à une multitude de statuts juridiques ayant un impact extrêmement important sur un projet de création d'entreprise. Ce qui fait le manque d'information de principal obstacle.

Il ajoute que la peur d'entreprendre est l'un des obstacles à l'entrepreneuriat; car entreprendre, c'est s'engager: engager beaucoup de son temps dans le projet, une certaine énergie et des fonds importants. Et cela a un impact sur sa vie de famille et sur son niveau de stress, d'autant plus s'il faut rendre des comptes (prêt à rembourser, investisseurs à satisfaire, etc.). A cela s'ajoute la crainte de réussir puisque les chefs d'entreprises qui investissent et réussissent, font généralement l'objet de critiques: exploitation des salariés, recherche de profits,...; ce problème culturel génère, chez certains porteurs de projet, une crainte ou la peur de réussir.

Entreprendre en Afrique s'apparente à un parcours du combattant. Les obstacles sont de différentes natures: un environnement des affaires peu favorable, des formalités administratives lourdes, un contexte politique difficile, ainsi que le poids de la culture et de la société (Natalie, 2013).

Or l'entrepreneuriat a été adopté partout dans le monde comme une meilleure stratégie pour faciliter la participation économique des jeunes. Ainsi, l'entrepreneuriat des jeunes se présente comme un moyen efficace pour lutter contre la pauvreté, le chômage et le sous-emploi de ces derniers. En plus il est un outil important pour favoriser l'autonomisation des jeunes et le développement du continent africain. Grâce à l'entrepreneuriat, des millions d'emplois pourrait être créés, des innovations dans les domaines de la technologie, de l'agriculture et des transports, entre autres, pourraient voir jour et les jeunes africains pourraient être émancipés sur le plan économique et social.

Malgré l'intérêt que présente l'entrepreneuriat des jeunes, il y a des obstacles qui entravent toute tentative de création d'entreprise. En effet, une grande majorité de jeunes africains, motivés par la création d'entreprise, se heurtent à un certain nombre d'obstacles, les empêchant voire les décourageant à transformer leurs idées, intentions ou projets en création effective d'entreprises.

Ainsi, ces obstacles rencontrés à la création par les jeunes diplômés diffèrent selon les individus, l'environnement de création et les projets entrepreneuriaux. Mais, certains obstacles, tels que le manque de capital financier, l'accès difficile au financement, l'accès difficile au crédit et le manque d'expérience professionnelle, sont spécifiques à cette catégorie d'entrepreneurs, à savoir les jeunes diplômés (Kahuisa, 2022).

C'est le cas au Mali, où de nombreux jeunes désireux d'entreprendre, se heurtent à de multiples difficultés notamment les exigences de taxes et impôts. Ils dénoncent le manque d'accompagnement des services en charge. Une situation qui fait perdre beaucoup à l'État selon certains économistes (Anonyme, 2021).

Cyriaque (2018) dans son étude portant sur les obstacles à la formalisation des entreprises des jeunes dans 3 pays de l'Afrique de l'Ouest (Bénin, Sénégal, Guinée) a montré que les obstacles à la création des entreprises ces pays, sont: le faible accès aux services financiers, le manque d'accompagnement de l'Etat et le manque de formations par rapport à la gestion d'entreprise et les normes juridiques et fiscales.

De même en RDC, la création d'emplois pour les jeunes, reste l'un des plus grands défis de la société congolaise. Le taux de chômage, chez les jeunes, est élevé, en particulier pour les diplômés universitaires, qui ont du mal à trouver un emploi dans leur domaine d'études. L'entrepreneuriat est une solution à ce problème en créant des emplois pour les jeunes et en stimulant la croissance économique. Cependant, les jeunes entrepreneurs sont confrontés à des défis liés au financement, à l'environnement des affaires et au manque de compétences entrepreneuriales (Fatshimetric, 2023).

Kosolo (2021), a indiqué que les obstacles à l'émergence des activités entrepreneuriales des femmes sont des contraintes liées aux aspects socioculturels. Les femmes ont évoqué les pesanteurs socioculturelles comme obstacle à leur entrepreneuriat. Elles citent les rôles joués par l'ethnie, la culture, la socialisation, le réseau social, etc. L'influence de l'ethnie se manifeste via la transmission des valeurs

et croyances aux individus pendant la socialisation. Dans la plupart des sociétés africaines, il est transmis à la fille l'idée selon laquelle, son statut dépend plus de son état matrimonial et de sa fécondité que de son activité. La société réserve donc à la femme un statut inférieur, se traduisant par un exercice limité du pouvoir décisionnel et un accès difficile à l'éducation et aux ressources. En d'autres termes, il existe des préjugés socioculturels sur sa place et son rôle dans la société, qui ne militent pas en faveur de son implication dans la lutte contre la pauvreté.

En Ituri, selon Tagirabo (2021), de plus en plus, les jeunes de la ville de Bunia, chef-lieu de ladite Province, s'impliquent dans la création d'emplois malgré l'insécurité grandissante qui sévit dans cette province de la RDC. En dépit de leurs niveaux d'études ou classes sociales, beaucoup se sont engagés à entreprendre dans divers secteurs de la vie, notamment dans des petits commerces, des ASBL, l'artisanat et autres. Malheureusement, ils font face à la multiplicité des taxes, une situation au goût amer pour ces braves jeunes déterminés à sortir du chômage; malgré le devoir qu'a chaque citoyen de contribuer au développement de son pays en s'acquittant de différents impôts et taxes. Cependant, l'Etat devrait accorder certaines faveurs à une certaine catégorie des personnes dont les jeunes qui désirent entreprendre dans le but de lutter contre le chômage qui est l'une des causes majeures de la misère, délinquance et criminalité. A cela s'ajoutent également le non-accompagnement de ces derniers et l'accès difficile au financement.

Lors de notre séjour à Kasenyi de novembre 2021 à janvier 2022, cinq églises dont la 39^e Communauté Emmanuel, la 8^e Communauté des Eglises de Pentecôte en Afrique Centrale, avaient organisé des formations aux jeunes sur l'entrepreneuriat en différentes périodes. Et plus de 400 jeunes dont nous-mêmes y avons participé. Mais pendant notre enquête en juin 2023, nous avons constaté, à l'issue de ces enseignements, moins de 15 jeunes qui avaient entrepris les activités génératrices de revenu (AGR). L'objectif poursuivi par cette étude est de décrire les obstacles à l'entrepreneuriat chez les jeunes du centre commercial de Kasenyi.

2 MATERIEL ET METHODES

Cette étude a été réalisée au centre commercial de Kasenyi dans le secteur de Bahema Sud, au Sud-Est de la province de l'Ituri, en République Démocratique du Congo.

Pour la réalisation de cette étude, la méthode d'enquête a été utilisée. La population est constituée de tous les jeunes du centre commercial de Kasenyi ayant suivi la formation en entrepreneuriat. La taille d'échantillon est de 196 jeunes du centre commercial de Kasenyi déterminée par la formule proposée par Kothari (2004), et l'échantillonnage occasionnel a été utilisé afin de sélectionner les jeunes. Pour avoir des informations sur le sujet, la technique d'interview semi-structuré a été utilisée. Quant à l'analyse des données, nous avons procédé de la manière suivante: les données collectées ont été d'abord dépouillées, analysées, catégorisées ensuite elles ont été codées et encodées dans le tri à plat puis saisies dans un tableau Excel. Elles ont été enfin exportées dans le logiciel SPSS pour le traitement. Les résultats ont été présentés sous forme des tableaux, des fréquences en terme de pourcentage.

Avant la descente sur terrain, nous avons eu la clairance éthique N°08/2024 délivrée par le Comité Ethique de la recherche de l'ISTM/Nyankunde, émettant l'avis favorable pour l'étude. Lors de la période de récolte, nous nous sommes d'abord adressé au Chef de Secteur pour lui montrer le but de ce travail, puis le consentement éclairé des jeunes a été recueilli, en leur demandant de participer à cette étude. Nous leur avons assuré l'anonymat et respect de la confidentialité. Tout ceci a été fait en base d'une fiche d'information du participant et formulaire de consentement.

3 RESULTATS

Tableau 1. Facilité d'accéder aux financements

Variables	Modalités	n	Oui		Non	
			Eff	%	Eff	%
Sexe	Masculin	157	26	16,56	131	83,44
	Féminin	39	5	12,82	34	87,18
Age	17-21 ans	39	6	15,38	33	84,62
	22-26 ans	82	9	10,98	73	89,02
	27-31 ans	48	9	18,75	39	81,25
	32-36 ans	20	5	25,00	15	75,00
	37-41 ans	7	2	28,57	5	71,43
Niveau d'étude	Primaire	4	0	0,00	4	100,00
	Secondaire	179	27	15,08	152	84,92
	Universitaire	13	4	30,77	9	69,23
Total		196	31	15,82	165	84,18

Plus de 80% des enquêtés (84,18%) n'ont pas la facilité d'accéder au financement pour commencer et/ou développer leur projet entrepreneurial.

Tableau 2. Raisons freinant l'entrepreneuriat

Variables	Modalités	n	Manque des fonds		Peur d'échouer		Multiplicité de taxes		Environnement non favorable		Manque d'accompagnement		Insécurité	
			Eff	%	Eff	%	Eff	%	Eff	%	Eff	%	Eff	%
Sexe	Masculin	77	27	35,06	11	14,29	5	6,49	12	15,58	8	10,40	14	18,00
	Féminin	18	10	55,56	1	5,56	2	11,11	0	0,00	5	27,77	0	0,00
Age	17-21 ans	24	11	45,83	5	20,83	2	8,33	0	0,00	4	16,67	2	8,30
	22-26 ans	46	17	36,96	5	10,87	4	8,70	8	17,39	6	13,04	6	13,00
	27-31 ans	16	3	18,75	0	0,00	0	0,00	4	25,00	3	18,75	6	38,00
	32-36 ans	7	6	85,71	0	0,00	1	14,29	0	0,00	0	0,00	0	0,00
	37-41 ans	2	0	0,00	2	100,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Niveau d'étude	Primaire	3	0	0,00	1	33,33	1	33,33	0	0,00	1	33,33	0	0,00
	Secondaire	89	35	39,33	11	12,36	6	6,74	11	12,36	12	13,48	14	16,00
	Universitaire	3	2	66,67	0	0,00	0	0,00	1	33,33	0	0,00	0	0,00
Total		95	37	38,95	12	12,63	7	7,37	12	12,63	13	13,68	14	15,00

Le manque de fonds a été la principale raison freinant l'entrepreneuriat chez plus de 1/3 des enquêtés (38,95%).

Tableau 3. Raisons de ne pas vouloir entreprendre

Variables	Modalités	n	Peur d'échouer		Demande trop/exigeant	
			Eff	%	Eff	%
Sexe	Masculin	24	9	37,50	15	62,50
	Féminin	4	0	0,00	4	100,00
Age	17-21 ans	6	3	50,00	3	50,00
	22-26 ans	13	3	23,08	10	76,92
	27-31 ans	4	1	25,00	3	75,00
	32-36 ans	3	0	0,00	3	100,00
	37-41 ans	2	2	100,00	0	0,00
Niveau d'étude	Primaire	2	0	0,00	2	100,00
	Secondaire	23	8	34,78	15	65,22
	Universitaire	3	1	33,33	2	66,67
Total		28	9	32,14	19	67,86

Il se dégage de ce tableau que 67,86% des enquêtés n'ayant pas un esprit entrepreneurial, ont évoqué que l'entrepreneuriat est trop exigeant.

Tableau 4. Normes culturelles face à l'entrepreneuriat

Variables	Modalités	n	Encourage et accepte tous		Limitée en agriculture, élevage et pêche		Limitée en commerce		Critique et parle trop	
			Eff	%	Eff	%	Eff	%	Eff	%
Sexe	Masculin	157	125	79,62	16	10,19	7	4,46	9	5,73
	Féminin	39	32	82,05	2	5,13	2	5,13	3	7,69
Age	17-21 ans	39	30	76,92	3	7,70	5	12,82	1	2,56
	22-26 ans	82	70	85,37	6	7,32	2	2,44	4	4,87
	27-31 ans	48	39	81,25	4	8,33	2	4,17	3	6,25
	32-36 ans	20	13	65,00	5	25,00	0	0,00	2	10,00
	37-41 ans	7	5	71,43	0	0,00	0	0,00	2	28,57
Niveau d'étude	Primaire	4	3	75,00	0	0,00	0	0,00	1	25,00
	Secondaire	179	145	81,01	18	10,06	7	3,90	9	5,03
	Universitaire	13	9	69,23	0	0,00	2	15,38	2	15,38
Total		196	157	80,10	18	9,18	9	4,60	12	6,12

Les enquêtés affirment que leur culture encourage et accepte que les jeunes entreprennent dans tous les domaines (80,10%).

4 DISCUSSION

4.1 OBSTACLES PERSONNELS A L'ENTREPREUNARIAT

4.1.1 PEUR D'ÉCHOUER

Il ressort de cette étude que certains jeunes qui ne sont pas prêts à entreprendre avaient peur d'échouer après qu'ils s'aient lancés en entrepreneuriat et ajoutent qu'il était exigeant (Tableau III).

Ce résultat est similaire à celui de Thibaut (2021) qui avait trouvé que la peur d'entreprendre était l'un des obstacles à l'entrepreneuriat, car entreprendre c'est s'engager: engager beaucoup de son temps dans le projet, une certaine énergie et des fonds importants; ayant un impact sur sa vie de famille et sur son niveau de stress, d'autant plus s'il faut rendre des comptes (prêt à rembourser, investisseurs à satisfaire, etc.). Ce problème génère chez certains porteurs de projet, une crainte ou la peur d'entreprendre.

Ceci montre que la peur d'échouer est un sentiment qui constitue l'obstacle aux jeunes qui voudraient entreprendre. Cette peur serait due aux charges et exigences auxquelles font face les entrepreneurs alors que ceux qui entreprennent semblent ne pas bien réussir.

4.1.2 MANQUE DE COMPÉTENCES

La majorité des jeunes avaient l'esprit et atouts entrepreneurials, car ils ont des activités génératrices de revenus, et plusieurs ont déjà entrepris, tandis que d'autres comptent entreprendre par différentes manières (Tableau II).

Le résultat d'Anonyme (2022) est différent de nôtre. Il avait montré que le manque de compétences (les compétences attendues d'un chef: compétences propres au métier, compétences en comptabilité, en commerce, en communication, en management... et leur maîtrise) constituait l'obstacle pour l'entrepreneuriat. Lorsque les compétences sont limitées dans tel ou tel domaine, le doute et la peur envahissaient l'entrepreneur et freinaient son projet de création d'entreprise.

Par ailleurs, le résultat sur les multiples obstacles à l'entrepreneuriat en Afrique (Anonyme, 2018) stipulait que le premier obstacle que rencontrait le porteur d'un projet de création d'entreprises était la capacité propre de l'entrepreneur ou les compétences requises à faire preuve de sérieux, de rigueur et de persévérance.

Ceci nous pousse à dire que le manque de compétences nécessaires en entrepreneuriat serait un aspect dont il faut tenir compte, car sans ces dernières, l'entrepreneur se trouverait dans les échecs multiples et répétitifs.

4.2 OBSTACLES ECONOMIQUES A L'ENTREPREUNARIAT

4.2.1 MANQUE DE FONDS DE DÉMARRAGE

Cette étude a révélé que le premier obstacle pour l'entrepreneuriat des jeunes était le manque de capital pour lancer leur projet. A cela s'ajoutait aussi le manque de formation en matière de gestion financière (Tableau II).

Ce résultat est similaire à celui d'Anthony (2019) qui a montré que le capital était le premier obstacle des entrepreneurs. Puisqu'au début d'une activité entrepreneuriale, les entrepreneurs sont souvent à la recherche d'un capital qui leur permettra de subvenir aux frais de départ comme l'achat de matériel, la location des lieux, le lancement de l'activité, le frais marketing, etc. Et ce problème entraînait des difficultés financières importantes.

Dimitri (2007) avait également révélé les principaux obstacles au développement du petit entrepreneuriat. Il avait trouvé des problèmes liés aux finances. Pratiquement dans tous les pays, les petites entreprises, dotées d'un capital relativement faible et souvent dépourvues de réputation commerciale établie, se heurtaient à des contraintes de liquidité pour compléter leurs fonds d'investissement et de roulement ou encore, dans le cas d'entreprises naissantes, pour constituer leur capital de départ.

Ceci prouve que les entrepreneurs en général, et en particulier, les entrepreneurs jeunes feraient face à un grand obstacle de manque de capital pour démarrer leurs projets entrepreneurials malgré les compétences qu'ils disposeraient.

4.2.2 ACCÈS DIFFICILE AUX FINANCEMENTS

La plus grande partie des jeunes n'avaient pas accès aux financements pour démarrer et/ou développer les activités entrepreneuriales (Tableau I).

Ces résultats sont similaires à ceux de Nouri (2020) qui avait indiqué que l'accès aux moyens de financement était le principal défi pour tout porteur de projet pour démarrer son entreprise. De façon générale, les premières phases des études de faisabilité sont financées par des fonds propres issus d'épargne personnelle et de contributions familiales. Et ce type de financement est qualifié de capital-risque convivial, car fourni par les proches. Le résultat de Thibaut a également rejoint le nôtre. Selon lui la création d'entreprise est un parcours parfois long et parsemé d'embûches. Et les obstacles qui faisaient perdre du temps étaient entre autres, un accès difficile aux financements puisque le lancement d'un projet était souvent subordonné à l'octroi d'un financement.

Il est également similaire à celui d'Anonyme (2022) qui avait montré que l'accès difficile aux financements était un des obstacles rencontrés par les entrepreneurs, que ce soit au stade de lancement ou lors de la phase de développement de leur entreprise. En effet, bon nombre d'entre eux se retrouvaient confrontés à des problèmes de financement de leur projet: pas d'apport personnel, refus des banques à leur prêter de l'argent, incapacité à lever des fonds.

Ceci révèle que l'accès aux financements par les entrepreneurs demeure un grand obstacle pour l'entrepreneuriat des jeunes parce que les moyens financiers qu'ils disposent sont insuffisants pour le lancement ou le développement de leurs projets. Or le financement externe serait un ajout important pour le développement de leurs projets qui bénéficieraient à tous et même aux donateurs.

4.3 OBSTACLES SOCIOCULTURELS A L'ENTREPREUNARIAT

4.3.1 PROCEDURES LONGUES ET ENVIRONNEMENT NON FAVORABLE

Nous avons trouvé que les longues procédures pour la mise en œuvre de projet entrepreneurial et l'environnement non favorable constituaient des obstacles pour les jeunes afin de mettre en œuvre leurs projets (Tableau II).

Ce résultat rejoint celui d'Anonyme (2022), qui avait prouvé que les formalités administratives assez lourdes étaient un frein à la création d'une entreprise. En raison de ce formalisme assez lourd, 4 entrepreneurs sur 10 préféreraient abandonner ou remettre l'accomplissement de leurs formalités à plus tard.

Pour Thibaut, la création d'entreprise est un parcours long et parsemé d'embûches dont l'existence d'un formalisme assez lourd car, pour créer une société, il faut trouver ses caractéristiques (nom, adresse, activité, date de clôture des comptes, dirigeants...), rédiger des **statuts** et déposer une demande d'immatriculation au registre du commerce et des sociétés. Entre temps, il faut remplir un formulaire de déclaration d'activité (MO) et établir plusieurs attestations.

Ce qui montre que l'environnement des entrepreneurs et les procédures de la création sont des obstacles pour la mise en œuvre de leurs projets, parce que ces derniers sont des véritables moyens pour la croissance des activités entrepreneuriales.

4.3.2 MANQUE D'ACCOMPAGNEMENT

Il ressort de cette étude que le manque d'accompagnement dans les activités entrepreneuriales freinait les jeunes à mettre en œuvre et à développer leurs projets entrepreneuriaux malgré les formations suivies (Tableau II).

Ce résultat rejoint celui de Nouri (2020) qui avait indiqué que les entrepreneurs manquaient d'accompagnements adéquats et de soutiens à différents stades là où existaient des opportunités d'accompagnement, car ce problème de manque de soutien était récurrent et surtout lors de la phase de développement.

Nous osons croire que les jeunes éprouvent des difficultés dans leurs initiatives qui nécessitent l'accompagnement sur divers aspects. Raison pour laquelle certains se retrouveraient à mi-chemin d'entrepreneuriat.

4.3.3 NORMES CULTURELLES

Le résultat de cette étude a montré que la population ou la société des entrepreneurs encourageait ces derniers dans leurs projets bien que ce soit la minorité qui est appuyée. La population en majorité encourageait et acceptait les activités entreprises dans différents domaines (élevage, commerce. Pêche, agriculture,...). (Tableau IV)

Ce résultat est contraire à celui de Kosolo (2021), qui dans sa recherche, les obstacles aux activités entrepreneuriales étaient des contraintes liées aux aspects socioculturels: les rôles joués par l'ethnie, la culture, la socialisation, le réseau social, etc. Par exemple pour les femmes, la société Africaine réserve à celle-ci un statut inférieur, se traduisant par un exercice limité du pouvoir décisionnel et un accès difficile à l'éducation et aux ressources. En d'autres termes, il existe des préjugés socioculturels sur sa place et son rôle dans la société, limitant ainsi son implication dans la lutte contre la pauvreté.

Nous avons trouvé que l'opinion favorable de la population issue de différentes cultures était un avantage aux jeunes entrepreneurs, car si leurs cultures et normes sociales étaient à l'encontre de leurs projets entrepreneuriaux, ceci serait un obstacle majeur puisque ces

cultures et normes sont transmises dès le bas-âge. Celui-ci influencerait les manières de percevoir et concevoir les activités d'entrepreneuriat.

5 CONCLUSION

Il est ressorti que les obstacles personnels à l'entrepreneuriat chez les jeunes du Centre commercial de Kasenyi sont entre autres la peur d'échouer après avoir entrepris et aussi le fait que l'entrepreneuriat a beaucoup d'exigences. Quant aux obstacles économiques, les observations les plus saillantes évoquées ont été le manque de capital (fonds), les difficultés d'accéder aux financements, l'insuffisance de notions de gestion financière et la multiplicité ou la prolifération des taxes à payer. S'agissant des obstacles socio-culturels, le manque de moyens d'accompagnement, l'insécurité, l'environnement non favorable et les découragements et critiques ont constitué les éléments principaux évoqués par les enquêtés.

Au regard de ces résultats, il est nécessaire que les jeunes soient accompagnés sur le plan technique, financier et social, prenant en compte leur contexte socio-économique pour mettre en œuvre leurs projets entrepreneuriaux, car les obstacles auxquels ils font face sont énormes.

REFERENCES

- [1] Anonyme (2021) au mali, n'est pas un jeune entrepreneur qui le veut.
- [2] Anonyme (2022), *les obstacles sur la création d'entreprise, je change de métier* p14-19; disponible sur: <https://www.je-change-de-metier.com/obstacles-creation-entreprise> (consulté le 13/03/2024).
- [3] Anonyme, (2018), *les multiples obstacles à l'entrepreneuriat en Afrique* p23-26. Disponible sur: <https://www.meilleurtauxpro.com/credit-professionnel/actualites/2018-aout/les-multiples-obstacles-a-l-entrepreneuriat-en-afrique.html> (consulté le 09/03/2024).
- [4] Caroline V et al (2017). *Promesses et réalités de l'entrepreneuriat des jeunes*, Dans Agora débats/jeunesses 2017/1 (N° 75), pages 57 à 72, disponible sur: <https://www.cairn.info/revue-agera-debats-jeunesses-2017-1-page-57.htm> (consulté le 06/03/2024).
- [5] Cyriaque E (2018), *les obstacles à la formalisation des entreprises des jeunes dans 3 pays de l'Afrique de l'Ouest (Bénin, Sénégal, Guinée)* p. Disponible sur: <https://www.bcpafrique.org/sites/default/files/publications/bcpa-etude-cnv-obstacles-formalisation.pdf>
- [6] Dimitri K (2007), les principaux obstacles au développement du petit entrepreneuriat en Fédération de Russie: l'avis des entrepreneurs, dans *Innovations* 2007/2 (n° 26), pages 95 à 108; disponible sur: <https://www.cairn.info/revue-innovations-2007-2-page-95.htm> (consulté le 12/03/2024).
- [7] Fatshimetric (2023), *trois obstacles que les jeunes entrepreneurs congolais doivent surmonter et comment y faire face* p3 <https://fatshimetric.org/blog/2023/05/04/3-obstacles-que-les-jeunes-entrepreneurs-congolais-doivent-surmonter-et-comment-y-faire-face/> (consulté le 29/02/2024).
- [8] François B, et al (2012) *Défis et actions pour développer l'entrepreneuriat social*, Dans *La Revue des Sciences de Gestion* 2012/3-4 (n° 255-256), pages 17 à 22 disponible sur <https://www.cairn.info/revue-des-sciences-de-gestion-2012-3-page-17.htm> (consulté le 06/03/2024).
- [9] Anthony B (2019), *Les 7 difficultés pour devenir entrepreneur* p32-35, disponible sur: <https://www.kiwili.com/fr/Blog/post/les-problemes-que-rencontrent-les-auto-entrepreneurs/> (consulté le 12/03/2024).
- [10] Kahuisa M. (2022), *série d'obstacles à la création d'une entreprise par les jeunes dans un pays en développement*, p58: le cas jeunes diplômés congolais. Disponible sur <https://www.ijias.issr.journals.org/> (consulté le 29/02/2024).
- [11] Kosolo L (2021), *analyse des contraintes liées à l'émergence des activités entrepreneuriales féminines de la Commune de Mont-Ngafula* p8-10. Disponible sur: <https://www.Analyse+des+contraintes+li%C3%A9es+%C3%A0+l%E2%80%99%C3%A9mergence+des+activit%C3%A9s+entrepreneuriales+f%C3%A9minines+de+la+Commune+de+Mont-Ngafula.pdf> (consulté le 09/03/2024).
- [12] Natalie S (2013), *multiples obstacles à l'entrepreneuriat en Afrique* p2009, disponible sur <https://doi.org/10-3917/inn.026> (consulté le 29/02/2024).
- [13] Nouri K (2020), *l'entrepreneuriat vert au Maroc: défis et opportunités* p99-100. Disponible sur: <https://www.revuefreg.fr/index.php/home/article/view/736/551> (consulté le 10/03/2024).
- [14] Thibaut C (2021), *les principaux obstacles à la création d'entreprise*, le coin des entrepreneurs p13. Disponible sur: <https://www.lecoindesentrepreneurs.fr/obstacles-creation-dentreprise/> (consulté le 12/03/2024).

Perception des patients sur la gestion informatisée des structures sanitaires confessionnelles en Ville de Bunia, Province de l'Ituri, République Démocratique du Congo

[Patients' perceptions of computerized management of faith based health facilities in Bunia Town, Ituri Province, Democratic Republic of Congo]

Taingi Niclette Syntiche¹ and Amuda Baba Dieu-Merci²

¹Assistante à l'Institut Supérieur des Techniques Médicales de Nyankunde (ISTM, Nyankunde), RD Congo

²Professeur Associé à l'Institut Supérieur des Techniques Médicales de Bunia (ISTM, Bunia), RD Congo

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

ABSTRACT: This study was conducted in order to explore patients' perception of the computerized management of faith-based health services in Bunia town.

The ethnographic method supported by the semi-structured interview was used to carry out with 40 patients who had attended the two faith based health services using computerized management in Bunia town.

After analysis, the study revealed the following:

- The reception within these health facilities is good, but there is a problem of delay due to internet connection and also the mood of the staff.
- Patients receive good guidance;
- Data is well archived and easily retrieved;
- Patients are completely confident about the security of their data, but they need the printed sheets;
- The billing service works well with honesty and offers a good service for users. It is very fast when there is internet connection, but the prices are not changed as soon as it is fixed in the machine, and others have found it very expensive;
- The respondents mentioned the focus of doctors only on the machine, some say that the doctors' attention should first be on the patients and then on the machine and others have not observed any change despite this new system;
- There is an improvement in health care, for others there is no difference with the traditional system. It was found that computerized management has no influence on the quality of health care, a part from the delay when the internet connection is low;
- Generally speaking, the laboratory is fast if there is a good internet connection.

In view of these results, it is necessary that new strategies be developed for the improvement of this computerized management system in health facilities.

KEYWORDS: Patients, perception, computerized management, faith based, health facilities.

RESUME: Cette étude a été réalisée dans le but d'explorer la perception des patients sur la gestion informatisée des services sanitaires confessionnelles en ville de Bunia.

La méthode ethnographique appuyée par l'interview semi-structurée a servi pour sa réalisation auprès de 40 patients ayant fréquenté les deux structures confessionnelles utilisant la gestion informatisée en ville de Bunia.

Les résultats obtenus après l'analyse et traitement des données révèlent ce qui suit:

- L'accueil au sein de ces structures est bon, mais il y a un problème de retard suite à la connexion ainsi que l'humeur du personnel.
- Les patients reçoivent une bonne orientation;
- Les données sont bien archivées et retrouvées facilement.
- Les patients sont totalement confiants pour la sécurité de leurs données, mais ils manifestent le besoin des fiches imprimées;

- Le service de la facturation marche bien avec honnêteté, c'est très rapide lorsqu'il y'a la connexion, mais les prix ne sont pas modifiés dès que c'est fixé dans la machine;
- Les enquêtés ont fait mention de la concentration de médecins beaucoup plus sur la machine, oubliant l'interaction avec les patients;
- Bien qu'il y ait une amélioration de la prise en charge, certains trouvent qu'elle est chère, pour d'autres la gestion informatisée n'a pas d'influence sur la qualité de soins, mais il s'observe un retard de la prise en charge;
- De manière générale, le laboratoire est rapide s'il y a la bonne connexion;
- Le service de la pharmacie est très rapide lorsqu'il y a une bonne connexion.

Au vu de ces résultats, il est nécessaire que des nouvelles stratégies soient développées pour améliorer ce système de gestion informatisée dans les formations sanitaires.

MOTS-CLEFS: perception; patients, gestion informatisée, structures sanitaires, confessionnelles.

1 INTRODUCTION

La santé est sans doute l'un des secteurs qui a connu et qui connaît encore aujourd'hui de grandes évolutions. L'automatisation des tâches administratives, le développement des nouvelles technologies et particulièrement des réseaux, mettent en cause l'organisation traditionnelle et les objectifs de cette fonction (Verbeke, 2015).

En France, Jacques (2023) a révélé que dans l'informatique de santé, les informations et les données relatives à la santé constituaient un atout important et précieux pour les patients qui avaient besoin de connaître leur propre état de santé et les options thérapeutiques qui s'offrent à eux. Quant au personnel chargé de la prestation des services de santé, il veille à ce que chaque patient reçoive en temps utile les soins et les traitements adaptés à ses besoins. Pour le personnel chargé de la gestion qui a besoin de données pour savoir comment cibler les ressources là où elles sont nécessaires, et pour les dirigeants des systèmes de santé qui doivent garantir l'efficacité et l'efficience pour ceux qui paient les services de santé.

Berbain et Xavier (2019) ajoutent que l'informatisation des unités de soins constitue un enjeu affiché qui est perçu positivement pour améliorer la prise en charge des maladies. Dans leur étude, ils ont trouvé que l'informatique dans le service sanitaire, offre une expérience fluide au patient en accélérant les tâches administratives; elle améliore l'expérience des utilisateurs en assurant une prestation de service uniforme et une bonne gestion opérationnelle entre les équipes. Par ailleurs, elle facilite la collaboration du personnel et centralise les informations.

En Afrique en général, depuis une vingtaine d'années notamment, elle s'est faite de manière fragmentée, basée sur des technologies de l'information et de la communication émergentes et parfois inadaptées à un usage efficace par les professionnels de santé en situation dans l'unité de soin (Cyrille, 2022).

Pour Mulinganya et al (2018) dans leur étude sur le système d'information sanitaire, leur résultat montre que, dans une grande majorité des hôpitaux de la RDC, les dossiers des patients sont conservés sur des supports papier qui posent d'énormes problèmes de classement et de stockage. L'accès aux informations anciennes est difficile, voire impossible. Des informations importantes, parfois vitales, se perdent régulièrement, non seulement au détriment de la qualité de la prise en charge du patient, mais également de la gestion générale de la structure.

Au cours d'un stage de professionnalisation au Centre Hospitalier Bunia (CME) au mois de décembre 2023, il a été constaté que la structure avait basculé de la gestion manuelle à la gestion informatisée. Et dans ce système informatisé, nous avons constaté que les patients passaient plus de temps dans la salle d'attente pour accéder au service de consultation ainsi qu'une attention réduite de prestataire au vu des clients. Partant de ce constat, cette étude explore la perception des patients sur la gestion informatisée des structures sanitaires confessionnelles en ville de Bunia.

2 MATERIEL ET METHODES

Cette étude était réalisée en Ville de Bunia, Province de l'Ituri, au Nord-Est de la RD Congo. L'étude a été conduite dans deux hôpitaux appartenant aux confessions religieuses utilisant la gestion informatisée. La population de cette étude est constituée de tous les patients fréquentant des services sanitaires et qui ont été exposés à la gestion informatisée au centre hospitalier Rwankole et au Centre Médical Evangélique /CH Bunia. Pour constituer la taille de l'échantillon, nous avons tenu compte du principe de saturation et la taille était de 40 patients, l'échantillonnage occasionnel a servi pour la sélection des unités, en tenant compte de l'accessibilité des individus et leurs disponibilités pendant la période de collecte des données. La méthode ethnographique appuyée par la technique d'interview semi-structurée a servi pour réaliser cette étude. Pour l'analyse des données, nous avons procédé par le développement d'un cadre thématique et présenter les résultats sous les thèmes et les sous thèmes.

3 RESULTATS

3.1 PERCEPTION DES PATIENTS SUR LA GESTION ADMINISTRATIVE INFORMATISEE DES STRUCTURES SANITAIRES CONFESIONNELLES

3.1.1 ACCUEIL ET ORIENTATION DES PATIENTS DANS LES SERVICES

ACCUEIL

Pendant l'entretien avec les enquêtés par rapport à l'accueil, les enquêtés l'ont trouvé bon, mais, il y a un problème de retard suite à la connexion ainsi que l'humeur du personnel.

« L'accueil est bon au CME ici. Il n'y a pas de choses que je peux déplorer à ce niveau » (E29, interview).

« Ils nous reçoivent bien si les malades arrivent tôt, ils sont vite servis, tout de suite selon les jetons remis dans l'ordre d'arrivée, à part les cas d'urgence » (E5, interview).

Mais pour d'autres, il y a un problème de retard suite à la connexion

« C'est mon hôpital, l'accueil a bien reçu. Mais il se pose encore un problème de retard lié à la connexion et la maîtrise de ce système par quelques agents » (E19, interview).

« L'accueil est vraiment très bon. D'ailleurs je me demande s'ils ont reçu un briefing de bien accueillir les malades comme ces derniers ont beaucoup souffert dans l'ancien Système. Mais il pose un problème de retard. Et ils nous disent que la connexion fait défaut » (E34, interview).

Il a été mentionné le problème de l'humeur du personnel présent dans le service

« Cela dépend. On est bien accueilli si on arrive devant la bonne personne, qui a des bonnes manières » (E13, interview).

« Ça dépend de la personne que tu vas trouver à face de toi. Quelques fois, tu n'es pas bien accueilli » (E17, interview).

ORIENTATIONS

Le personnel des structures enquêtées réserve aux patients une bonne orientation quand ils sont au sein de l'hôpital.

« J'ai trouvé que cela va très bien, car une fois tes données intégrées dans le système, ils te disent d'aller droit à un tel ou tel autre endroit. J'ai trouvé cela très bon » (E1, interview).

« Les patients sont bien orientés, même s'ils ne détiennent pas leurs fiches en mains comme autrefois » (E12, interview).

Cependant, d'autres enquêtés ont trouvé que l'orientation est moyennement bonne

« C'est moyennement bon mais si on est connu on est mieux servi » (E3, interview).

« Orientation également se passe quand-même bien, ils te disent de passer de tel endroit à un tel autre » (E14, interview).

3.1.2 ARCHIVAGE ET SECURITE DES DONNEES DES PATIENTS

ARCHIVAGE

De manière générale, les données sont bien archivées et retrouvées facilement:

« C'est facile de retrouver les données de quelqu'un, une fois que c'est intégré dans le système avec l'expérience d'un ami, les données peuvent être servies même plus tard à l'endroit de malade ou de ses familiers en cas de nécessité » (E5, interview).

« Si tu reviens pour les soins après, ils commencent par chercher tes données dans la machine rien qu'à partir de ton nom et puis ils retrouvent toute la situation » (E18, interview).

CONFIANCE ACCORDÉE POUR LA SÉCURITÉ DES DONNÉES

Les enquêtés soutiennent qu'ils étaient totalement confiants sur la protection des données.

« J'ai confiance que ces informations sont protégées et ne peuvent pas se perdre, même pour plus tard, on peut encore les avoir » (E5, interview).

« Je suis confiant que mes données sont protégées et que je peux les avoir au moment voulu si je reviens vers eux » (E25, interview).

Néanmoins, d'autres enquêtés ont manifesté les besoins d'avoir les fiches imprimées pour preuve qu'ils étaient à l'hôpital et pourrait leur garantir d'avoir plus de confiance à ce système.

« Mais il serait mieux que nous ayons des extraits de la situation de traitement pour rentrer avec cela à la maison, afin de présenter l'historique de tout ce qui s'est passé auprès de ses personnes responsables » (E1, interview).

« J'ai aussi confiance, mais ils doivent bien sauvegarder les données et aussi le fait que les malades ne rentrent pas avec leurs fiches à la maison, ça peut poser problème si on va dans un autre poste de santé dans un état déjà critique de maladie. Il n'y aura rien comme soubassement précédent pour aider les infirmiers sur l'antécédent du patient » (E13, interview).

3.1.3 SERVICE FINANCIER

LES SERVICES DE LA FACTURATION AVEC LA GESTION INFORMATISÉE

Après l'entretien avec les enquêtés, nous avons constaté que plus d'accès est mis au service de la facturation, raison pour laquelle ils apprécient le service en soulignant que ça marche bien avec honnêteté, un bon service pour les abonnées, c'est très rapide lors qu'il y a la connexion, les prix ne sont pas modifiés dès que c'est fixé dans la machine, et d'autres ont trouvé que c'est très cher.

Pour certains patients, il y a de l'honnêteté au service de la facturation.

« Ils sont honnêtes et fidèles à produire ce qui est dans la machine » (E5, interview).

« Bien qu'ils le fassent à la machine, s'il y a quelque chose que l'on ne comprend pas bien et doit être corrigé, ils le font sans problème. Et il y a moyen de présenter les détails sur la facture à payer, donc ils sont honnêtes » (E8, interview).

Généralement les enquêtés disent que le service de la facturation est très rapide s'il y a une bonne connexion:

« Ils sont rapide s'il y a la connexion » (E4, interview).

« Au service de facturation, nous ne sommes pas dérangés, il suffit de citer les noms de votre malade et puis les procédures évoluent vite » (E15, interview).

Cependant, quelques patients ont souligné que, avec ce système d'informatisation, on ne modifie plus le prix une fois c'est écrit dans la machine:

« Le défaut que je vois avec la facturation automatique c'est que une fois la facture est sortie, on ne plus négocier de sa réduction par une personne, car elle est déjà vue dans tous les services concernés » (E7, interview).

« La facturation aussi comme tout se passe dans la machine, tu reçois ce qu'ils ont remis sans discuter pour la réduction » (E9, interview).

Par contre, il y a ceux qui trouvent le service de la facturation avec ce nouveau systèmes très chers et on fait beaucoup de confusion:

« Les coûts de la facturation sont généralement très élevés, surtout lors que quelques erreurs se glissent dedans » (E22, interview).

« Avant nous arrivions au service de facturation, ils le faisaient avec vérité. Mais cette fois-ci, il y a des médicaments qui ne devraient pas figurer sur votre facture, et ils ne les suppriment plus or ça gonfle le montant » (E27, interview).

3.2 PERCEPTION DES PATIENTS SUR LE SOINS MEDICAUX ET INFIRMIERS DANS LA GESTION INFORMATISEE STRUCTURES SANITAIRES CONFESSIONNELLES

3.2.1 CONSULTATION MEDICALE AVEC LA GESTION INFORMATISEE

D'une manière générale, quant à la thématique de la consultation médicale avec la gestion informatisée, les enquêtés ont fait mention de la concentration de médecin uniquement sur la machine, attention des médecins premières sur les malades et la machine après et d'autres n'ont observé aucun changement.

« C'est ça aussi le défaut de cette nouvelle technologie. Avant, le médecin pouvait regarder et toucher la personne malade bien qu'en écrivant, mais cela n'est plus le cas avec ces ordinateurs devant eux car ils sont plus concentrés à écrire » (E19, interview).

« Les docteurs sont moins attentifs aux malades, leur concentration est plus dirigée sur les machines » (E16, interview).

Par contre, une catégorie ont dit que le médecin a une attention soutenue sur les malades et après sur la machine:

« Ils se concentrent d'abord sur les patients pendant qu'ils parlent, ils les fixent aux yeux. Ce n'est qu'après, qu'ils mentionnent les données dans leurs ordinateurs » (E2, interview).

« Leurs attentions sont dirigées sur les malades, même s'ils se concentrent également à écrire dans leurs machines » (E7, interview).

Enfin, les autres n'ont constaté aucun changement en ce qui concerne la consultation médicale avec la gestion informatisée:

« Il écrivait en me parlant aussi comme avant, puis il a m'a dit que je puisse aller dans le service suivant (E6, interview).

« L'attention des docteurs est concentrée sur les malades. Ces ordinateurs ne les empêchent pas de bien travailler. C'est Comme avant » (E29, interview).

3.2.2 PRISE EN CHARGE MEDICALE ET INFIRMIERE AVEC LA GESTION INFORMATISEE

Quant à la prise en charge médicale et infirmière avec la gestion informatisée, il ressort de différents discours qui montre l'amélioration de la prise en charge, aucune différence, la prise en charge est chère, pas d'influence sur la qualité de soins et le retard de la prise en charge.

Quant à l'amélioration de la prise en charge, les patients observent une nette amélioration, soulignant les avantages que l'informatisation apporte à la gestion des soins.

« Les infirmiers donnent soins aux médicaments sans discrimination, conformément à la situation de chacun vraiment ici tout marche bien » (E18, interview).

« Les soins, ils les donnent bien. La prise en charge est bonne car une fois que c'est prescrit, et si le malade ou l'infirmier ne le comprend pas, ils reviennent auprès de celui qui l'avait prescrit avant de donner les médicaments ou les soins » (E27, interview).

En revanche, d'autres n'ont constaté **aucune différence** par rapport aux méthodes traditionnelles. Pour cette catégorie, l'introduction de la technologie n'a ni dégradé ni amélioré l'expérience des soins, et ils considèrent que la qualité des soins reste inchangée.

« Pour les soins, le tout se passe très bien, d'ailleurs, les docteurs vérifient même les heures de prise des médicaments par les malades auprès des infirmiers c'est la même chose » (E22, interview).

« Mais ça va cas même bien comme avant toujours. Il peut y avoir des doutes quelques fois de savoir s'ils n'ont pas semé des confusions dans le traitement proposé si ce n'est pas par erreur les prescriptions pour un autre patient » (E28, interview).

Une autre catégorie de patients reconnaît que la prise en charge est bonne, mais trouve les coûts des services trop élevés. Pour eux, bien que l'informatisation améliore la qualité des soins, elle s'accompagne d'une augmentation des tarifs médicaux.

« Pour les soins, ils le font bien, mais les prix des médicaments sont quelques fois élevés » (E7, interview).

« Pour les soins, je n'ai pas vu de mal, c'est bien on nous donne les soins de qualité même si c'est cher » (E11, interview).

Certains pensent que l'informatisation n'a pas d'influence significative sur la qualité des soins, Pour eux, les soins ne se sont ni détériorés ni améliorés grâce à l'introduction des systèmes informatiques.

« Ce système n'a pas affecté les soins des malades » (E5, interview).

« Ces machines n'influencent pas la qualité des soins » (E13, interview).

Enfin, une autre catégorie exprime des préoccupations liées au retard dans la prise en charge. Ils observent que l'informatisation peut parfois allonger les délais de traitement en raison de problèmes techniques ou d'un manque d'habitude des professionnels avec ces outils.

« Les soins sont bien administrés mais toujours avec de lenteur suite à la perturbation de connexion quelques fois » (E14, interview).

« Les soins se donnent bien, mais avec des retards liés surtout aux procédures avant d'être soigné » (E24, interview).

3.3 PERCEPTION DES PATIENTS SUR LES SOINS TECHNIQUES ET PARACLIQUES DANS LA GESTION INFORMATISEE DES SERVICES

3.3.1 SERVICE DE LABORATOIRE DANS LA GESTION INFORMATISEE

De manière générale, il ressort de différents discours de nos enquêtés relatifs au service de laboratoire dans la gestion informatisée, ils ont relevé les différents thèmes comme la rapidité suite à la connexion, la légère lenteur et aucun changement.

Quant à ce qui concerne la rapidité grâce à l'informatisation. Pour ces patients, une bonne connexion directe entre les systèmes facilite la transmission rapide des données, ce qui permet d'obtenir les résultats des tests de laboratoire plus rapidement.

« Même au labo, les résultats ne tardaient pas de sortir, une fois le sang prélevé, avant 12 heures nous obtenions les résultats, mais ça dépend de l'examen à autre » (E1, interview).

« Même chose avec le labo, si les examens sont prélevés, les résultats sortent un peu vite tel que je le voie » (E17, interview).

3.3.2 LE SERVICE DE LA PHARMACIE DANS LA GESTION INFORMATISEE

Quant au service de la pharmacie, les enquêtés ont relevé certaine réponse par rapport à la gestion informatisée. La rapidité suite à la connexion, la légère lenteur, la légère amélioration et aucun changement.

Pour les uns, ils ont constaté qu'il y a la rapidité suite à la connexion au service de la pharmacie en ce qui concerne la gestion informatisée:

« Les médicaments sont servis vite toujours à tour de rôle, et cela prend le temps que vous devez attendre. Ça dépend de la connexion » (E10, interview).

« Avant d'arriver à la pharmacie, ils te demandent de passer aux services d'enregistrement, ce qui fait que là on te sert vite quand la connexion est bonne (E15, interview).

Pour les autres, il y a ceux qui ont relevé la lenteur de travail dans le service de pharmacie suite à la connexion. Ils ont stipulé ce qui suit:

« A la pharmacie aussi ils nous servent bien et vite. Mais il arrive des fois que la connexion ne soit pas stable et cela fait trainer les patients » (E26, interview).

« C'est à la pharmacie que le service évolue un peu plus lentement, surtout lorsque vous trouvez plein de gens » (E31, interview)

D'autres enquêtés ont constaté une légère amélioration au niveau de service de la pharmacie suite au système informatisé. Ils expriment cela de la manière suivante:

« Au moins ce dernier temps, les gens ne s'alignent plus comme c'était le cas avant, c'était tellement gênant avant d'être servi » (E2, interview).

Enfin, il y a ceux qui ont constaté aucun changement apporté par le système informatisé dans le service de la pharmacie:

« Le service des médicaments ne pose pas des difficultés par rapport à ce système c'est comme avant » (E7, interview).

Même si le système fait écrire à la machine, les médicaments sont bien servis comme avant » (E30, interview).

4 DISCUSSION DES RESULTATS

4.1 PERCEPTIONS DES PATIENTS SUR LA GESTION ADMINISTRATIVE INFORMATISEE DES STRUCTURES SANITAIRES CONFESSIONNELLES

En rapport avec l'accueil, il a été invoqué, par les enquêtés, que l'accueil est bon. Ils observent le retard suite à la connexion; d'autres disent que l'accueil dépend de l'humeur de personnel.

Quant à Mulamba (2021), dans sa recherche il a trouvé que 65% des malades témoignent que l'accueil est mauvais, 20% prouve que l'accueil est moyen et 15% démontre que l'accueil est bon à l'HGR Uvira.

Les résultats de notre étude suggèrent que, bien que certains patients aient des points de vue positifs, certains semblent rencontrer des difficultés liées à l'accueil, tant à cause de facteurs techniques qu'humains. Cet aspect nécessiterait une réflexion approfondie sur l'amélioration de la qualité de l'accueil dans les services de santé.

Quant à la perception des patients à rapport avec l'orientation, les patients révèlent des avis partagés. Alors que certains participants estiment que l'orientation est bonne, d'autres la jugent moyennement bonne, reflétant ainsi une diversité d'expériences.

Les résultats obtenus en rapport l'orientation rejoignent ceux de Mulamba (2021), qui avait observé qu'à l'Hôpital Général de Référence (HGR) d'Uvira, 75 % des enquêtés déclaraient être rarement guidés lors de leur séjour, tandis que seulement 25 % estiment avoir bénéficié d'une orientation régulière.

Au Québec, Williams (2018) avait également rapporté que certains patients continuaient de rencontrer des difficultés à s'orienter dans les grands hôpitaux. La complexité des bâtiments peut être particulièrement déroutante, notamment pour les patients ayant des limitations physiques ou cognitives. Ces derniers étaient plus vulnérables à une orientation inefficace, ce qui pouvait exacerber leur stress et leur anxiété lors de leur parcours de soins.

Pour nous, cela s'inscrit dans une tendance plus générale où l'orientation hospitalière est perçue comme satisfaisante, mais reste imparfaite. L'amélioration du système d'orientation serait particulièrement bénéfique pour les patients les plus vulnérables, afin de minimiser leur confusion et de leur offrir une expérience de soins plus agréable.

De l'autre côté, il ressort des différents discours de nos enquêtés relatifs à **l'archivage des données** que ces dernières sont bien archivées et retrouvées facilement.

Ces résultats s'alignent avec les conclusions de Johnson et Smith (2019), qui ont démontré que les patients reconnaissent largement l'importance d'un archivage efficace des données pour assurer la continuité des soins et la précision des informations médicales. Dans leur étude, les patients avaient exprimé leur satisfaction face à la rapidité et la facilité d'accès aux dossiers médicaux, ce qui contribuait à améliorer la qualité des soins. Cet accès rapide permettait aux professionnels de santé de prendre des décisions éclairées, réduisant ainsi le risque d'erreurs médicales.

Pour Degoul et Fieschi (2012), en effet, un système d'archivage électronique permettait une traçabilité des informations de santé tout au long du parcours médical du patient, réduisant ainsi les pertes d'informations ou les erreurs associées à des systèmes plus traditionnels de gestion de données.

L'archivage des données médicales, tel qu'il est perçu par les enquêtés de cette étude, présenterait des avantages significatifs, notamment en termes de continuité des soins et de sécurité des données.

En ce qui concerne la Confiance accordée pour la sécurité de données, les enquêtés avaient révélé une variété de perceptions, allant de la confiance totale à une méfiance notable. Certains participants exprimaient une grande confiance dans le système de gestion des données médicales, estimant que leurs informations personnelles étaient protégées. Cependant, d'autres ne partageaient pas le même avis, manifestant des inquiétudes quant à la sécurité de leurs données. Un groupe intermédiaire de patients estimait qu'une fiche ou un document pourrait leur redonner confiance sur ce système.

Ces résultats s'alignent en partie avec celui de Thompson (2020), qui avait constaté en France une préoccupation notable des patients quant à la sécurité et la confidentialité de leurs données dans le cadre de la santé numérique. Dans son étude, les patients interrogés craignaient que leurs informations médicales soient compromises par des violations de données ou utilisées sans leur consentement, raisons pour laquelle d'autres restaient méfiants face à la gestion informatisée des données, même si les systèmes numériques visaient à garantir une meilleure protection.

Par ailleurs, Haberey-Knuessi et Obertelli (2017), avaient mis en avant la confiance des patients dans le système de soins, bien que cette confiance ne soit pas toujours liée à une compréhension détaillée des mécanismes de protection des données. Ils ont constaté que la confiance reposait davantage sur la perception générale de la compétence des professionnels de santé plutôt que sur une évaluation concrète des systèmes de sécurité des données. Ce point rejoint notre observation selon laquelle certains patients, bien qu'ils ne remettent pas en question le système de gestion informatisée, ils auraient besoin de plus d'informations pour renforcer leur confiance.

Cette variété en rapport avec la confiance serait dû aux expériences des patients sur, la mise en place d'un nouveau système de gestion informatisée mise en place.

En rapport avec les services financiers dans la gestion informatisée, nous avons constaté que, les patients ont plus accès au service de la facturation, raison pour laquelle ils nous ont seulement parlé du dû service en disant que; ça marche bien avec honnêteté, Un bon service pour les abonnés, c'est très rapide lors qu'il y 'a la connexion, les prix ne sont modifiés dès que c'est fixe dans la machine, et d'autres ont trouvé que c'est très cher.

Ces résultats sont en accord avec celui de Johnson et Brown (2020), qui avaient observé, dans leur étude sur l'impact de la clarté de la facturation sur la satisfaction des patients, que les systèmes de facturation informatisés amélioraient la transparence. Selon leurs travaux, les patients appréciaient particulièrement la clarté et la précision des factures générées par ces systèmes, ce qui permettaient d'éviter les malentendus grâce à des détails explicites sur les coûts associés aux soins

Cette bonne perception serait due à la bonne gestion de ces structures, pour vendre une très bonne image de ces structures, avoir des clientèles et une bonne réputation.

4.2 PERCEPTION DES PATIENTS SUR LES SOINS MEDICAUX ET INFIRMIERS DANS LA GESTION INFORMATISEE DES FORMATIONS SANITAIRES CONFESSIONNELLES

Quant à la thématique de la consultation médicale avec la gestion informatisée, les enquêtés ont fait mention de l'attention des médecins premières sur les malades et la machine après et d'autres n'ont observé aucune différence avec l'ancien système.

Cependant, au Royaume-Uni, une tendance positive semblait se dégager. Selon Green et Taylor (2020), la gestion informatisée était perçue très positivement par les patients. Ceux-ci constataient une amélioration de l'efficacité et de la qualité des soins, notamment grâce à une plus grande rapidité d'accès aux dossiers médicaux et à une réduction des erreurs médicales. De plus, ils appréciaient la meilleure coordination entre les professionnels de santé, facilitée par l'intégration des systèmes électroniques.

Nous pensons que, la perception de la gestion informatisée des consultations médicales varierait selon les contextes et les attentes des patients et la maîtrise de ce nouveau système par le personnel.

S'agissant de la Prise en charge médicale et infirmière avec la gestion informatisée, il ressort de différents discours de la part de patient: ils observent une amélioration de la prise en charge, d'autre constante aucune différence, une catégorie trouve que la prise en charge est bonne mais chère, une catégorie trouve que, l'informatisation n'a pas d'influence sur la qualité de soins et un groupe intermédiaire trouve le retard de la prise en charge.

Au Canada, la prise en charge médical et infirmière avec la gestion informatisée était perçue positivement en raison de la confiance accrue dans la précision des soins médicaux et infirmiers. Les patients appréciaient que les dossiers électroniques réduisent le risque d'erreurs liées à la mauvaise interprétation des notes manuscrites ou à la perte de documents, ils étaient suivis par plusieurs spécialistes, et ces derniers garantissaient un suivi plus rigoureux et une cohérence dans le traitement des patients (Williams et Johnson, 2019).

Avec des avis divergent de la part de patients, il convient de noter que l'informatisation aurait un impact globalement positif sur l'amélioration de la coordination des soins, bien qu'elle ne soit pas perçue de manière uniforme par tous.

4.3 PERCEPTION DES PATIENTS SUR LES SOINS TECHNIQUES ET PARACLINIQUES DANS LA GESTION INFORMATISEE DES SERVICES SANITAIRES CONFESSIONNELLES

Concernant le Service de laboratoire dans la gestion informatisée, de manière générale, il ressort de différents discours de nos enquêtés qu'il existait une rapidité suite à la bonne connexion, la légère lenteur et d'autres n'ont observé aucun changement.

Aux États-Unis, la gestion informatisée dans les services de laboratoire était largement perçue de manière positive. Selon Johnson et al. (2021), les patients appréciaient particulièrement la rapidité et la sécurité des résultats, qui leur étaient souvent fournis en ligne. Ils trouvaient que ce système réduisait leur anxiété liée à l'attente des résultats, car ils pouvaient les consulter plus rapidement et facilement.

Ce résultat corrobore avec l'idée de Johnson, notamment en ce qui concerne la rapidité et l'efficacité. La technologie offre des avantages significatifs, mais elle doit également rassurer les patients sur la fiabilité des résultats et la sécurité des informations.

Pour ce qui est du service de la pharmacie dans la gestion informatisée, les enquêtés ont relevé la rapidité suite à la bonne connexion, la légère lenteur, la légère amélioration et aucun changement.

Ces résultats rejoignent les conclusions de Smith et Johnson (2018), qui avaient observé que la majorité des patients percevaient positivement l'impact de la gestion informatisée dans les pharmacies. Leur étude avait révélé que 78 % des patients estimaient que la gestion informatisée des stocks permettait de réduire les erreurs liées aux prescriptions, un aspect crucial pour assurer la sécurité des patients. Par ailleurs, 65 % des patients avaient déclaré que l'informatisation avait accéléré le service, ce qui correspondait à certaines perceptions des patients dans notre étude, qui associent la rapidité et efficacité à la connexion.

En France, l'étude de Brown et al. (2019) montrait que les patients appréciaient non seulement la rapidité du service, mais également la transparence et la sécurité offertes par les systèmes informatisés. Ces systèmes permettaient de vérifier la disponibilité des médicaments et de maintenir à jour les prescriptions médicales en temps réel, améliorant ainsi la coordination entre les professionnels de santé. Ce qui pouvait expliquer la bonne perception de certains patients de notre étude reconnaissent une légère amélioration du service même si d'autres ne voient pas de changement significatif.

Cette divergence d'opinions pourrait être expliquée par la non maîtrise de logiciel par le personnel et la mauvaise qualité de la connexion dans ces structures.

5 CONCLUSION

La gestion informatisée, étant une nouvelle expérience dans les structures de la Ville Bunia, la découverte sur la façon dont les bénéficiaires la percevaient est capitale pour une utilisation optimale. Au vu des résultats obtenus, il est nécessaire que des nouvelles stratégies soient développées pour l'amélioration de ce système de gestion informatisée dans les formations sanitaires de l'Ituri.

REFERENCES

- [1] Berbain Tet Xavier B (2019) L'informatique dans la gestion quotidienne des unités de soins: la barrière de l'apprentissage. *Sciences sociales et santé*. 19: 3; 77-106.
https://www.researchgate.net/profile/Etienne-Minvielle-3/publication/272346893_L'informatique_dans_la_gestion_quotidienne_des_unites_de_soins_La_barriere_de_l'apprentissage/links/576f65c808ae62194746c001/Linformatique-dans-la-gestion-quotidienne-des-unites-de-soins-La-barriere-de-lapprentissage.pdf (24/08/2024).
- [2] Brown L et al. (2019) Pharmacy management and patient satisfaction in a digital age. *French Journal of Pharmaceutical Sciences*. 27: 102-115. (30 /07/2024).
- [3] Cyrille A et Sape K. (2022) Mise en place d'un système d'information hospitalier basé sur un dossier patient informatisé au centre médical d'arrondissement de Bepanda à Douala, Cameroun. Thèse de doctorat. Douala.
https://www.memoireonline.com/07/23/14272/m_Mise-en-place-dun-systeme-dinformation-hospitalier-base-sur-un-dossier-patient-informatise23.htm (4/07/2024).
- [4] Degoul F et Fieschi P. (2012) Informatisation et confidentialité: l'expérience de l'Hôpital européen Georges Pompidou. *Laennec*. 1: 55; 38-48.
- [5] Green P et Taylor S. (2020). Impact of electronic health records on patient satisfaction: a national survey. *Journal of health informatics*. <https://www.bing.com/search> (19/08/2024).
- [6] Jacque M. (2023) *L'informatique de santé et l'information: Une vue d'ensemble*. Paris
<https://www.economicsbydesign.com/fr/l%27informatique-et-l%27information-dans-le-domaine-de-la-santé/> (28/08/2024).
- [7] Johnson M. (2021) Patient Perceptions of Speed and Efficiency in Lab Services with Electronic Management Systems in the US. *Journal of Health Informatics*. 14: 2 <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0890117120943748a> (19/08/2024).
- [8] Mulamba E. (2021) Problématique de l'accueil du malade dans un milieu hospitalier et son impact sur la qualité de soins, l'hôpital général de référence d'Uvira, RDC <https://www.memoireonline.com/10/12/6209/Problematique-de-laccueil-du-malade-dans-un-milieu-hospitalier-et-son-impact-sur-la-qualite-de.html> (18/08/2024).
- [9] Mulinganya V, Asima F, Mirindi P. (2018) Temps d'attente prolongés aux services de consultation médicale: enjeux et perspectives pour des hôpitaux de Bukavu en République Démocratique du Congo. *Pan Afr Med J*. 29: 173.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6057578/> (18/8/2024).
- [10] Smith J et Johnson M. (2019) Patient concerns about Data Security in Electronic Health Records in the US. *Journal of Health Policy*. 28: 4; 234-246.
- [11] Smith J et Jones, M. (2018) The impact of electronic management systems on patient experience in pharmacies. *Journal of Health Information Systems*. 55-67. (18/8/2024).
- [12] Thompson A. (2020). Patient concerns about data security in digital health: A review of the literature. *Journal of Health Informatics*. 28: 310-319. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/02666669241247781> (18/07/2023).
- [13] Verbeke F. (2015) *Plan National de Développement de l'Informatique de Santé du Burundi 2015-2019 (PNDIS)*. Bujumbura.
https://www.researchgate.net/publication/281970920_Plan_National_de_Developpement_de_l%27Informatique_de_Sante_du_Burundi_2015-2019_PNDIS (04 /6/2024).
- [14] Williams A. et Johnson M. (2019) Patient Trust in Medical and Nursing Care with the Use of Electronic Records in Canada. *Canadian Journal of Health Informatics*. 67-80.

Prévalence et facteurs associés aux fentes labio-palatines dans les formations sanitaires de référence de la Ville de Bunia, Province de l'Ituri, République Démocratique du Congo

[Prevalence and factors associated with cleft lip and palate in referral health facilities in the town of Bunia, Ituri Province, Democratic Republic of Congo]

Katanabo Kukwabo Philippe¹, Amuda Baba Dieu-Merci², and Kamba Avetso Picard³

¹Chercheur Indépendant, Licencié en pédiatrie, Centre Médical Evangélique de Nyankunde, RD Congo

²Professeur Associé, Institut Supérieur des Techniques Médicales de Bunia (ISTM, Bunia), RD Congo

³Assistant, Institut Supérieur des Techniques Médicales de Nyankunde à Bunia, RD Congo

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

ABSTRACT: The aim of this study was to determine the prevalence of and factors associated with cleft lip and palate in newborns in referral health facilities in the town of Bunia.

The cross-sectional method, supported by documentary analysis, was used to carry out this study, which targeted all newborns registered in the referral health facilities in the town of Bunia. Percentage calculations were used to analyse the data.

After analysing the data, this study revealed the following:

- The prevalence of cleft lip and palate in the referral health facilities in the town of Bunia was 1.93%.
- Cleft lip and palate were more common in male newborns (62.4%). 88.6% of newborns with cleft lip and palate were born in pregnancies of 37-42 weeks of amenorrhoea. Nearly half and more than 1/3 respectively of the mothers giving birth to babies with cleft lip and palate were in gestational age 2 and aged 18-24 years.
- The mother's history of alcoholism and diabetes were identified as factors associated with cleft lip and palate in newborns in Bunia.

In the light of these results, it can be concluded that cleft lip and palate continue to be recorded in health facilities in Bunia and that innovative strategies should be used to raise awareness among women of childbearing age.

KEYWORDS: prevalence, associated factors, cleft lip and palate, referral health facilities, Bunia.

RESUME: Cette étude a été conduite dans le but de déterminer la prévalence et les facteurs associés aux fentes labio-palatines chez les nouveaux dans les formations sanitaires de référence de la Ville de Bunia.

La méthode transversale, appuyée par l'analyse documentaire a servi pour la réalisation de la présente étude ciblant tous les nouveau-nés enregistrés dans les formations sanitaires de référence en Ville de Bunia. Le calcul de pourcentage a servi pour l'analyse des données.

Après analyse des données, cette étude a révélé ce qui suit:

- La prévalence de fentes labio-palatines dans les formations sanitaires de référence en Ville de Bunia est de 1,93%.
- Les fentes labio-palatines étaient plus observées chez les nouveau-nés du sexe masculin (62,4%). 88,6% des nouveau-nés avec fentes labio-palatines étaient issus des grossesses de 37-42 semaines d'aménorrhée. Respectivement près de la moitié et plus de 1/3 des mères ayant données naissance aux nouveau-nés avec fentes labio-palatines étaient de gestité 2 et de l'âge de 18-24 ans.

- Les antécédents d'alcoolisme et de diabète de la mère ont été identifiés comme les facteurs associés aux fentes labio-palatines des nouveau-nés à Bunia.

A la lumière de ces résultats, il y a lieu de conclure que les fentes labio-palatines continuent à être enregistrés dans les formations sanitaires de Bunia et que des stratégies innovantes doivent être utilisées pour la sensibilisation chez les femmes en âge de procréation.

MOTS-CLEFS: Prévalence, facteurs associés, fentes labio-palatines, formations sanitaires de référence, Bunia.

1 INTRODUCTION

Les fentes faciales sont des anomalies précoces du développement qui résultent de défauts d'accolement des bourgeons faciaux embryonnaires. Parmi celles-ci, les fentes labio-palatines (FLP) sont les malformations congénitales les plus fréquentes. Ce sont des embryopathies apparaissant dès la période fœtale à partir du deuxième mois de la grossesse et sont souvent associées à des malformations sévères ou à des anomalies chromosomiques qui posent le douloureux problème de l'interruption volontaire de la grossesse (Soumare, 2017).

Partout dans le monde, un enfant naît avec une fente labio-palatine toutes les trois minutes environ soit à peu près 1 enfant sur 700. En Inde, par exemple, 100 enfants atteints de fentes naissent chaque jour et c'est toutes les 75 minutes aux Etats-Unis (ANONYME, 2020).

Les Fentes Labio-Palatines sont répertoriées dans la liste des maladies rares d'Orphanet pour l'Europe, dans le « Rare Diseases Office » aux USA, dans les textes du ministère de la santé britannique. Elles semblent « non rares » lorsque les formes cliniques sont regroupées, mais sont un exemple de « maladies rares ». Leur fréquence, toutes formes anatomiques et syndromiques confondues, est de 1 sur 1000 naissances en Europe, mais la répartition est de 25 % pour fentes labiales (1 sur 4000 à 10 000 naissances); 45 à 50 % pour les fentes labio-palatines (1 sur 2 000 à 5 000 naissances) et 25 à 30 % pour les fentes vélo-palatines (1 sur 3300 à 1 sur 10 000 naissances).

Elles représentent la fente faciale congénitale la plus fréquente dans toutes les populations et tous les groupes ethniques. Elle revêt des aspects cliniques variables sous forme de fente labiale, fente labio-palatine ou fente palatine. La fente labiale est due à un défaut de fusion des bourgeons maxillaires et médian entre la 5ème et 7ème semaine embryonnaire (Charuau, 2021).

Elles sont souvent isolées, plus rarement associées à d'autres malformations pour devenir un des éléments d'un syndrome malformatif complexe. Ces malformations associées alourdissent la prise en charge et le pronostic et les compliquent (Allalou, 2018).

Les divisions labio-alvéolo-palatines constituent une dysmorphose congénitale commune qui affecte 1 sur 500 à 1 sur 700 naissances vivantes en Europe avec des variations selon l'ethnie, l'origine géographique, le statut socioéconomique des parents, le sexe de l'embryon et le type de la fente (Ghers, 2022).

L'étude menée par Doray et al. (2012) a révélé que les fentes orofaciales sont une malformation fréquente avec une prévalence totale de 2,1 pour 1000 naissances en France. Cette étude met également en évidence le contexte pathogénique différent de la CL±P par rapport à la CP, en ce qui concerne la sex-ratio et la proportion et le type de malformations associées.

La fente labiale (FL), la fente labiale et palatine (FLP) et la fente palatine isolée (FP) sont des anomalies congénitales orofaciales les plus fréquentes. Elles représentent environ 6 à 15% des malformations congénitales chez l'enfant admis en pédiatrie et la mortalité globale est de 12%. La prévalence des fentes labiale et palatines est variable d'un pays à un autre en Afrique Subsaharienne (Kakule Kabuyaya et al., 2024).

D'après une récente étude réalisée par Longombe en 2012 à l'Est de la République Démocratique du Congo, l'étiologie des FLP serait plus liée aux facteurs environnementaux que génétiques (Milindi et al., 2014).

Eu égard à ce qui précède, cette étude vise à déterminer la prévalence et les facteurs associés aux fentes labio-palatines dans les structures de référence en Ville de Bunia.

2 MATERIEL ET METHODES

Cette étude a été conduite dans les formations sanitaires de référence de Bunia. La ville de Bunia est le chef-lieu de la province de l'Ituri, au Nord-Est de la République Démocratique du Congo.

La méthode transversale telle que décrite par Vaugran et Morrow (1991) a servi pour la réalisation de cette étude.

La population de cette étude est constituée de tous les nouveau-nés enregistrés dans les formations sanitaires de référence de la ville de Bunia du 1 janvier 2021 au 31 décembre 2023. L'échantillon de cette étude a été exhaustif, car il est constitué de l'ensemble de la population. Pour la suite du travail, ce sont seulement les nouveau-nés avec fentes labio-palatines qui ont été pris en compte.

L'analyse documentaire a permis à collecter les données de cette étude. Elle consistait à consulter les dossiers des nouveau-nés dans les structures retenues.

Les données récoltées ont été dépouillées manuellement, codées dans le tri à plat et encodées en utilisant le programme Excel. Elles ont été ensuite exportées dans le logiciel SPSS 20.0 pour être analysées.

3 RESULTATS

Tableau 1. Prévalence des fentes labio-palatines

Cas	Effectif	Pourcentage
Oui	194	1,93
Non	9842	98,07
Total	10036	100

La prévalence de fentes labio-palatines chez les nouveau-nés dans les structures de référence de la ville de Bunia pendant la période d'étude était de 1,93%.

Tableau 2. Caractéristiques sociodémographiques des nouveau-nés avec fentes labio-palatines

Paramètres	Cas	Pourcentage
Sexe		
Féminin	73	37,6
Masculin	121	62,4
Total	194	100,0
Age de la grossesse		
< 37	12	6,2
37-42	172	88,6
>42	10	5,2
Total	194	100,0
Gestité		
1	31	16,0
2	89	45,9
≥ 3	74	38,1
Total	194	100,0
Age de la mère		
< 18	3	1,5
18-24	74	38,1
25-31	49	25,3
32-37	49	25,3
38-49	19	9,8
Total	194	100,0

Parmi les nouveau-nés ayant les fentes labio-palatines, 62,4% étaient de sexe masculin, la plupart (88,6%) étaient issus des grossesses de 37-42 semaines d'aménorrhée, 45,9% étaient nés des mères seco-digestes et 38,1% des mères avaient 18-24 ans s.

Tableau 3. Facteurs associés aux fentes labio-palatines

Antécédents	N	Oui		Non	
		Effectif	%	Effectif	%
Fentes dans la famille	194	5	2,6	189	97,4
Diabète maternel	194	53	27,3	141	72,7
Etat nutritionnel de la mère	194	41	21,1	153	78,9
Tabagisme maternel	194	0	0,0	194	100,0
Alcoolisme maternel	194	85	43,8	109	56,2

Les fentes labio-palatines étaient observées chez 43,8 % des nouveau-nés avec antécédents d'alcoolisme maternel, 27,3% des nouveau-nés des mères diabétiques.

4 DISCUSSION

4.1 PREVALENCE DES FENTES CHEZ LES NOUVEAU-NES

La prévalence des fentes dans les structures sanitaires de références de la ville de Bunia est de 1,93 % (tableau 1).

La prévalence obtenue dans cette étude est supérieure à celle obtenue par Moussa et al. (2020), dans son étude menée au Niger, qui ont trouvé une prévalence de 0,12 % soit 285 sur 2333 patients.

Selon Boyadjiev (2022), les fentes orales sont les anomalies congénitales les plus fréquentes de la tête et du cou avec une prévalence totale de 2,1 pour 1000 naissances vivantes.

Cette prévalence pourrait s'expliquer par la taille de notre échantillon.

4.2 CARACTÉRISTIQUES SOCIO-DÉMOGRAPHIQUES

La fente labio-palatine était observée chez 62,4 % d'enfants du sexe masculin (Tableau II).

Ce résultat est presque similaire à celui de Abdoulaye Diallo Harouna (2012) dans une étude menée au sein du service de chirurgie pédiatrique de CHU Hassan II de Fès au Maroc, qui a trouvé une légère prédominance masculine: 11 garçons sur 19 porteurs de fentes bilatérales soit 58% avec une sex-ratio de 1,22.

Le résultat de Diop et al. (2011), a également révélé le résultat correspondant à celui obtenu dans cette étude. Sur 98 cas observés, 51 étaient du sexe masculin et 47 du sexe féminin au Sénégal.

Selon l'Agence Française d'Adoption (SD), on observe deux fois plus de garçons atteints des fentes labio-palatines et deux fois plus du côté gauche.

Le résultat similaire a été trouvé par Allallou (2018), dans son étude que selon laquelle les fentes labio-palatines étaient prédominantes chez le garçon (63%).

La prédominance masculine est à noter dans les fentes labio-palatines sans aucune explication fournie jusqu'à ce jour.

En ce qui concerne l'âge de la grossesse, le taux élevé des fentes labio-palatines était trouvé chez les enfants nés au terme normal de la grossesse (88,6 %) (Tableau II).

A ce jour, il n'y aurait pas d'explication scientifique solide sur l'âge de la grossesse et la survenue des fentes labio-palatines.

Quant à la gestité, la proportion élevée des fentes labio-palatines était de 45,9% chez les enfants nés des mères paucigestes (Tableau II).

L'étude de Kamla portant sur épidémiologie des malformations congénitales visibles à la naissance à Yaoundé a révélé une proportion presque similaire à la nôtre.

Le rang de naissance semble influencer considérablement la survenue d'une fente labio-palatine en général.

En ce qui concerne l'âge de la mère, la prévalence élevée est observée chez les nouveau-nés des mères de 18-24 ans (38,1 %) (Tableau II).

L'étude de Karmil (2019) a révélé l'âge maternel moyen de 27,8 ans avec des extrémités d'âge allant de 19ans à 45ans. Dans notre série 93% de mamans âgées de 45 ans avaient un enfant avec fentes labio-palatines.

Le risque de survenue de fente labio-palatine augmente avec l'âge maternel.

4.3 FACTEURS ASSOCIES AUX FENTES LABIO-PALATINES CHEZ LES NOUVEAU-NES

4.3.1 ANTÉCÉDENTS DES FENTES EN FAMILLE

La proportion des fentes labio-palatines était élevée chez les nouveau-nés de la famille avec antécédent des fentes labio-palatines (2,6 %) (Tableau III).

Sur une étude longitudinale norvégienne, parmi les parents au premier degré, le risque relatif de récurrence de la fente était de 32 (intervalle de confiance à 95 % 24,6 à 40,3) pour toute FL et de 56 (37,2 à 84,8) pour la FP uniquement (différence $P = 0,02$). Le risque de fentes chez les enfants de mères et de pères touchés était similaire. Les risques de récurrence étaient également similaires pour les paires parents enfants et frères et sœurs (MAFACE, 2021).

Notre résultat est inférieur à celui de Milindi et al dans leur étude menée sur les fentes labiopalatines dans la province du Katanga en République Démocratique du Congo: Aspects épidémiologiques, anatomocliniques et thérapeutiques, qui ont trouvé que 20,7% des patients avaient un membre de famille porteur de cette malformation en premier degré.

Cette notion d'antécédents pourrait s'expliquer par le fait d'existence des mariages consanguins dans certaines contrées de la province.

4.3.2 ANTÉCÉDENT DE DIABÈTE MATERNEL

La proportion des nouveau-nés avec fentes labio-palatines était de 23,3 % des mères avec antécédent de diabète pendant la grossesse.

Le diabète sucré gestationnel, l'état d'hyperglycémie pendant la grossesse et la prolifération fœtale peuvent être des facteurs possibles qui conduisent à la survenue de fente labio-palatine.

4.3.3 ANTÉCÉDENT DE TABAGISME ET D'ALCOOLISME

Les résultats de cette étude indiquent que 43,8 % des nouveau-nés des mères ayant l'antécédent d'alcoolisme.

Ce résultat rejoint l'idée de Azernour-Bonnefoy (2021), selon laquelle le tabac et l'alcool pendant la grossesse sont montrés du doigt. Il est aujourd'hui établi avec certitude qu'il faut les éviter pendant la grossesse.

Le tabagisme maternel pendant la grossesse est un facteur de risque reconnu, y compris le tabagisme passif. Il est estimé que 4 % de toutes les fentes orofaciales et 12 % des FL/P bilatérales pourraient être attribuées au tabagisme maternel périconceptionnel. Le rôle de la consommation modérée d'alcool est moins évident mais la consommation de grands volumes d'alcool sur une courte période (« binge drinking » ou alcoolisation aiguë) a été identifiée comme facteur de risque (MAFACE, 2021).

La consommation d'alcool pendant la grossesse peut être à l'origine d'une fente labiale isolée avec ou sans fente palatine.

Cette étude s'est basée sur un petit nombre de paramètres, et n'a pas intégré toutes les composantes possibles, faisant que certaines dimensions ne soient pas exploitées. C'est ce qui constitue la limite de la présente étude.

5 CONCLUSION

Cette étude a révélé une prévalence de fentes labio-palatines de 1,93%. Les nouveau-nés du sexe masculin sont les plus affectés. Parmi les facteurs associés aux fentes labio-palatines chez les nouveau-nés en Ville de Bunia, il y a l'antécédent de fente labio-palatines dans la famille, l'antécédent de diabète, du tabagisme et de l'alcoolisme.

Au vu de ces résultats, il y a donc lieu de renforcer la sensibilisation des femmes en âge de procréer face à ce problème.

REFERENCES

- [1] Aboudlaye Diallo Harouna M. (2012). *Fente labiale bilatérale: à propos de 19 cas*. Thèse, Faculté de Médecine et Pharmacie, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, <https://toubkal.imist.ma/bitstream/handle/123456789/22602/112-12.pdf?sequence=1> (10/08/2024).
- [2] Agence française d'Adoption (SD). *Les fentes labio-palatines*. https://www.diplomatie.gouv.fr/IMG/pdf/les_fentes_labio-maxillo-palatines_cle868311.pdf (11/08/2024).
- [3] Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des Produits de Santé (2022). *Classes d'âge des enfants et adolescents*. <https://ansm.sante.fr/dossiers-thematiques/medicaments-en-pediatrie-enfants-et-adolescents/classes-dage-des-enfants-et-adolescents> (11/08/2024).
- [4] ANONYME (2016). *Les établissements de santé: Cadre juridique et institutionnel*. <https://drees.solidarites-sante.gouv.fr/sites/default/files/2021-04/fiche1-5.pdf> (12/08/2024).
- [5] ANONYME (2020). *Fentes labio-palatines: les recommandations de la FDI*. <https://www.information-dentaire.fr/actualites/fentes-labio-palatines-les-recommandations-de-la-fdi/> (11/08/2020).
- [6] Azernour-Bonnefoy L. (2021). *Fente labio-palatine (bec-de-lièvre): symptômes, causes et opération*. <https://www.doctissimo.fr/sante/sante-dentaire/orthodontie/fente-labio-palatine-definition> (12/08/2024).
- [7] Benateau H. et al. (2019). *Palato velar fistulae in cleft palate*, in *Ann Chir Plast Esthet*, 64 (5-6): 406-412, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31178309/> (2/5/2024).
- [8] Berail A. et al. (2015). *Epidemiology of malformations associated with cleft lip and palate: a retrospective study of 324 cases*, in *Arch Pediatr*. Volume 22, N° 8 disponible sur <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26142764/> (9/04/2024).
- [9] Boyadjiev Boyd SA. (2022). *Fente labiale et fente palatine*. In: *Le manuel de MSD version pour les professionnels de santé*. <https://www.msmanuals.com/fr/professional/pC3A9diatrie/anomalies-craniofaciales-et-musculosquelettiques-congC3A9nitaes/fente-labiale-et-fente-palatine> (11/08/2024).
- [10] Centers for Disease Control and Prevention (2014). *Integrated Guidance for Developing Epidemiologic Profiles*, 132 p, https://www.cdc.gov/hiv/pdf/guidelines_developing_epidemiologic_pro (12/08/2024).
- [11] Chirakan Sirimarahaj et al. (2023). *Predisposing factors of non-syndromic cleft lip and cleft palate in the northern Thai population: A 10-year retrospective case-control study*.
- [12] Diop R. et al. (2011). *Aspects épidémiologiques, cliniques et thérapeutiques des fentes unilatérales du palais primaire: présentation de 98 observations*. In: *Médecine Buccale Chirurgie Buccale*, 17: 189-193. <https://www.jomos.org/articles/mbcb/pdf/2011/03/mbcb110018.pdf> (10/08/2024).
- [13] Doray B. et al. (2012). *Epidemiology of orofacial clefts (1995-2006) in France (Congenital Malformations of Alsace Registry*, in *Arch Pediatr*. Disponible sur <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22925539/> (09/04/2024).
- [14] Kakule Kabuyaya M. et al. (2024). *Fentes labiopalatines en Afrique subsaharienne. Revue de la littérature*. In: *Journal of Medicine, Public Health and Policy Research*, 4 (1), 55-78, <https://pugoma.com/JMPHPR/article/download> (consulté, le 10/08/2024).
- [15] Kisito Nagalo et al., (2017). *Congenital malformations and medical conditions associated with orofacial clefts in children in Burkina Faso*, in *BMC Pediatr*. Volume 17, N° 1, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28292285/> (09/04/2024).
- [16] Kouasssi Zegbeh-Nguessan E. et al. (2022). *Management of Congenital Malformations of the Face in the Gbèkè Region (Côte d'Ivoire)*. In *Open Journal of Stomatology*, vol.12, N° 05. <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=117164> (10/08/2024).
- [17] MAFACE (2021). *Fentes labiales et ou palatines*. https://www.has-sante.fr/upload/docs/application/pdf/2021-11/pnds_fentes_labiales_etou_palatines-texte-novembre_2021.pdf (11/08/2024).
- [18] Mourad Allalou (2018). *Incidence et prise en charge des malformations congénitales associées protocole d'un traitement primaire précoce*, These, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Faculté de Médecine, 312p. <https://dspace.ummo.dz/server/api/core/bitstreams/5dff99bf-fd6a-4196-b351-95d7c56ca5be/content> (2/5/2024).
- [19] Moussa M. (2020). *Les fentes labio-palatines au Niger: Aspects épidémiologiques, cliniques, thérapeutiques et évolutifs à propos de 285 cas*. In *Health Sciences Disease*, Vol.21, N° 10. <http://hsd-fmsb.org/index.php/hsd/article/view/2322> (10/08/2024).
- [20] NEWARK ELIGIBLE METROPOLITAN AREA (2021). *Epidemiologic profile*. <https://www.nemaplanningcouncil.org/community-reports/epidemiologic-profile> (12/08/2024).
- [21] Vaughan JP et Morrow RH (1991) *manuel d'épidémiologie pour la gestion de sante au niveau de District*. Genève: OMS.

Hybrid 1DCNN+BiLSTM Architecture for Network Intrusion Detection Systems

Kamagaté Beman Hamidja¹, Kanga Koffi¹, Coulibaly Kpinnan Tiekoura¹, and Konaté Adama^{1,2}

¹Ecole Supérieure Africaine des Technologies de l'Information et de la Communication (ESATIC), Abidjan, Côte d'Ivoire

²Institut National Polytechnique Félix Houphouët Boigny (INP-HB), Yamoussokro, 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: The rapid growth of Internet of Things (IoT) networks, fuelled by advancements in Low-Power Wide-Area Networks (LPWANs) and 5G technologies, has transformed industries such as healthcare, smart cities, and manufacturing. However, this expansion has also exposed IoT systems to cybersecurity vulnerabilities, making them prime targets for network intrusions and cyberattacks. Addressing these threats requires effective Intrusion Detection Systems (IDS) capable of identifying and classifying malicious traffic patterns. This paper proposes a hybrid IDS framework that integrates a 1D Convolutional Neural Network (1D CNN) and a Bidirectional Long Short-Term Memory (BiLSTM) model. The 1D CNN serves as a feature extractor, capturing spatial patterns in network traffic, while the BiLSTM leverages temporal dependencies in both forward and backward directions to enhance classification accuracy. Experiments assess the model's performance in both binary and multi-class classification tasks. The results demonstrate that the 1D CNN+BiLSTM outperforms traditional methods, including SVM, XGBoost, and CNN+LSTM, achieving the highest accuracy (95.03%), recall (94.80%), and F1-score (94.90%). These findings highlight the model's ability to minimize false positives and false negatives, making it highly suitable for real-time intrusion detection in IoT environments.

KEYWORDS: Network security, Deep learning, anomaly detection, multi-class classification, IoT.

1 INTRODUCTION

Advancements in Internet of Things (IoT) networks, particularly in Low-Power Wide-Area Network (LPWAN) technologies such as LoRaWAN, along with the emergence of 5G Reduced Capability (Redcap) technology, have made these networks indispensable for modern infrastructures across various industries, including healthcare, manufacturing, agriculture, and smart cities. The proliferation of IoT devices and use cases has led to their extensive use in real-time data communication, remote monitoring, and critical applications such as predictive maintenance, telemedicine, and automated supply chain management. Many of these applications rely on cloud computing environments to enhance processing power, data storage, and scalability, enabling seamless integration and efficient operation of IoT ecosystems [1].

However, the rapid adoption of IoT networks has introduced numerous and increasingly sophisticated cybersecurity threats. These threats exploit vulnerabilities in IoT devices and systems to carry out cyberattacks, compromising key properties such as confidentiality, integrity, and availability. Maintaining these properties is crucial for protecting sensitive IoT-generated data, including patient health metrics, industrial operation data, and urban traffic analytics. Data breaches can have severe consequences, ranging from jeopardizing patient safety in healthcare systems to disrupting essential services in smart cities and industrial operations [2]. One of the most significant threats to IoT networks is unauthorized network intrusion. Malicious actors exploit IoT-specific vulnerabilities to gain control over devices and systems, resulting in data theft, operational disruptions, and large-scale cyberattacks. For example, Distributed Denial of Service (DDoS) attacks often utilize compromised IoT devices as attack vectors, highlighting the urgent need for robust security measures in IoT networks.

To counter such threats, several solutions have been proposed, with Intrusion Detection Systems (IDS) standing out as one of the most effective [3]. An Intrusion Detection System (IDS) is a software or hardware solution designed to monitor a network or computing system to identify malicious activities or security policy violations. Depending on its scope, an IDS can operate at two levels. It can operate in network level by monitoring network to find malicious traffic, such IDS is called Network Intrusion Detection System (NIDS). When the IDS monitor a local process and system files of specific host it is called Host Intrusion Detection System (HIDS).

As intrusion attacks become increasingly sophisticated, Intrusion Detection Systems (IDS) have progressively embraced machine learning and deep learning approaches. These AI-driven technologies significantly enhance detection and monitoring capabilities by identifying emerging threats and previously uncatalogued attack signatures. Recent research highlights the pivotal role of these models in proactively detecting cyberattacks and fortifying system resilience against evolving threats.

In [4], an optimized IDS is proposed, utilizing Support Vector Machines (SVM) to efficiently detect both known and unknown attacks. The model incorporates feature selection and dimensionality reduction techniques to improve detection performance. Optimization strategies such as grid search and Particle Swarm Optimization (PSO) are employed to fine-tune the SVM-based IDS, delivering precise classification results.

Expanding on this, the study in [5] explores feature extraction methods combined with machine learning models to detect cyberattacks in Internet of Things (IoT) environments. With the growing prevalence of IoT devices managing sensitive data, effective detection mechanisms are critical. The study focuses on reducing data dimensions while preserving essential information to improve classification accuracy. Techniques such as image filters and transfer learning models, including VGG-16 and DenseNet, are evaluated. Additionally, machine learning algorithms like Random Forest, K-Nearest Neighbors (KNN), and SVM, as well as stacked models, are assessed. The combination of VGG-16 with stacking achieved the highest classification accuracy.

In [6], a network-based IDS is introduced to protect smart home devices, a frequent target of cyberattacks. This system uses eXtreme Gradient Boosting (XGBoost), an ensemble learning technique, to analyse network traffic and detect Distributed Denial-of-Service (DDoS) attacks. Cross-validation results reveal that the XGBoost model achieves up to 94% accuracy in classifying multiple attack types, outperforming traditional classifiers such as SVM, Decision Trees (DT), and Random Forests (RF) while improving network performance.

The study in [7] presents an IDS leveraging a deep learning model called Pearson-Correlation Coefficient - Convolutional Neural Networks (PCC-CNN). By combining linear feature extraction with CNNs, the system effectively handles both binary anomaly detection and multiclass classification for various attack types. Evaluated on three publicly available datasets, the PCC-CNN model demonstrates superior accuracy compared to traditional machine learning models like Logistic Regression, KNN, CART, and SVM, establishing it as a promising solution for advanced intrusion detection.

In [8], a one-Dimensional Convolutional Neural Network (1D CNN) is introduced, specifically designed for feature extraction from time-series data. This architecture comprises three 1D convolutional layers, each followed by a max-pooling layer to reduce computational complexity while retaining key features. The outputs are flattened and processed through two fully connected layers, with a dropout layer added to mitigate overfitting and enhance generalization. The model achieves excellent performance metrics, including accuracy, precision, recall, and F1-score, effectively detecting various traffic classes such as normal, DDoS_TCP, Ransomware, and MITM. Its hierarchical feature extraction capability enables the 1D CNN to transition from simple patterns to high-level abstract representations, making it stand out among other architectures.

In [9], the authors propose an IDS that integrates a Convolutional Neural Network (CNN) for extracting local features and a Recurrent Neural Network (RNN) for capturing sequential data patterns. The system's performance, evaluated using the CICIDS-2018 benchmark dataset, underscores its effectiveness and superiority over existing approaches. Similarly, the study in [10] introduces three deep learning-based models for intrusion detection in IoT networks: a CNN, a Long Short-Term Memory (LSTM) network, and a hybrid CNN + LSTM model.

These studies collectively highlight the significant advancements in intrusion detection systems achieved through the adoption of machine learning and deep learning techniques. From optimized traditional models to cutting-edge hybrid architectures, these approaches provide robust, accurate, and scalable solutions to address the growing complexity of cyber threats in various environments. Despite these advancements, it remains crucial to improve the performance of these models to reduce the risks of false positives and false negatives, which can pose a threat to network security. It is also noteworthy that hybrid models have achieved excellent results on various datasets. Therefore, in this work, a hybrid approach is proposed by combining a Convolutional Neural Network (CNN) and a Bidirectional Long Short-Term Memory (BiLSTM) model.

The remainder of this work is organized as follows: Section 2 offers an overview of the proposed approach along with a detailed description of the implementation framework and dataset. Section 3 focuses on the experimental setup, results, and discussion. Finally, Section 4 concludes the work.

2 METHODOLOGY

2.1 PROPOSED MODEL

In this section, we propose a method for detecting and classifying network traffic using two complementary architectures. A one-Dimensional Convolutional Neural Network (1D CNN) is utilized as a feature extractor to capture spatial patterns within the data. This is followed by a Bidirectional Long Short-Term Memory (BiLSTM) network, which models temporal dependencies in both forward and backward directions.

The proposed 1D CNN architecture consists of three one-dimensional convolutional layers (Conv1D), each followed by a max pooling layer (MaxPooling1D). The convolutional section concludes with a flatten layer for feature extraction (see figure 1). This architecture is designed to capture spatially localized features, such as source and destination relationships, by analysing attributes like IP addresses, ports and protocols. Furthermore, it extracts traffic flow characteristics, including metrics such as total bytes sent or received, packet transmission rates, and other relevant features essential for network traffic analysis.

For an input sequence X of length n with d features per timestep, the Conv1D layer performs convolution operation to extract spatial features by using formula 1:

$$y[i] = \sum_{j=0}^{k-1} x[i+j] \cdot w[j] + b \tag{1}$$

Where, $x[i+j]$ is an input values within the receptive field, $w[j]$ is a filter weights or kernel, b is the bias term added to the output. The kernel size k is the number of weights in the filter and finally $y[i]$ is the output value, the feature map at position i .

The Conv1D layer is followed by a MaxPooling layer, which is commonly used in CNNs to reduce dimensionality while preserving the most significant features. It achieves this by selecting the maximum value within a specified pool size. Given an input sequence $X = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n]$ and a pool size p , the output after applying max pooling is (formula 2):

$$Y[i] = \max (X[i.s], X[i.s + 1], \dots, X[i.s + p - 1]) \tag{2}$$

Where $Y[i]$ is the output value at position i . $X[i]$ is the input value within the pooling size. the stride s is the step size for moving the pooling window and the pool size p is the width of the pooling window. **Max** refers to selecting the maximum value within a specified pooling region during the pooling operation. This process is used to highlight the most prominent features and reduce dimensionality while retaining important information from the input data.

The last step of 1DCNN section, consist of performing the flatten operation, which reorganizes multi-dimensional feature maps into a 1D vector, ensuring compatibility with dense layers. It retains all extracted features without modification, making it a crucial step in CNNs and models that process sequential data. Given an input tensor of dimensions $X \in \mathbb{R}^{(batch_size, h, w, c)}$, the flatten operation reshapes it into $Y \in \mathbb{R}^{(batch_size, h \cdot w \cdot c)}$ where h is the height of the feature map, w the number of filters and $batch_size$, the number of input samples processed together.

At this stage the Bidirectional Long Short-Term Memory (BiLSTM) is used to capture long-term dependencies by using the output of 1DCNN as input. It captures past dependencies using forward LSTM and future dependencies using a backward LSTM and finally combine the outputs from both directions to produce richer feature representations.

Figure 1 inspired by [11] illustrates the architecture of a Bidirectional Long Short-Term Memory (BiLSTM) network and a detailed view of a LSTM cell.

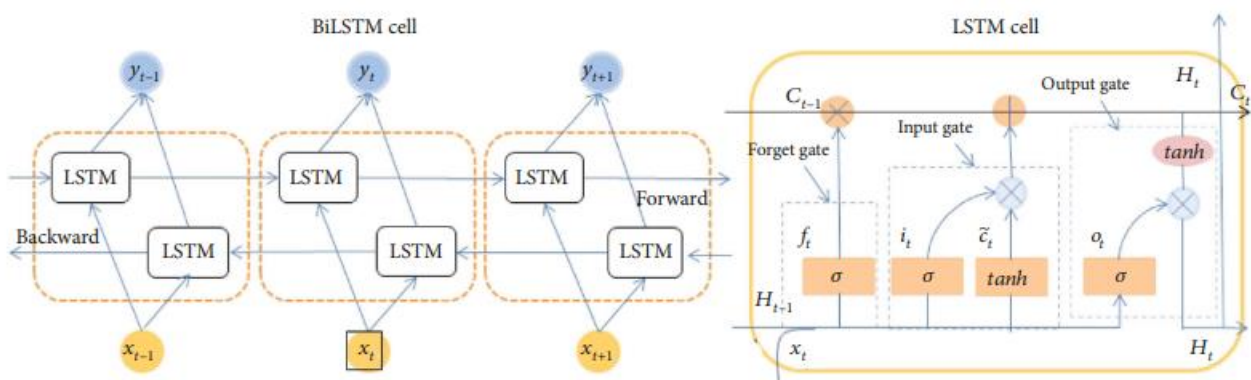


Fig. 1. Architecture of BiLSTM and the internal structure of its LSTM cell unit

A BiLSTM consists of multiple LSTM cells, where each LSTM cell processes information through a set of gates that regulate the flow of data. The right section zooms into the internal workings of a single LSTM cell, showing how it processes inputs and maintains memory states over time. At time t , the output of LSTM cell c_t depend on set of gates for state H_{t-1} . The forget gate f_t , determines the extent to which the information from the previous cell c_{t-1} will be discarded. The input gate i_t determines the proportion of new information that will be stored in the cell c_t . The output gate o_t controls the proportion of the internal state that will be passed to the next cell.

Let $Y \in \mathbb{R}^m$ represent the output obtained from the 1D CNN phase. The LSTM receives as input a sequence vector $Y = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_m)$, and applies a linear transformation to produce a state vector $= (h_1, \dots, h_m)$ by computing following functions at each step $t \in \{1, \dots, m\}$

$$i_t = \sigma(W_{y_i}y_t + W_{h_i}h_{t-1} + W_{c_i}c_{t-1}); \tag{3.1}$$

$$f_t = \sigma(W_{y_f}y_t + W_{h_f}h_{t-1} + W_{c_f}c_{t-1}); \tag{3.2}$$

$$o_t = \sigma(W_{y_o}y_t + W_{h_o}h_{t-1} + W_{c_o}c_t) \tag{3.3}$$

$$c_t = f_t c_{t-1} + i_t \tanh(W_{y_c}x_t + W_{h_c}h_{t-1}); \tag{3.4}$$

$$h_t = i_t \tanh(c_t) \tag{3.5}$$

The parameters W_p, W_h, W_c are learned during the network training [49]. At each step, the cell receives an element y_t from the sequence and outputs h_t the state of that element. The final output of this LSTM layer is the output H_t from the last cell c_t . Such an LSTM layer processes the input in a single direction, from left to right, and can therefore only encode dependencies based on earlier elements in the sequence. The BiLSTM [12] processes the input in the two direction. This allows the network to detect dependencies based on earlier and later elements in the sequence by reading the input from right to left and from left to right.

The pseudo-code for processing the 1D CNN + BiLSTM model, as shown in Algorithm 1, describes the design and training of a hybrid neural network. This model integrates a 1D Convolutional Neural Network (1D CNN) for feature extraction and a Bidirectional Long Short-Term Memory (BiLSTM) network for sequence modeling, specifically aimed at classification tasks.

Algorithm 1 : 1DCNN+BiLSTM

```

1  Input : Train_X, Train_Y
2  Hyper-Parameters : optimizer, rate, feature_layers, poolsize, batchsize
3  Initialize () : Initializes the parameters, model weights, and architecture configurations.
4  Normalization (Train_X, Train_Y) : Scales the input data (Train_X) and target labels (Train_Y) to a normalized range
5  Convolution_1 = Sequential((Conv1D(filters, kernel_size, activation, name="Conv1D_1"), MaxPooling1D(pool_size),
6  Dropout(rate)))
7  Convolution_1 = Sequential((Conv1D(filters, kernel_size, activation, name="Conv1D_1"), MaxPooling1D(pool_size),
8  Dropout(rate)))
9  Convolution_1.compile(optimizer, loss function, metrics)
10 Convolution_1.fit(Train_X, Train_Y, epochs, batchsize)
11 Convolution_1_feature = Model(inputs, Convolution_1("Conv1D").output)
12 Features = Convolution_1_feature.predict(Train_X)
13 BiLstmModel = Sequential(Bidirectional(LSTM(units, activation='tanh', recurrent_activation='sigmoid')), Flatten())
14 BiLstmModel.compile(loss_function, optimizer)
15 BiLstmModel.fit(Features, Train_Y, batchsize, epochs)

```

2.2 FRAMEWORK AND DATASET

The proposed framework begins with data pre-processing, which involves cleaning, transforming, and organizing raw data to prepare it for modeling. In this framework, a pre-trained word embedding, called GloVe, is utilized to initialize the input layer of the 1D CNN. This step is followed by splitting the dataset into training, validation, and test sets. After that, we apply the hybrid 1D CNN + BiLSTM model to detect whether the traffic is normal or abnormal. Finally, abnormal traffic, identified as an attack, is classified into a specific attack type. Figure 2 illustrates the flowchart of this proposed framework.

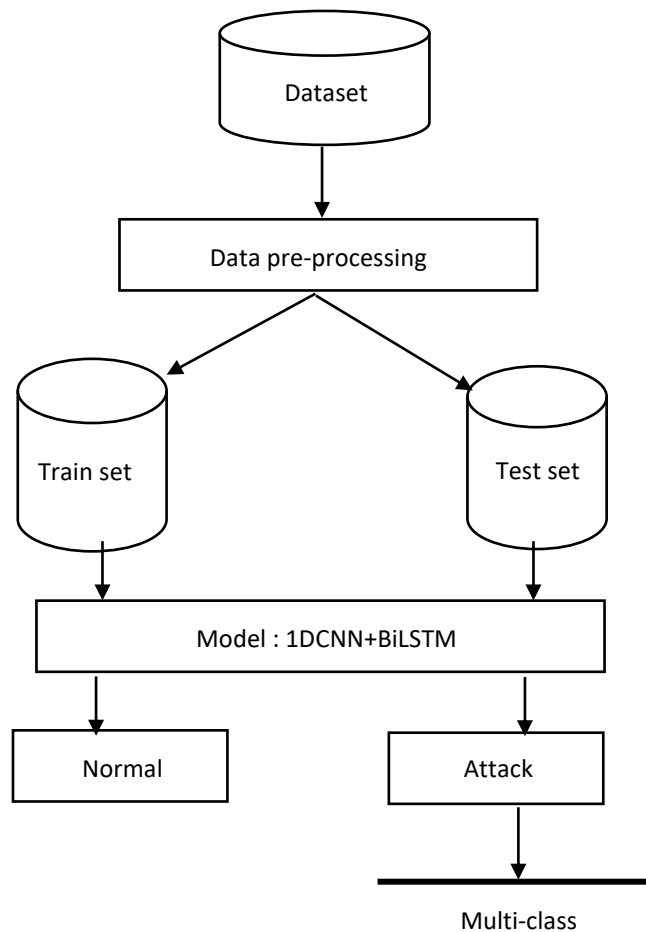


Fig. 2. Flowchart of attacks detection

The UNSW-NB15 dataset is a modern network intrusion detection dataset developed by the Australian Centre for Cyber Security (ACCS) to provide a realistic representation of network traffic and cyber-attacks. It is widely used to evaluate Intrusion Detection Systems (IDS) and machine learning algorithms for network security tasks. It has 49 features, including basic connection details, traffic flow statistics, and content-based features. Figure 3 shows distribution of normal traffic and attacks. It includes eight categories of attacks: DoS, Exploits, Fuzzers, Reconnaissance, Analysis, Backdoor, Shellcode, and Worms.

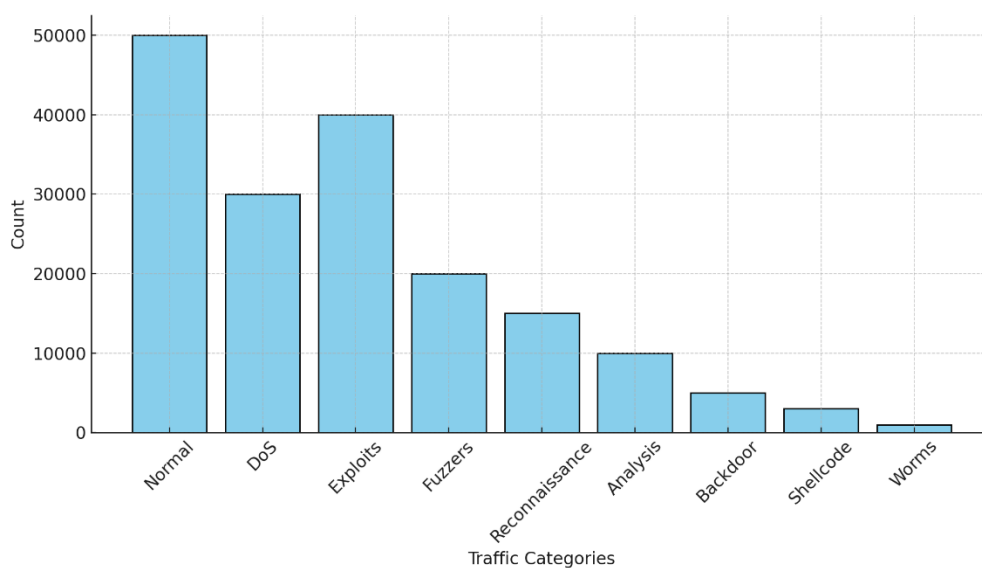


Fig. 3. Distribution of attacks and normal traffic in UNSW-NB15 dataset

3 EXPERIMENTATION, RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1 EXPERIMENTATION

This is about the experimentation performed in this work in order to evaluate the performance of the proposed model compared to others models in literature. This section discusses the experiments conducted in this study to evaluate the performance of the proposed model in comparison to other models from the literature. The experiments were implemented using Python 3 and its machine learning libraries on a Core i7 computer with 16 GB of RAM.

The hybrid 1D CNN+BiLSTM model is compared with other intrusion detection models, including the hybrid CNN+LSTM model presented in [Z], the XGBoost algorithm described in [A], and the SVM classifier. The performance metrics used in this evaluation include accuracy, F1-score, and recall. The models are evaluated in both binary classification, which distinguishes normal from abnormal traffic, and multi-class classification, which identifies the specific types of attacks.

Prior to training the model, GridSearchCV, a hyperparameter tuning technique provided by Scikit-learn in Python is utilized to determine the optimal hyperparameters for the 1D CNN+BiLSTM architecture. The selected hyperparameters are presented in Table 1.

Table 1. model hyperparameters

Hyperparameter	1DCNN (value)	BiLSTM(value)
Dropout	0.3	0.2
Layers	2	3
Learning rate	0.01	0.01
Epoch	100	50
batchsize	80	64
Filter	64	64
optimizer	Gradient Descent	Gradient Descent
Kernel size	3	3
Reccurent activation function	-	sigmoid
Activation function in output layer	-	softmax

3.2 RESULTS AND DISCUSSION

Results of the binary and multi-class classification processes on performance metrics. Table 2 shows the result with the metric accuracy. The results in the table is the mean of both training and test accuracy.

Table 2. Results on accuracy of models in both binary and multi-class classification

Models	Binary classification	Multi-class classification
SVM	91.01	89.12
XGBOOST	92.05	90.01
CNN+LSTM	94.07	94.01
1DCNN+LSTM	95.03	95.00

The results clearly show that the 1D CNN+BiLSTM model outperforms all other approaches for both binary and multi-class classification tasks. Its ability to effectively model spatial and temporal features gives it an advantage in detecting both normal and specific types of attacks in network traffic. While traditional models like SVM and XGBoost offer decent performance, they fall short in handling complex sequential dependencies compared to deep learning architectures. The proposed model demonstrates state-of-the-art performance, making it highly suitable for intrusion detection systems (IDS) in modern network environments.

The study aims to evaluate the performance of both models by using recall as a metric to measure their ability to identify all positive samples. The results are in table 3.

Table 3. Results on recall of models in both binary and multi-class classification

Models	Binary classification	Multi-class classification
SVM	90.50	88.50
XGBOOST	91.70	89.80
CNN+LSTM	93.80	93.60
1DCNN+LSTM	94.80	94.70

Table 3 shows that 1D CNN+BiLSTM achieves the best recall performance in both binary and multi-class classification tasks, demonstrating its ability to accurately detect attacks and classify attack types with minimal false negatives. CNN+LSTM also performs well but is slightly outperformed by BiLSTM, which captures contextual dependencies more effectively. Traditional models (SVM and XGBoost), while performing reasonably well, are less suitable for complex and sequential data such as network traffic. For intrusion detection systems, where recall is critical to avoid missing attacks, the 1D CNN+BiLSTM model should be preferred due to its higher sensitivity and ability to handle sequential data efficiently.

Table 4 shows, the results achieved on F1-score metric. The F1-Score is a harmonic mean of precision and recall that balances the trade-off between false positives and false negatives. It is especially useful for imbalanced datasets, where relying solely on accuracy can be misleading.

Table 4. Results on F1-score of models in both binary and multi-class classification

Models	Binary classification	Multi-class classification
SVM	90.75	88.80
XGBOOST	91.85	89.90
CNN+LSTM	93.90	93.80
1DCNN+LSTM	94.90	94.85

The 1D CNN+BiLSTM model achieves the highest F1-scores across both binary and multi-class classification, making it the most reliable and effective model for intrusion detection systems. Its ability to capture spatial features through CNN and temporal dependencies using BiLSTM enables it to handle complex attack patterns with high sensitivity and precision. While SVM and XGBoost perform reasonably well, they lack the capability to model sequential dependencies, making them less suitable for tasks requiring deep feature extraction.

4 CONCLUSION

This study presented a hybrid Intrusion Detection System (IDS) combining a 1D Convolutional Neural Network (1D CNN) and a Bidirectional Long Short-Term Memory (BiLSTM) model to enhance the detection and classification of network traffic anomalies. The proposed framework effectively leverages 1D CNN for spatial feature extraction and BiLSTM for modeling temporal dependencies in both forward and backward directions, enabling comprehensive analysis of sequential data patterns.

Through experimentation using the UNSW-NB15 dataset, the proposed model was evaluated against traditional machine learning models, including SVM and XGBoost, as well as deep learning approaches like CNN+LSTM. The evaluation metrics—accuracy, recall, and F1-score—demonstrated that the 1D CNN+BiLSTM model consistently outperformed other methods in both binary classification (normal vs. abnormal traffic) and multi-class classification (specific attack types).

The 1D CNN+BiLSTM model achieved the highest accuracy (95.03% and 95.00%), recall (94.80% and 94.70%), and F1-scores (94.90% and 94.85%) across both classification tasks, proving its effectiveness in minimizing false positives and false negatives. These results validate its suitability for real-time intrusion detection systems in modern network environments where robustness and reliability are critical.

Despite the promising performance, further research is recommended to optimize the model's computational efficiency and address the dynamic nature of emerging threats in IoT and 5G networks. Future work will explore adaptive learning strategies, incremental training techniques, and the integration of reinforcement learning to enhance scalability and adaptability. Additionally, improving the handling of imbalanced datasets and real-time deployment scenarios remains a priority for advancing IDS solutions.

REFERENCES

- [1] Lopez, Carlos Alberto, Luis Fernando Castillo, and Juan M. Corchado. «Discovering the value creation system in IoT ecosystems.» *Sensors*, vol. 21, no 2, p. 328 2021.
- [2] Vallabhaneni, Rohith. «Effects of Data Breaches on Internet of Things (IoT) Devices within the Proliferation of Daily-Life Integrated Devices.» 2024.
- [3] Moustafa, Nour, et al. «Explainable intrusion detection for cyberdefenses in the internet of things: Opportunities and solutions.» *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, pp 1775-1807, Vol.no 25, Issue n.3, 2023.
- [4] Yoheswari, S., «optimized intrusion detection model for identifying known and innovative cyber-attacks using Support Vector Machine (SVM) algorithms.» Vol., no. 5, Issue no.1, 2024.
- [5] Musleh, Dhiaa, and al, «Intrusion detection system using feature extraction with machine learning algorithms in IoT.» *Journal of Sensor and Actuator Networks*, Vol., no 12 Issue no2,2023.
- [6] Amru, Malothu, et al. «Network intrusion detection system by applying ensemble model for smart home.» *International Journal of Electrical & Computer Engineering*, Vol.14, no.3, 2024.
- [7] Bhavsar, Mansi, et al. «Anomaly-based intrusion detection system for IoT application.» *Discover Internet of things*, Vol. no3, Issue no1, 2023.
- [8] Arsalan, Muhammad, et al. «1D-CNN-IDS: 1D CNN-based Intrusion Detection System for IIoT.» *2024 29th International Conference on Automation and Computing (ICAC)*. IEEE, 2024.
- [9] Qazi, Emad Ul Haq, Muhammad Hamza Faheem, and Tanveer Zia. «HDLNIDS: hybrid deep-learning-based network intrusion detection system.» *Applied Sciences*, Vol. 13, no 8, 2023.
- [10] ALTUNAY, Hakan Can et ALBAYRAK, Zafer. A hybrid CNN+ LSTM-based intrusion detection system for industrial IoT networks. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 38, p. 101322, 2023.
- [11] PI, Maozheng, JIN, Ning, CHEN, Dongxiao, et al. Short-Term Solar Irradiance Prediction Based on Multichannel LSTM Neural Networks Using Edge-Based IoT System. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2022, vol., no 1, p. 2372748. 2022.
- [12] GRAVES, Alex, FERNÁNDEZ, Santiago, et SCHMIDHUBER, Jürgen. Bidirectional LSTM networks for improved phoneme classification and recognition. In: *International conference on artificial neural networks*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2005. p. 799-804.

Premier inventaire des macroinvertébrés du fleuve Niger à Faranah en Guinée

[First inventory of macroinvertebrates of the Niger River in Faranah, Guinea]

Aïssatou Lamarana Bah^{1,2}, Idrissa Kabore², Lanciné Sangare¹, and Abdoulaye Barry¹

¹Institut Supérieur Agronomique et Vétérinaire de Faranah, Guinée

²Université Ouaga1 - Joseph Ki Zerbo, 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: In Guinea, water resources are under anthropogenic pressure. Changes in water quality can impact the composition of aquatic fauna. To date this fauna is practically unknown in the Niger River in Guinea. Our research was carried out on a 10 km route from the river to Faranah town centre. The general objective is to assess the richness and distribution of macroinvertebrates. Five stations were sampled during three hydrological regimes: Periods of low water, rising water and recession. Changes in composition, abundance and richness were determined by Kruskal-Wallis analysis of variance. The Equitability Index was used to assess the distribution of different taxa in the sampled stations. The percentage of occurrence is used to determine the frequency of a taxon in a station. Diversity was assessed by the Shannon index. These indices were calculated considering the family as a taxonomic level. At the end of the inventory, 60 families were identified divided into 14 orders for 5 classes (insects, lamellibranchs, gastropods, crustaceans and annelids). This population is dominated by insects 57%. The faunal composition corresponds to the richness of African fresh waters. Depending on the hydrological regimes, 85% of the species collected are constant while for all the stations it is 88% which are fixed. The values of the Shannon >2 and equitability indices close to 1 reflect the presence of a very rich, diverse and stable benthic fauna.

KEYWORDS: Niger River, Faranah, inventory, macro invertebrates.

RESUME: En Guinée, les ressources en eau subissent une pression anthropique. Les changements dans la qualité de l'eau peuvent avoir un impact sur la composition de la faune aquatique. A ce jour cette faune est pratiquement inconnue au fleuve Niger en Guinée. Notre recherche a été menée sur un parcours de 10 Km du fleuve au Centre-ville de Faranah. L'objectif général consiste à évaluer la richesse et la distribution des macroinvertébrés. Cinq stations ont été échantillonnées pendant trois régimes hydrologiques: Périodes d'étiage, de montée des eaux et de décrue. Les changements dans la composition, l'abondance et la richesse ont été déterminés par analyse de variance Kruskal-Wallis. L'Indice d'équitabilité a été utilisé pour évaluer la distribution des différents taxons dans les stations échantillonnées. Le pourcentage d'occurrence a servi pour déterminer la fréquence d'un taxon dans une station. La diversité a été appréciée par l'indice de Shannon. Ces indices ont été calculés en considérant la famille comme niveau taxonomique.

Au terme de l'inventaire 60 familles ont été recensées réparties en 14 ordres pour 5 classes (insectes, lamellibranches, gastéropodes, crustacées et annélides). Cette population est dominée par les insectes 57%. La composition faunistique correspond à la richesse des eaux douces africaines. Suivant les régimes hydrologiques 85 % des espèces récoltées sont constantes alors que pour l'ensemble des stations c'est 88 % qui sont fixes. Les valeurs des indices de Shannon > 2 et d'équitabilité proches de 1 reflètent la présence d'une faune benthique très riche, diversifiée et stable.

MOTS-CLEFS: Fleuve Niger, Faranah, inventaire, macro invertébrés.

1 INTRODUCTION

Les ressources en eau sont confrontées à une pression croissante due à la croissance démographique et aux activités humaines. La plupart des cours d'eau ont été et continuent d'être soumis à des impacts anthropiques [1]. On observe donc généralement une détérioration des milieux aquatiques continentaux sur Terre, notamment les rivières, entraînant des modifications de la qualité de l'eau [2]. Les études de [3], [4] soulignent que la masse d'eau du fleuve Niger est affectée par endroits par la matière organique et les nutriments, entraînant une diminution de sa qualité physique, chimique et biologique. À Faranah, les sources potentielles de pollution des eaux se résument à la configuration géomorphologique du centre-ville et aux activités humaines des habitants du fleuve et de ses affluents [5].

Les changements dans la qualité de l'eau provoqués par des facteurs globaux affectent la faune benthique à travers des changements dans la composition spécifique des rivières et de leurs affluents. Le fond du lit fluvial est considéré comme un élément essentiel des systèmes aquatiques en raison de ses nombreuses fonctions de production, de transformation de la matière organique et de la faune diversifiée qu'il abrite [6].

A ce jour, la faune benthique des eaux du fleuve Niger et de ses affluents en Guinée est quasiment méconnue et les données sont quasiment inexistantes. Cependant, la gestion des écosystèmes aquatiques nécessite une compréhension de leur biologie et de leur écologie ainsi que de leurs fonctions. De même, l'utilisation de toute communauté biologique dans les systèmes de protection et/ou de surveillance des sources d'eau nécessite la caractérisation de sa diversité et de sa structure [7]. Ceci explique la motivation de rechercher des connaissances de macroinvertébrés benthiques au centre de Faranah, considérée comme la ville la plus proche de la source de ce grand fleuve, dont bénéficient tous les États membres du bassin du Niger.

Leurs connaissances permettront de doter les agences des eaux guinéennes d'outils pour contrôler et surveiller la pollution anthropique et l'évolution des écosystèmes du cours supérieur du fleuve Niger pour une gestion durable face au changement climatique. L'objectif de ce travail est de fournir des informations de première main sur les macroinvertébrés benthiques du cours supérieur du fleuve Niger. Les objectifs spécifiques étaient (1) de déterminer la composition et la structure des macroinvertébrés du fleuve Niger à Faranah et (2) d'évaluer la diversité et l'abondance des populations de macroinvertébrés dans la même zone.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

L'étude a été menée sur un tronçon de 10 kilomètres le long du fleuve Niger, au centre de Faranah, là où prend sa source. Le fleuve Niger prend sa source dans la crête de Guinée et est le troisième plus long fleuve d'Afrique (environ 4 200 km), après le Nil et le Congo. La superficie du bassin est d'environ 2 120 000 km² [8], dont 130 000 km² sont situés en Guinée, Afrique de l'Ouest [9] Figure 1a. Le bassin du Niger (Figure 1b) en Guinée couvre une superficie de 103 235 kilomètres carrés, soit 41 % de la superficie totale du pays.

Le centre-ville de Faranah est situé au centre de la Guinée et fait partie intégrante de la région, couvrant une superficie d'environ 47 km² et une population de 56 463 habitants, traversé par le fleuve Niger du sud au nord (Fig. 1c). De nombreux affluents du fleuve Niger traversent la ville de Faranah.

La zone est caractérisée par l'alternance de deux saisons de durée variable et de quatre (4) régimes hydrologiques. La saison sèche commence en novembre et se termine en mai. La température moyenne sur 30 ans (1991 à 2021) est de 22°C, avec une température minimale de 13,9°C en janvier et une température maximale de 36,9°C en mars. La saison des pluies commence en mai et se termine en octobre. La pluviométrie annuelle moyenne au cours de la même période était de 1523,8 mm. Les quatre (4) régimes hydrologiques sont: étiage, montée des eaux, période de crue et période de décrue finale.

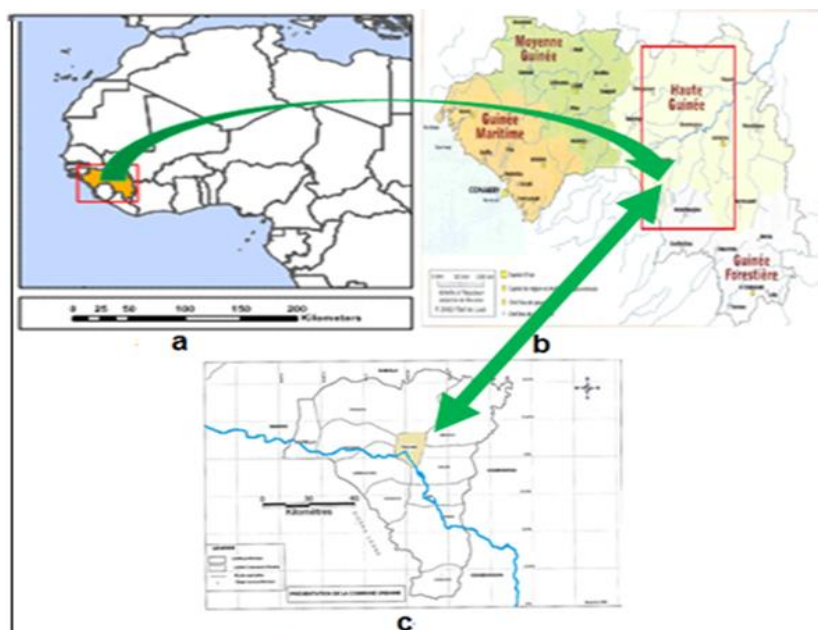


Fig. 1. Zone d'étude

2.2 ÉCHANTILLONNAGE DE MACROINVERTÉBRÉS

Six (6) campagnes (une par mois) ont été réalisées sur 5 sites durant trois (3) régimes hydrologiques: période d'étiage (mars à avril), période de montée des eaux (mai à juin), période de décrue finale (décembre - janvier).

2.3 MESURES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

À chaque prélèvement et sur chaque site, nous avons mesuré les paramètres de température, de pH et de conductivité à l'aide d'un appareil multiparamétrique de marque HI98130. L'oxygène dissous a été mesuré à l'aide d'un oxymètre portable de marque HI83200-02. La vitesse d'écoulement de l'eau a été déterminée à l'aide d'un flotteur à ruban de 50 m et d'un chronomètre [10]. Cet exercice a été répété cinq fois.

2.4 MÉTHODES DE CAPTURE DES MACROINVERTÉBRÉS

L'échantillonnage des macroinvertébrés a été réalisé en plaçant l'ouverture d'un filet troubleau de 25 × 25 cm avec un maillage de 500 µm à contre-courant, légèrement au fond en chaque point le long d'un transect de 100 m de long. Au niveau du microhabitat, les roches, les plantes aquatiques, le bois mort, etc. sont évacués dans le filet; le filet est ensuite versé dans des seaux pour être trié. Les échantillons sont versés dans des bocaux pour éliminer les débris végétaux et minéraux. Les échantillons collectés dans le tri ont été fixés dans un récipient en plastique rempli d'eau de rivière alcoolisée à 90°, puis placés dans une boîte de Pétri pour le comptage et l'analyse des taxons.

2.5 IDENTIFICATION DES TAXONS

L'identification des macroinvertébrés s'effectue principalement à l'aide de la loupe binoculaire Nachet NS de marque Motic. Les clés d'identification utilisées sont celles proposées par ces auteurs [11], [12] et [13].

2.6 METHODES D'ANALYSE DES POPULATIONS DE MACROINVERTEBRES

L'analyse structurelle des macroinvertébrés capturés est basée sur la composition de la population, la richesse, l'abondance taxonomique et des indices écologiques (par exemple diversité, fréquence, équitabilité [14]).

Les logiciels d'analyse statistique MS EXCEL, ANOVA Kruskal-Wallis utilisant Past 3 et SPSS 20 ont été utilisés pour comparer les taxons capturés en fonction des régimes hydrologiques et en fonction des sites.

Le test non paramétrique de Mann-Whitney U a été utilisé pour tester la variabilité des paramètres entre différents groupes de stations en paires et de régimes hydrologiques en paires. Nous avons utilisé la valeur moyenne des taxons collectés pour cette analyse.

Pour évaluer la diversité des populations dans les eaux étudiées, l'indice de diversité de Shannon (H) a été utilisé; cet indice convient aux études comparatives des populations. La méthode de calcul est la suivante: $H = -\sum p_i \log_2(p_i)$ (1) où H=indice de diversité de Shannon; formules [15] et [16]; p_i est la proportion d'individus dans la ième espèce, $\log_2(p_i)$ est p_i de logarithme en base 2. P_i = Proportion du ième taxon dans la population. Plus H augmente, plus la diversité est grande.

Pour estimer l'abondance relative de chaque taxon, la régularité de la répartition des taxons et la qualité organisationnelle de la population, nous avons utilisé l'indice d'équité de Pielou. L'équité est dérivée selon la formule: $E = H / \log_2 S$ où E=indice d'équité; H=indice de diversité de Shannon, S=nombre de taxons. Les deux indices sont calculés en considérant les familles comme niveaux taxonomiques (Moisan et Pelletier, 2008). Ce niveau de classification a permis à ces auteurs [17] de montrer que les zones dégradées ont des indices plus faibles par rapport aux zones non dégradées des rivières algériennes.

3 RESULTATS

3.1 DETERMINATION DES PARAMETRES PHYSIQUES ET CHIMIQUES

Les valeurs maximales minimales moyennes et les écarts types des paramètres physico-chimiques de l'eau (température, pH, turbidité, conductivité et oxygène dissous) mesurés avant la capture des macroinvertébrés sont consignés dans le tableau 1.

Tableau 1. Résumé des résultats des analyses physiques et chimiques

Variabes	Min	Max	Moy	Ectypes
Température (°C)	18,10	28,89	24,56	2,62
Ph	6,12	7,23	6,75	0,22
Turbidité (NTU)	0,02	190	50,01	50,18
Conductivité (µs/cm)	22,17	56,98	40,51	9,05
Oxygène dissout (mg/l)	3,52	8,87	5,40	1,37

3.2 COMPOSITION ET ABONDANCE DES MACROINVERTÉBRÉS

À partir de l'inventaire des macroinvertébrés, un total de 60 familles ont été capturées. Ils sont répartis en 14 ordres et répartis-en 5 classes (insectes, lamellibranches, gastéropodes, crustacés et annélides) tableau 2.

Tableau 2. La position systématique des macroinvertébré récoltés dans les stations des cours d'eau échantillonnés

	Classe	Ordre	Famille	CP_CV	AF_P	AF_I
Arthropodes	Insectes	Ephéméroptères	Prosopistomadae	*	0	0
			Tricorythidae	*	*	*
			Notonurudae	*	0	0
			Epheneridae	*	0	0
			Euthyplocidae	*	0	0
			Baetidae	*	*	*
			Leptophlebiidae	*	0	0
			Caenidae	*	0	0
		Hémiptères	Gerridae	*	*	*
			Notonectidae	*	*	*
			Nepidae	*	*	*
			Corixidae	*	*	*
			Hydrométridae	*	0	*
			Belostomatidae	*	*	*
			Pléidae	*	0	*

			Veliidae	*	0	0
			Naucoridae	*	*	*
	Coléoptères		Elmidae	*	*	*
			Haliplidae	*	*	*
			Hydrophilidae	*	*	*
			Dytiscidae	*	*	*
			Gyrinidae	*	*	*
	Odonates		Libellulidae	*	*	*
			Corduliidae	*	*	*
			Gomphidae	*	*	*
			Coenacriidae	*	*	*
	Diptères		Chironomidae	*	*	*
			Tabanidae	*	*	*
			Culicidae	*	*	*
			Dixidae	*	*	*
			Simuliidae	*	*	*
			Syrphidae	*	*	*
	Trichoptères		Ecnomidae	*	0	0
			Hydropssychidae	*	0	0
			Philopotamidae	*	0	0
			Macronematidae	*	0	0
			Leptoceridae	*	0	0
			Hydroptilidae	*	0	0
	Plécoptères		Perlidae	*	0	0
	Hydracarinae		Hydrachnedae	*	*	*
	Annélides	Oligochètes	Naididae	*	*	*
			Lumbricidae	*	*	*
			Tubificidae	*	*	*
		Achète	Glossiphonidae	*	*	*
			Hirudidae	*	*	*
Mollusques	Gastéropodes	Prosobranches	Hydrobilidae	*	*	*
			Bulininae	*	0	*
		Pulmonés	Pilidae	*	*	*
			Planorbidae	*	*	*
			Physidae	*	*	*
			Lymnaeidae	*	*	*
	Lamellibranches	Bivalves	Unionidae	*	0	0
			Mutelidae	*	0	0
			Eutheriidae	*	0	0
			Corbiculidae	*	0	0
			Ancylidae	*	*	*
			Margaritiferidae	*	0	0
			Bulinidae	*	*	*
			Sphaeriidae	*	*	*
	Crustacés	Décapodes	Potamidae	0	*	*
Richesse taxonomique	par type CO			59	38	39
Richesse taxonomique totale					60	

* = présent dans un milieu, 0 = absent dans un milieu; CP_CV = Cours Principal Centre-Ville; AF_P = Affluent Permanent; AF_I = Affluent Intermittent; CO= Cours d'Eau

3.2.1 CHANGEMENTS SPATIO-TEMPORELS DANS LA COMPOSITION DES MACROINVERTEBRES

Le nombre de familles capturées varie selon le cours d'eau échantillonné et le régime hydrologique. Sur les 60 familles capturées, 59 familles ont été trouvées dans cours principal (CP_CV) (c'est-à-dire le fleuve Niger), 39 familles dans la section l'Affluent Permanent (AP), et 38 familles dans l'affluent intermittent (AI).

À partir du tableau 2, nous avons observé qu'au niveau du plat principal, les Hémiptères ont enregistré le plus grand nombre de familles (9), suivis des Éphémères et des Bivalves, avec 8 familles dans chaque ordre. Il n'existe qu'une seule famille au niveau des Plécoptères, et une seule famille au niveau des Hydracarinae. À l'Affluent permanent, ce sont les Hémiptères et les Diptères qui ont été capturés en plus grand nombre, avec respectivement 8 et 6 familles, suivis des Coléoptères avec 5 familles. L'Affluent Intermittent est le cours d'eau le moins fourni en macroinvertébrés. L'ordre le plus représenté est celui des Hémiptères (6 familles), suivi des Coléoptères (5 familles). Décapode n'a qu'une seule famille.

Le nombre de famille par ordre varie de 1 à 9 dans le cours principal, de 1 à 8 dans l'affluent permanent et de 1 à 6 dans l'affluent intermittent. Malgré la différence de valeurs pour les deux affluents, leurs valeurs médianes sont les mêmes (2,5), tandis que la valeur médiane pour le cours principal est égale à 4 (Fig. 2).

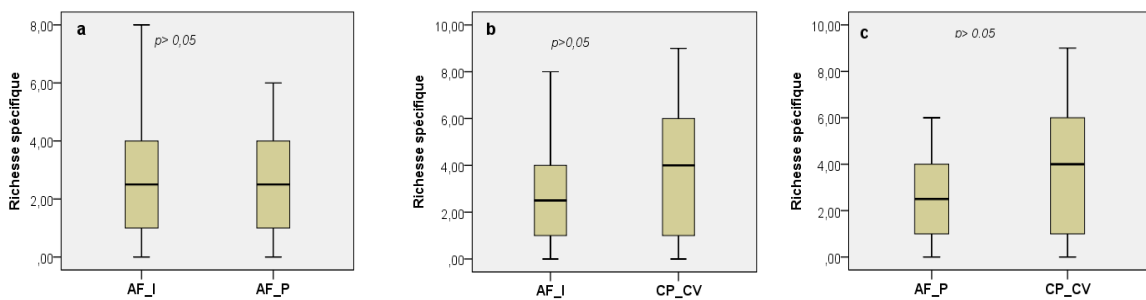


Fig. 2. Boîtes à moustaches illustrant les changements dans la richesse spécifique en fonction types de cours d'eau deux à deux. CP_CV = Cours Principale Centre-Ville (fleuve Niger), AF_I = Affluent Intermittent, AF_P = Affluent Permanent; P = valeur de probabilité des tests de U de Mann-Whitney (p>0,05= non significatif)

Les tests U non paramétriques de Mann-Whitney ont montré que la richesse spécifique observée ne diffère pas statistiquement de manière significative entre les cours d'eau explorées. Figures 2a, b et c.

3.2.2 COMPOSITION ET RICHESSE SPECIFIQUE PAR REGIME HYDROLOGIQUE

Selon les conditions hydrologiques, le plus grand nombre de taxons (60 familles appartenant à 14 ordres) a été observé pendant la décrue; 53 familles ont été capturés pendant la période d'étiage appartenant à 13 ordres et 52 familles appartenant à 13 ordres ont été capturés pendant la période de monté des eaux.

Les figures 3a, b et c montrent que le nombre de familles par ordre varie légèrement selon les régimes hydrologiques. Les valeurs qu'ils donnent pour la période de décrue vont de 1 à 9, la médiane étant égale à 4; 0 à 9 représentent les périodes d'étiage, avec la médiane égale à 4; et 0 à 9 représentent les périodes de crues, avec la médiane égale à 3,5.

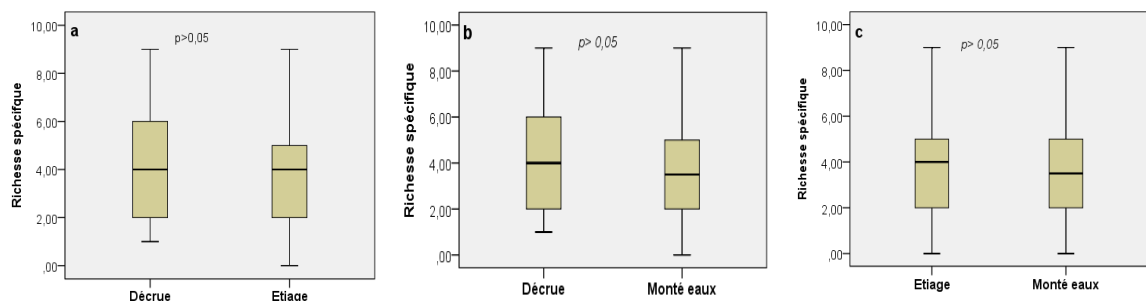


Fig. 3. Boîtes à moustaches illustrant les changements dans la richesse spécifique en fonction du régime hydrologique P = valeur de probabilité des tests de U de Mann-Whitney (p>0,05= non significatif)

3.3 RÉPARTITION DE L'ABONDANCE

3.3.1 ABONDANCES PAR CLASSE

Au total, 5 717 individus de macroinvertébrés ont été capturés au cours de la période de collecte (tableau 2). Cette population de macroinvertébrés est dominée par les insectes, qui représentent 57 % des captures. Les crustacés ont été les moins capturés, représentant 1 % (Fig. 4).

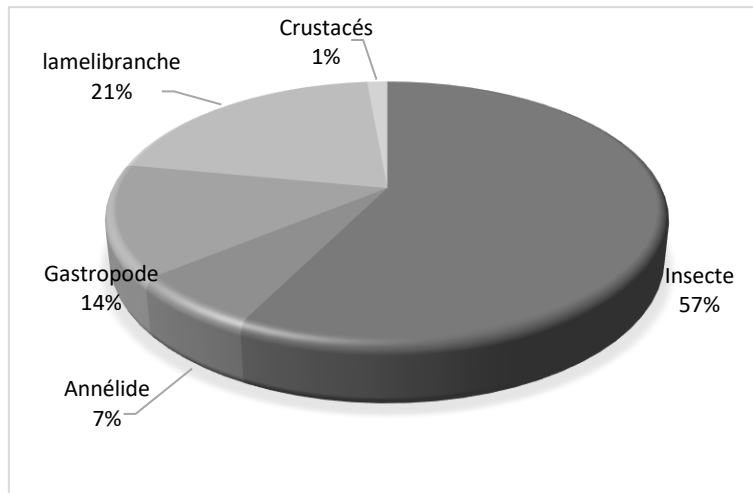


Fig. 4. Variations de l'abondance pondérale des macroinvertébrés par classe

3.3.2 ABONDANCES PAR ORDRE

La répartition pondérée de l'abondance classe les Bivalves (21 %) comme l'ordre le plus capturé, suivi des Coléoptères (20 %), des Pulmonés (11 %) et des Éphéméroptères (9 %), tandis que le pourcentage le plus faible d'individus était celui des Hydracarinae (1 %) Figure 5.

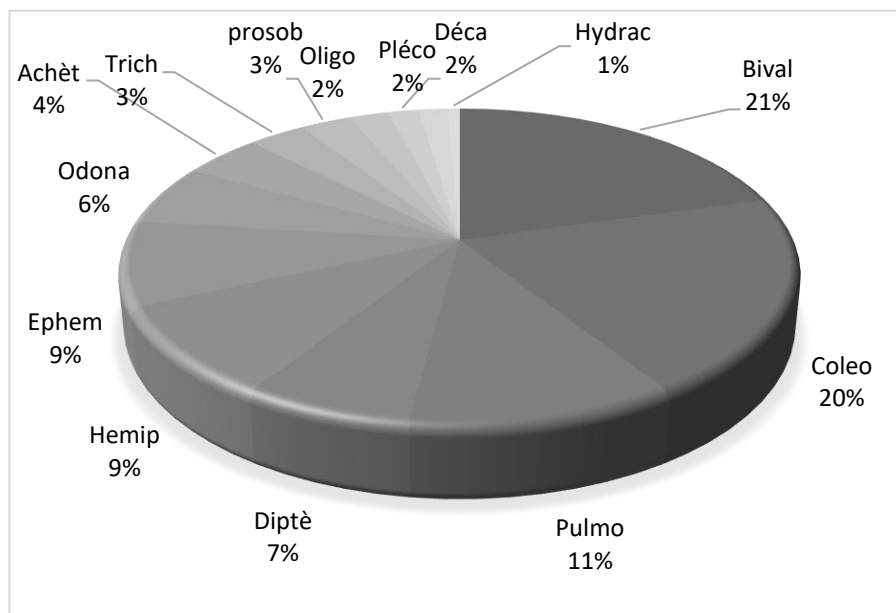


Fig. 5. Répartition du poids de l'abondance dans l'ordre

3.3.3 ABONDANCE PAR COURS D’EAU ET PAR REGIME HYDROLOGIQUE

Le résumé de l’abondance (tableau 3) montre que la station affluent intermittent (AF_I) a enregistré les valeurs les plus élevées (1212 individus).

Tableau 3. Abondance numérique des macroinvertébrés collectés aux stations des cours d’eau échantillonnées

Stations échantillonnées	CP_H	CP_B	CP_P	AF_P	AF_I
Abondance	1152	983	1224	1146	1212

CP_H = Cours Principal Hauteur; CP_B = Cours Principal Basfond; CP_P = Cours Principal Plaine; AF_I = affluent Intermittent

Les résultats du test de Kruskal-Wallis pour les variations dans l’abondance des stations ont montré une valeur de probabilité de p supérieure à 0,05 ($p > 0,05$ = non significatif). Cela signifie que statistiquement, il n’y a pas de différence significative d’abondance entre les stations d’étude. Comparé au régimes hydrologique (tableau 4), le nombre de macroinvertébrés capturés varie de 1 015 individus en période de hautes eaux à 2 668 individus en période d’étiage.

Tableau 4. Abondance numérique des macroinvertébrés collectés par régime hydrologique

Régimes Hydrologique	Décrue	Etiage	Monté eaux
Abondance	2034	2668	1015

La figure 7 montre les changements d’abondance dans le régime hydrologique des macroinvertébrés collectés dans toutes les eaux étudiées.

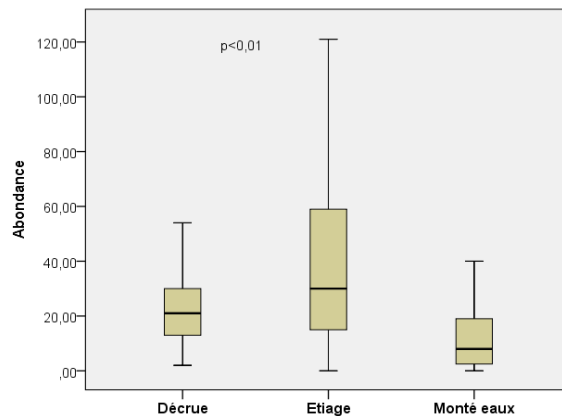


Fig. 6. Variation des abondances par régime hydrologique

Les résultats du test de Kruskal-Wallis appliqué aux changements d’abondance dans différents régimes hydrologiques ont montré une valeur de probabilité de $p < 0,01$.

3.3.4 REPARTITION DES ORDRES PAR COURS D’EAU ET PAR REGIME HYDROLOGIQUE

L’analyse de la répartition de l’abondance a montré que les bivalves dominaient la population d’invertébrés au niveau du Cours Principal, représentant 31,91 % (Fig. 8a). Viennent ensuite les Coléoptères (15,18 %) et les Ephéméroptères (13,69 %). Les Plécoptères constituent l’ordre le moins représenté (0,24 %), tandis que les Décapodes et les Hydracarinae sont totalement absents de ce cours d’eau.

Au niveau de l’Affluent Permanent, les Coléoptères (29,49 %) occupent la première place et les Diptères (16,06 %) la deuxième. Les Plécoptères (1,46%), les Trichoptères (0,93%) et les Hydracarinae (0,26%) sont les moins représentés (figure 8b). Comme les affluent permanents, l’affluent intermittent abritent des Coléoptères (26.16%) et les Diptères (17,57%) étaient les groupes les plus représentés. Bien que les Ephéméroptères aient la proportion la plus faible (1,16%), trois ordres sont totalement absents de cette rivière. Ce sont les Hydracarinae, les Plécoptères et les trichoptères (Figure 8c).

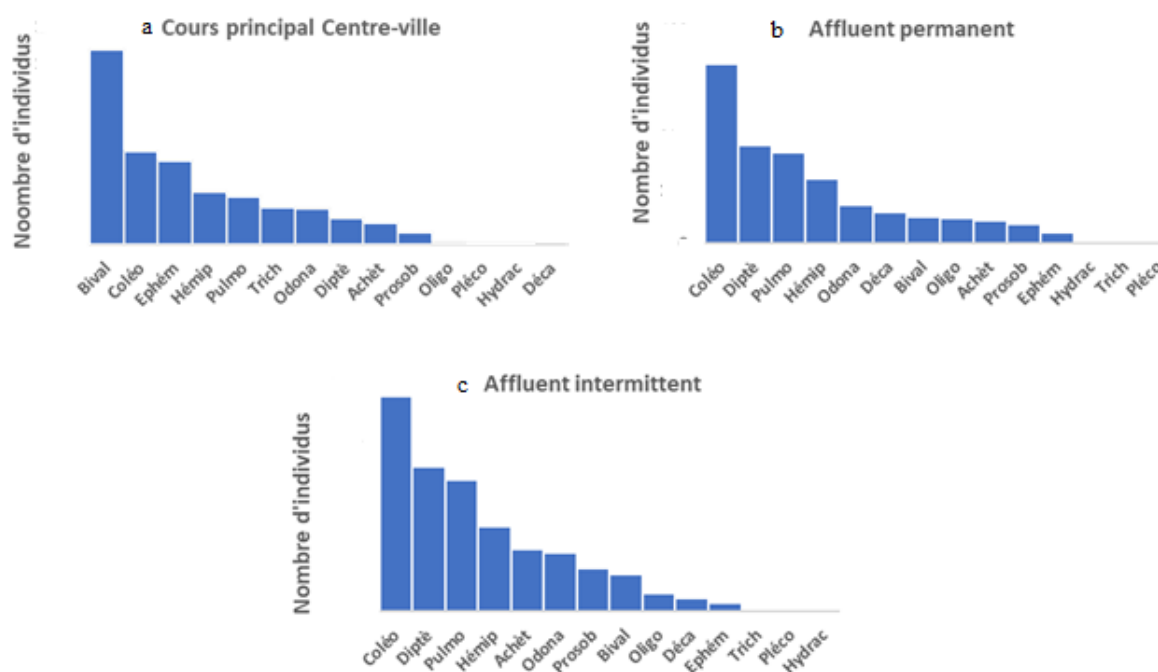


Fig. 7. Distributions pondérales des abondances par ordre et par type de cours d'eau

3.3.5 VARIATION DES INDICES DE DIVERSITE ET D'EQUITABILITE PAR TYPE DE COURS D'EAU ET PAR REGIME HYDROLOGIQUE

L'indice de diversité varie entre 3,56 pour l'affluent intermittent et 4,03 pour le cours principal au niveau des cours d'eau et entre 3,67 périodes de montée des eaux à 4,05 à la période de décrue.

4 DISCUSSION

L'investigation montre que tous les cours d'eau échantillonnés ont à peu près la même structure et la même composition en macroinvertébrés. Ephéméroptères, Hémiptères et Odonates ont été collectées dans différentes proportions dans tous les cours d'eau. Ceci est cohérent avec les résultats de [18]. Cette composition faunique correspond généralement à la richesse des eaux douces africaines [19], [20], [21], [22]. Elle est très proche (59 familles) d'un cours d'eau de référence non affecté du Cameroun [23].

La station de l'affluent intermittent (AF_I) a enregistré le nombre de taxon le plus élevé (1212 individus), tandis que la plus faible valeur (983 individus) a été observé à la station du Cours principal Basfond (CP_B). Ceci s'explique par la qualité de l'environnement des stations, c'est-à-dire le substrat et la vitesse de l'eau. Les affluents intermittents sont caractérisés par une eau stagnante qui favorise la décomposition de la matière organique. Dans de telles conditions environnementales, les taxons les plus tolérants (Diptères) prolifèrent, tandis que les taxons les moins tolérants dégèrent [24]. Les diptères habitent généralement ces milieux aquatiques, se reproduisent facilement et sont très abondants. Contrairement au cours principal Basfond (CP_B), ce milieu est influencé par des paramètres tels que: la forte vitesse d'écoulement de l'eau, un taux d'oxygène dissous supérieurs à 5 mg/l et un environnement multi-habitats favorisant la diversité des taxons plutôt que le nombre d'individus.

L'abondance taxonomique montre particulièrement une dominance des Diptères après les coléoptères dans les affluents intermittents. Les résultats montrent que la valeur du test de Kruskal-Wallis est statistiquement significatif aux différents régimes hydrologiques $p < 0,01$. Ce qui justifie un changement temporel dans l'abondance numérique et une diversité de taxons. Nos résultats sont en conformité avec [25] qui souligne que les régimes hydrauliques et le substrat rocheux sont des conditions physiques qui influencent fortement la composition, l'abondance et la répartition des communautés de macroinvertébrés.

88 % des taxons ont été récoltés au niveau des stations. Nous estimons que la distribution des taxons régulière, la qualité de l'organisation des populations de macroinvertébrés collectées dans les eaux étudiées est bonne.

5 CONCLUSION

Cette étude a permis le premier inventaire des macroinvertébrés du fleuve Niger en République de Guinée. Dans l'espace, la récolte s'effectue dans des stations de haute altitude, des stations de plaine, des stations de Basfond sur le fleuve Niger, des stations d'affluents permanents et des stations d'affluents intermittents durant les périodes d'étiage montée des eaux et décrue. En raison des conditions météorologiques, nous ne pouvons pas récolter pendant les inondations, car les inondations détruit l'habitat naturel du benthos.

L'enquête a révélé d'abondants macroinvertébrés benthiques à toutes les stations d'échantillonnage, avec un total de 60 familles collectées. La population capturée est dominée par les insectes. L'abondance est fortement influencée par le temps (conditions hydrologiques). Contrairement au temps les résultats ne montrent aucun effet significatif sur la richesse de macroinvertébrés. Les valeurs de l'indice de Shannon (>2) et de l'équité (proche de 1) reflètent la présence d'une faune benthique très diversifiée, abondante et stable.

Nombre de taxons (60 familles), diversité des macroinvertébrés collectés (14 ordres, 5 classes), supériorité de richesse spécifique des Hémiptères et Ephéméroptères par rapport aux Diptères, valeur de l'indice de Shannon et du Piélou nous amène à conclure que les eaux échantillonnées offrent des conditions favorables à la vie et au bon développement des êtres vivants.

RECONNAISSANCE

Ce travail a été réalisé avec la participation du Laboratoire de Chimie du Centre de Recherche et d'Etude en Environnement (CERE) de l'Université de Conakry et le Laboratoire de Biologie et Ecologie Animales (LBEA) de l'Université Ouaga 1 Pr Joseph Ki Zerbo de Ouagadougou du Bourkina Fasso. Grand merci à ces structures pour la disponibilité, le Guide et le matériel mis à notre disposition lors des travaux de terrain et de laboratoire.

Il m'est particulièrement agréable de remercier Professeur Abdoulaye BARRY de l'Institut Supérieur Agronomique et Vétérinaire de Faranah Guinée pour ses bonnes initiatives, ses précieux conseils et son soutien inconditionnel tout le long de ce travail; Feu Professeur Gustave KABRE et Professeur Adama OUEDA du Laboratoire de Biologie et Ecologie Animales (LEBA) de l'Université Ouaga1 Pr Joseph Ki Zerbo pour leurs appuis et guides tout au long de ce travail.

REFERENCES

- [1] Everard M. et Powell A., 2002. Rivers as living systems. *Aq. Cons. Mar. Freshwat. Ecosyst*, 12 329-337.
- [2] Akognongbe A. J. S., Mama D., Vissin E. W. et Boko M., 2014. Dynamique saisonnière de la qualité physico-chimique des eaux de surface dans le Bassin de l'Ouémé à l'exutoire de Beterou Rev. *Ivoir. Sci. Technol* 24., pp 278 – 298.
- [3] Izonfuo L.W.A. et Bariweni A.P., 2001. The effect of urban runoff water and human activities on some physico-chemical parameters of the Epie Creek in the Niger Delta. *Journal Appl. Sc. Environ. Manage.*, 5: 47-55.
- [4] Planète bleue, 2003. <http://www.planetebleue.info/>.
- [5] Bah A L., Oueda A., Barry A, Kabre B G., 2016 Diagnostics des Sources Potentielles de Pollution du Fleuve Niger a Faranah (GUINEE), *European Journal of Scientific Research* Vol. 141, N°2 pp.171-183.
- [6] Gayraud S. 2001). Les sédiments du lit des cours d'eau: quantification de leur influence sur les peuplements de macroinvertébrés par une approche multisites.
- [7] Ténkiano N S D., 2017. Macroinvertébrés benthiques et hyphomycètes aquatiques: diversité et implication dans le fonctionnement écosystémique des cours d'eau de Guinée.
- [8] Ferry L. et al. 2012 Le fleuve Niger de la forêt tropicale guinéenne au désert sahélien: Les grands traits des régimes hydrologiques.
- [9] Union internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), 2009. Restauration des écosystèmes en Guinée, Restauration et paiement des services environnementaux dans le Bassin du Tinkisso.
- [10] Soldner et al., 2004 Robust cell polarity is a dynamic state established by coupling transport and GTPase signaling.
- [11] Durand J. R., et Levêque C., 1981. Flore et Faune Aquatiques de l'Afrique Sahélo-Soudanienne, Tome 1 et Tome 2. ORSTOM. I.R.D. No44, France, 873 p.
- [12] Dejoux C., 1983. The fauna associated with the aquatic vegetation. In Carmouze J.P., Durand, Lévêque, C. (eds.), *Lake Chad J.R., Monographiae Biologicae*. 53, 273-292.
- [13] Tachet H., Richoux P., Bournaud M. et Usseglio-Polatera P., 2006. Invertébrés d'eau douce. Systématique, Biologie, écologie. 2ème EDITIONS, Paris, France. 587 p.
- [14] Spellerberg I. F. et Fedor P. J. 2003. A tribute to Claude Shannon (1916-2001) and a plea for more rigorous use of species richness, species diversity and the 'Shannon- Wiener' index. *Global Ecol. Bio.*

- [15] Quinn et Hickey, 1990. An introduction and synthesis: Water quality in low-elevation streams and rivers of New.
- [16] Alhou B., MICHA J.C., DODO A. et AWAISS A. 2009. Etude de la qualité physico-chimique et biologique des eaux du fleuve Niger à Niamey.
- [17] Zouggaghe F. et Moali A., 2009. Variabilité structurelle de peuplement de macroinvertébrés benthiques dans le bassin versant de la Soummam (Algérie, Afrique du Nord). *La Terre et la Vie*. 64: 305-321.
- [18] Yapo M. L., Aste B. C. et Kouassi P., 2012. Inventaire des insectes aquatiques des étangs piscicoles au sud de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 58: 4208-4222.
- [19] Durand J. R., et Levêque C., 1981. Flore et Faune Aquatiques de l'Afrique Sahélo-Soudanienne, Tome 1 et Tome 2. ORSTOM. I.R.D. No44, France, 873 p.
- [20] Diomandé D. et Gourène G., 2005. Premières données sur le macrofaune benthique de l'hydrosystème fluvio-lacustre de la Bia (Côte d'Ivoire). *Sciences et Nature* 2 (2), 167-176, 2, 167-176.
- [21] Sarr et al., 2011; Risques agro-météorologiques et production du riz pluvial (*Oryza spp.*) au Bénin Afrique de l'Ouest.
- [22] Sanogo S., Kabré T. J. A. et Cecchi P., 2014. Inventaire et distribution spatio-temporelle des macroinvertébrés bioindicateurs de trois plans d'eau du bassin de la Volta au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8 (3): 1005-1029.
- [23] Foto M. S., Zebaze T. S. H., Nyamsi T. N. et Njiné T., 2010. Macroinvertébrés Benthiques du cours d'eau Nga: Essai de Caractérisation d'un Référentiel par des Analyses Biologiques. *European Journal of Scientific Research*, 43 (1): 96-106.
- [24] Durand J. R., et Levêque C., 1981. Flore et Faune Aquatiques de l'Afrique Sahélo-Soudanienne, Tome 1 et Tome 2. ORSTOM. I.R.D. No44, France, 873 p.
- [25] Miserendino M. L., et Pizzolon L. A., 2003 Distribution of macroinvertebrate assemblages in the Azul-Quemquemtreu river basin, Patagonia, Argentina. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 37 (3): 525-539.
- [26] Richards et al. (1993) Compositions des PM10 et PM2,5 dans la vallée de San Joaquin en Californie *Aresol science and technology* Volume 18 Issue 2; P105 - 128.

Characterization of materials in the formulation of high-performance concrete: Case of Chad

Ignabaye Pontchombé Adolphe¹, Bianzeubé Tikri², Alexis Mouangué Nanimina³, and Djonglibet Wel-Doret⁴

¹Laboratory of Buildings and Public Works, University of N'Djamena, N'Djaména, Chad

²Laboratory of Resistance of Materials and Mechanical Construction (LRMCM), Polytechnic University of Mongo, N'Djamena, Chad

³Mechanical Engineering Department, Higher National Institute of Sciences and Technics of Abéché (INSTA), Abéché, Chad

⁴Laboratory of Study and Research in Industrial Technology, Faculty of Applied Sciences, University of N'Djamena, N'Djamena, Chad

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

ABSTRACT: The formulation of high-performance concretes is deduced from that of ordinary concretes which are a mixture in the appropriate proportions of binder, aggregates, water and optionally, admixtures. These types of concrete composed of ultrafine materials, including metakaolin in the case of this study, are characterized by high mechanical resistance and good workability due to the addition of a water-reducing superplasticizer. However, for a successful formulation, materials must be carefully studied to ensure their use. This research project aims to characterize all the materials used in the composition of high-performance concrete to serve as a reference in other similar work in Chad. These are the physical, chemical and mechanical characteristics of materials including cement, gravel, sand, superplasticizer and metakaolin, coming from various locations in Chad. After analysis, the characteristics of these materials are satisfactory and comply with international standards and hence favorable for the composition of high-performance and sustainable concretes.

KEYWORDS: High-performance concretes, Metakaolin, Superplasticizer, Sustainable, Workability.

1 INTRODUCTION

The use of materials in construction must be preceded by a thorough knowledge of them. Even with good design of the structure, poor quality of its constituents can lead to its collapse. It is first necessary to identify the available resources or raw materials, study their properties and regulate their use in the best possible way. The appropriate formulation of concrete rarely attracts the attention of construction stakeholders in Chad given the high price of materials. Studies are rarely not carried out to guarantee the formulation of concrete according to the size of the structure, local environmental conditions and the nature of the mineral resources available.

Until 1940, the formulation of concrete was very simple: 800 liters of gravel, 400 liters of sand, 4 to 8 bags of cement and plenty of water [1]. However, innovations are being made to encourage the construction of structures subject to greater loads, more severe environmental constraints and also new technological or aesthetic constraints. It was finally in 1980 that we discovered the way to improve the properties of concrete with the addition of ultrafine mineral additions and plasticizer-type admixtures, leading to the production of High Performance Concrete (HPC). This concrete is characterized by high compressive strength (>50MPa at 28 days), good workability and a very dense microstructure observed with a Scanning Electron Microscope [2].

The performance of concrete is induced by that of its constituents, hence resistant materials give more efficient concrete. Aitcin P.C. concluded that the use of mineral additions in the manufacture of high-strength concrete is a preferable alternative, because the introduction of a certain quantity of mineral additions facilitates the maintenance of the rheological properties of fresh concrete [3]. In the case of this study, we used kaolin because it is quite widespread in Chad but little known. This, once treated and calcinated, allows to obtain metakaolin which, added to the concrete, essentially plays a granular role by filling the micro-voids and a pozzolanic role by combining with lime during the hydration of the cement to form hydrated calcium silicates. The best known deposits are those of Aboudeia in the Salamat region and in the south of the country: East of Pala, near Kelo, in Maïssou 75km from Moïssala and also near Mbainamar [4].

The objective of this work is therefore to present, through laboratory tests, the characterisation of the materials used during our research work for of formulating high-performance concretes in Chad. We will therefore concisely present all the materials used, their origin as well as the properties obtained following the various tests.

2 MATERIAL AND METHOD

2.1 MATERIAL

2.1.1 CEMENT

The cement used is a Portland compound cement, designation CEM II 42.5R, from the CIMAF TCHAD cement plant in N'Djamena (Sadjéré) on the way to Lamadji.

2.1.2 AGGREGATES

The aggregates analyzed are fine sand, coarse sand and gravel. The sand is obtained from the Chari River while the gravel is obtained from the blasting and crushing of granite exploited by the Société Nouvelle d'Etudes et de Création (SNER) at the Hadjer Lamis quarry.

2.1.3 SUPERPLASTICIZER

The superplasticizer used is Sika ViscoCrete® Krono-20 HE from Cameroon from the SIKA Company which produces construction materials and additives.

2.1.4 METAKAOLIN

The kaolin ordered for the study is obtained from the Salamat region but sold on the local market. Metakaolin was therefore obtained by calcination of the latter at high temperature.

2.2 METHOD

The working procedure consisted of identifying and choosing the materials commonly used for the formulation of concrete. The characterization therefore consisted of carrying out laboratory tests on each material to define its properties. These include physical, chemical and mechanical tests, which are carried out according to each type of material as follows:

- Cement: Its characterization consisted of highlighting its chemical and mineralogical properties (SO₃ and chloride content), physical (density, specific surface area) and mechanical properties (consistency, compressive strength);
- Aggregates: For all aggregates (fine sand, coarse sand and gravel) we have carried out particle size and density analysis tests but only the Los Angeles test for gravel;
- Metakolin: Its characterization was conditioned by the heat treatment of the kaolin and then its density as well as its particle size were determined. According to Perlot, the properties of metakaolins strongly depend on their specific surface area, particle size and mineralogical composition [5];
- Superplasticizer: It has been characterized by its chemical composition, its pH, its density, etc.

3 RESULTS AND DISCUSSIONS

After some characteristic tests in the laboratory, we managed to establish the properties of the different materials.

3.1 CEMENT

The cement used is CIMAF manufactured in Chad, all its physical, chemical and mechanical properties have been provided in a technical sheet after analysis in the laboratory. These characteristics are presented in Table 1 along with the standards that govern them.

Table 1. Characteristics of the cement used

Characteristics		Unity	Value
SO ₃ content (NF EN 196-2)		%	≤ 2.5
Chloride content (NF EN 196-2)		%	≤ 0.01
Absolute density (NF EN 196-6)		g/cm ³	3.1
Blaine finesse (NF EN 196-6)		cm ² /g	≥ 4400
Normal consistency (NF EN 196-3)		%	26-28
Setting time (NF EN 196-3)	Beginning / end	Hour : minute	2 :30 / 3 :30
Compressive strength (NF EN 196-1)	2 days	MPa	≥21
	7 days		≥31
	28 days		≥43

At first glance, we realize that the results obtained by the company during the various tests correspond to the French standards specified in the table above. Several values are consistent with other types of cement, such as absolute density, normal consistency and setting time. These are the same characteristics that we found for example on Robust cement manufactured in Cameroon, unlike the fineness and mechanical resistance which are slightly below those of Cimaf Chad which we used. Therefore this type of cement is indicated by its characteristics for the formulation of high-performance concrete. J. Festa and G. Dreux had already testified that the cements best suited to the manufacture of BHP for which the resistance must be close to 60 MPa (at 28 days), induced CPA-CEM I cements of classes 52.5 or 52.5 R and CPJ-CEM II/A 52.5 or 52.5 R with the use of water-reducing superplasticizer but portland cement or portland compound with strength class 42.5 N or 42.5 R by administering additions with great care [6].

3.2 AGGREGATES

3.2.1 SIEVE ANALYSIS (NF EN 933-1)

The particle size analysis was carried out on samples of fine sand (0/2 mm), coarse sand (0/5 mm) and gravel (5/15 mm). It consists of separating a material into several granular classes of decreasing dimensions using a series of sieves.



Fig. 1. Sieve analysis equipment

fineness moduli of the aggregates to be used. In other words, it makes it possible to calculate the relative percentages of aggregates with fineness modules MF1 and MF2 to obtain a fineness module MF chosen for the mixture. The latter is chosen so as to reduce the voids in the mixture and has a value between 2.2 and 2.8 for a good concrete sand. The determination of the different proportions of sand according to the Abrams formula is described by equation 3.

$$S1 = \frac{MF - MF_2}{MF_1 - MF_2} ; \quad S2 = \frac{MF_1 - MF}{MF_1 - MF_2} \tag{3}$$

Where:

S1 is the proportion of sand with too high fineness modulus MF1;

S2 is the proportion of very fine modulus sand MF2;

MF is the regulatory fineness module of the mixture.

We therefore carried out a fineness modulus correction using the Abrams formula and we obtained an approximate mixture of 50% for fine sand and 50% for coarse sand, for a regulatory fineness modulus of 2.6.

3.2.2 DENSITIES (NF EN 1097-6)

In addition to the apparent and absolute densities, other physical characteristics of the aggregates such as porosity, void ratio and compactness were determined.

Apparent density allows you to determine the density of a material with all the voids it contains. It consists of weighing aggregates using a calibrated container of precise volume (notably 1000 cm³ for sand and 5000 cm³ for gravel). To ensure the reliability of the final result, it is recommended to carry out 4 weighings, starting the test procedure each time. Successive weighings must not exceed ±25g for sand and ±50g for gravel. The apparent density is thus calculated according to equation 2.1.

$$\rho_{app} = \frac{m_1 - m_0}{v_0} \tag{4}$$

Where:

ρ_{app} is the apparent density in kg/dm³;

m0 is the empty mass of the container in kg;

m1 is the average of the 4 weighings obtained in kg;

V0 is the volume of the container in dm³.

The absolute density allows us to determine the density of the aggregates without the voids. It consists of immersing the aggregates for 24 hours in order to weigh them after carefully cleaning them up. The absolute density ρ_{ab} is given by the formula:

$$\rho_{ab} = \frac{m_2}{v_2 - v_1} \tag{5}$$

Where:

ρ_{ab} is the apparent density in kg/dm³;

m2 is the mass in kg of the saturated and cleaned aggregate;

v1 is the initial volume of water in dm³;

v2 is the final volume of water containing the saturated and sponged aggregate in dm³.

Thus the porosity P is calculated as a percentage by the formula described by NF 18-554:

$$P = \left(1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{ab}}\right) \times 100 \tag{6}$$

We can deduce the compactness in the loose state as being:

$$CL=100-P \tag{7}$$

Also, the void index is calculated as the ratio of porosity to compactness.

$$e =P/CL \tag{8}$$

The results obtained are transcribed in Table 3.

Table 3. Characteristics of aggregates

Aggregates	Apparent density ρ_{app} (kg/dm ³)	Absolute density ρ_{ab} (kg/dm ³)	Porosity P (%)	Compactness CL (%)	Void index e
Fine sand	1.526	2.731	44.12	55.88	78.95
Coarse sand	1.510	2.567	41.72	58.28	71.59
Mixture of two sands	1.640	2.650	37.93	62.07	61.11
Gravel	1.530	3.000	49.00	51	96.08

According to these results, the absolute densities of these aggregates are greater than 2 kg/dm³. Which means that these aggregates are of the common or normal type. The most porous aggregate is gravel. This leads to low compactness of the material and a fairly high vacuum index. Likewise, fine sand shows greater porosity than coarse sand. With the addition of the two sands, the porosity and void ratio decrease while the compactness increases. The mixture therefore offers more advantages for the formulation of concrete.

3.2.3 LOS ANGELES (NF EN 1097-2)

It makes it possible to measure the resistance to fragmentation by impact of the elements of a sample of aggregates combined with wear by reciprocal friction in the cylinder of the Los Angeles device in figure 3.



Fig. 3. Los Angeles device

For this test, the gravel was sieved to have a particle size of 10/14 mm. The principle consists of measuring the mass of elements smaller than 1.6 mm generated by subjecting materials to the shock of standardized balls for 15 minutes (500 revolutions) and corresponding to each granular class. After steaming, the material is weighed and the resistance to fragmentation is determined by the Los Angeles coefficient according to equation 9. For very good quality gravel, this coefficient must be less than 35%.

$$LA = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100 \tag{9}$$

Where:

m_0 is the initial mass of the sample in grams (g);

m_1 the result of weighing the rejects using a 1.6 mm sieve, in grams (g).

An initial mass of 4840g was taken and after following the test standards, the mass of the rejects on the 1.6 mm sieve was 2987g. The Los Angeles coefficient deduced is 38.29%, therefore slightly higher than 35%, which means that the gravel analyzed is of fair quality. It is therefore important to note that this aggregate can be used for the formulation of high-performance concrete.

3.3 MÉTAKAOLIN

The metakaolin obtained comes from traditional calcination at 750°C for 5 hours of kaolin in the oven with a temperature rise of 5°C/min. The kaolin was passed through a 315µm sieve before calcination.



Fig. 4. Kaolin before and after calcination

The latter was analyzed and the characteristics are given in table 4.

Table 4. Characteristics of metakaolin

Characteristics	Metakaolin
Apparente density	0.76 kg/dm ³
Absolute density	2.5 kg/dm ³
Granulometry	3 µm

The absolute density corresponds exactly to that reported in the work of Gruber et Al [7]. According to the works of Measson [8], the maximal temperature of the thermal treatment of the métakaolins is also a factor influencing the density. Also, the particle size average is around 3 µm, therefore equivalent to the average recorded in the literary review. Thus, the incorporation of metakaolin will improve the compressive strength of concrete at 28 days as clearly shown by Khatib [9] in his work.

3.4 SUPERPLASTICIZER

In order to compensate for the loss of workability due to the low quantity of water in the formulation of high performance concretes, a new generation non-chlorinated high water reducing superplasticizer, named Sika ViscoCrete® Krono-20 HE was used. According to Odler [10], the superplasticizer can delay the hold of the cement and reduce mechanical properties of the concretes to the young age.



Fig. 5. Superplasticizer Sika ViscoCrete® Krono-20 HE

These properties comply with Standard NF EN 934-2 and its characteristics have been provided by the manufacturer in a technical sheet and are summarized in table 5.

Table 5. Characteristics du superplasticizer

State	Liquid
Color	Yellowish
Density	1,085 ± 0.020
PH	4,5 ± 1,0
Function	High water reducer
Chloride ion content (Cl-)	≤ 0,1 %
Sodium oxide content (NaO2)	≤ 1 %
Dosage range	0.1 to 5.0% of the weight of the cement

4 CONCLUSION

This research work aimed to identify and characterize the materials that could contribute to the formulation of high-performance concrete in Chad. In addition to cement, gravel and sand which are known to everyone, two new products have appeared which are metakaolin and superplasticizer. Metakaolin is an ultrafine mineral substance obtained by treatment and calcination of kaolin at a temperature varying from 650 to 850°C, playing an important granular and pozzolanic role in the making of high-performance concrete. The superplasticizer is an adjuvant which, when added to the concrete in an appropriate manner, makes it possible to improve the workability of the concrete without excessive addition of water. After analysis of the materials using several laboratory tests, we can confirm that the materials studied are of good quality and comply with international codes and standards. It is therefore possible, due to their properties stated above, to use them for the formulation of high-performance concretes for the construction of large-scale infrastructures. The advantage of characterizing materials before their use is therefore to make it possible to understand the relationship between the chemical composition, internal structure, physical properties, performance and application that the material can offer.

ACKNOWLEDGMENT

The authors sincerely thank the affiliation laboratory and its members for making this work possible.

REFERENCES

- [1] Mbessa M, Rôle des ultrafines dans les bétons industriels à hautes performances, Thèse de doctorat, INSA, Lyon, 2000.
- [2] Malier Y, High performance concrete: From material to structure (Malier Y, London), 1992.
- [3] Aitcin P C, *Bétons à hautes performances* (Eyrolles Paris), 2001.
- [4] Kusnir I, Aperçu sur la géologie, les ressources minérales et en eaux au Tchad, N'Djaména, 1989.
- [5] Perlot C & Rougeau C, Interet des métakaolins dans les bétons. CERIB, 2007.
- [6] Festa J & Dreux G, *Nouveau guide du béton et ses constituants* (Eyrolles, Paris), 1998.
- [7] Grubert K, Ramlochan T, Boddy A., Hooton R. & Thomas, M, *Cement and Concrete Composites*, 23 (2001), 479-484.
- [8] Measson M, Etude de l'activité pouzzolanique des matériaux naturels traités thermiquement, en vue de la réalisation de liants hydrauliques, Thèse de doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, 1981.
- [9] Khatib J M & Clay R M., *Cement and Concrete Research*, 34 (2003), 19-29.
- [10] Odler T & Becker T, *Cement and Concrete Research*, 10 (1980), 321-331.

Artificial intelligence governance model in personalized e-Learning

Petey Kragbi Olivier, Kone Tiémoman, and N'Guessan Behou Gerard

Department Digital Research and Expertise Unit (UREN), Virtual University of Côte d'Ivoire (UVCI), Abidjan, 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 article proposes a governance model for the use of artificial intelligence (AI) in the context of personalized e-learning. The main objective is to frame the integration of AI in order to maximize its benefits, such as the personalization of learning, while minimizing the associated risks, including algorithmic bias, the protection of personal data, and the transparency of decision making processes. These associated risks remain a significant challenge to be met. The approach consisted of relying on the ISACA COBIT 5 information system governance framework in order to propose a model that highlights the governance processes, objectives, and actions. The governance model presented is composed of several key elements, including transparency, fairness, data security, and continuous improvement, which are essential for effective AI management. It proposes guidelines to align AI with the strategic objectives of educational institutions, thus ensuring an ethical and responsible use of AI technologies in e-learning. This work also highlights the importance of an integrated approach to AI governance, where risks are controlled and benefits are optimized. The conclusions drawn show that, although ambitious, such a governance framework is essential to build trust among users and stakeholders, while ensuring learning that is more tailored to the individual needs of students. Finally, this suggested governance model will need to be continuously refined and adapted as the technology evolves, and calls for future research to test and validate the model in real-world contexts.

KEYWORDS: Artificial Intelligence, Cobit, adaptative e-learning, Strategic alignment, risk management, data security.

1 INTRODUCTION

E-learning has radically transformed the educational landscape by offering accessible and flexible learning opportunities across the globe. With the emergence of advanced technologies, artificial intelligence (AI) has become a central element in personalizing the learning experience, making it possible to meet the specific needs of each learner in real time. However, the implementation and management of these intelligent systems pose complex challenges, particularly in terms of governance.

AI governance in personalized e-learning is a rapidly expanding field, requiring a rigorous approach to ensure the quality, security, and equity of intelligent educational systems. This governance encompasses not only the supervision of AI algorithms but also data management, privacy protection, and impact assessment on the various stakeholders in the educational system. The objective is to ensure that the technologies deployed not only optimize user learning but do so in an ethical and transparent manner.

The AI governance framework for personalized e-learning must take into account several critical dimensions: algorithm performance, data privacy, recommendation fairness, and stakeholder satisfaction. The challenges are further accentuated by the diversity of learning contexts and individual learner variabilities. In addition, data protection regulations and standards impose additional constraints that must be integrated into the management of AI systems.

This article offers an in-depth exploration of the governance models needed to effectively supervise AI systems in personalized e-learning. By examining key issues and presenting mathematical and algorithmic approaches, we aim to provide practical solutions to optimize the management and control of AI technologies while respecting ethical standards and user expectations. We will also introduce governance frameworks adapted to the specificities of e-learning and methodologies to evaluate and continuously improve deployed AI systems.

Ultimately, effective governance of AI in personalized e-learning is essential to ensure that these technologies bring tangible and equitable benefits to all stakeholders in the education system, while minimizing risks and respecting the fundamental principles of justice and transparency.

This paper is organized as follows:

- Section 2 discusses the state of the art,
- Section 3 highlights the problem,
- Section 4 presents the methodology
- Section 5 describes our contribution,
- Section 6 focuses on the discussion
- The last section includes the conclusion and perspectives.

2 STATE OF THE ART

2.1 THE PERFORMANCE OF ALGORITHMS

The ACPR has initiated exploratory work with several players in the financial sector to clarify the issues of explainability and governance of AI [1], mainly in the context of Machine Learning (2019).

According to this work, a type of ML algorithm can be more or less complex, in terms of ease of inspection of its operation. The types of algorithms also vary in efficiency, measured according to predictive or commercial performance metrics. The diagram below illustrates the trade-off between simplicity and efficiency made by the most common ML algorithms:

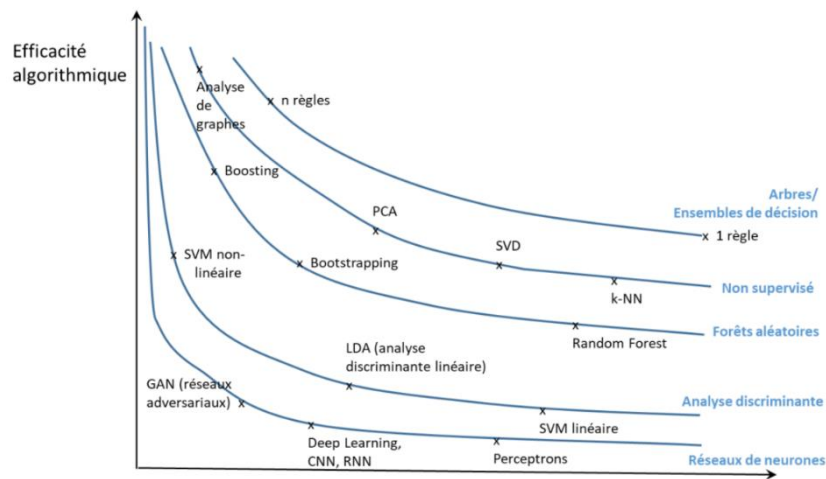


Fig. 1. *Compromise between Efficiency and simplicity of an ML algorithm (Source: [1] page 65)*

The requirement for explainability when integrating an algorithm or machine learning method into a business process goes beyond the simple balance between the simplicity and efficiency of the algorithm: the explanation must be intelligible and convincing for the intended audience, adapted to the use case and proportionate to the risk of the process. However, there is a trade-off between the fidelity of the explanation to the algorithm (inevitably imperfect, because the explanation simplifies the reasons why the algorithm made a certain decision based on the characteristics of the individual or transaction in question) and the sobriety of the explanation, i.e. its intuitive and understandable character for a non-expert.

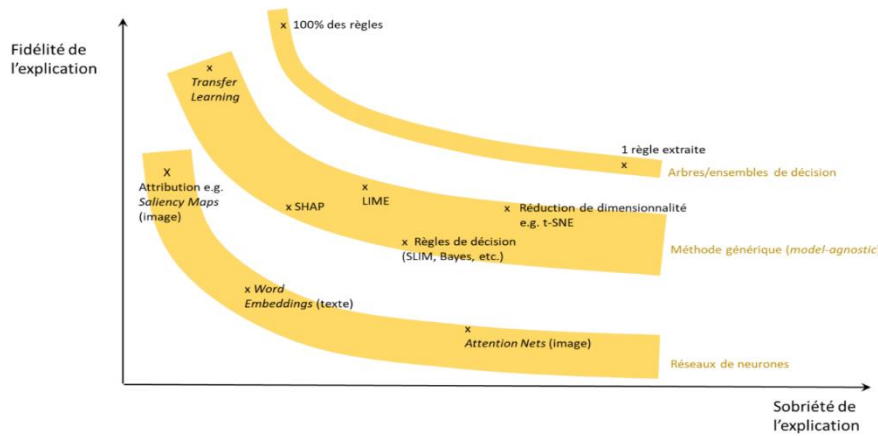


Fig. 2. *Compromise between sobriety and fidelity of an explanatory method (Source: [1] page 67)*

Following a study of the performance of inference algorithms in Bayesian networks by Kochi and his team [2], the results highlight the impact of certain characteristics of the input data on the execution times and error rates of inference algorithms.

2.2 DATA PRIVACY

The work of Florea et al. [3] qualitatively examined current issues related to data privacy, anonymity, informed consent and confidentiality in datacentric research in higher education. They focused on the roles of the data collector, the data subject and the data user. According to this work, current regulations mainly focus on data collection and disclosure, without sufficiently addressing data use, which has procedural implications on the complexity of research in higher education and the type of data collected. Related work [4], [5] has addressed this and emphasized that protecting personal data from AI requires clear regulation, transparency in data use, prevention of bias and discrimination, adequate security and collaboration between stake-holders.

2.3 FAIRNESS OF RECOMMENDATIONS

Work aimed at describing algorithm related biases and developing possible solutions has been carried out by Patrice Bertail et al [6]. This study presented some promising statistical or algorithmic approaches for correcting biases. A resource has been set up by Ravanera et al [7]. This resource summarizes existing research and knowledge on the relationship between AI and fairness (or inequity) and offers important points of reflection for public and private sector leaders when implementing AI. Related work by Abi et al. [8] has shown that technological advances in artificial intelligence make it possible to increase control of the population. Therefore, it is essential to ensure that companies that create these tools do not abuse them, thus bringing ethics to the heart of the debate. Ménissier et al. [9] highlighted four forms of ethics, including computer ethics, algorithmic, robotic or artificial ethics, digital ethics, and AI use ethics (or UX AI ethics). Brahmi et al. [10] examined the issue of the universality of ethical codes to ensure responsible development and use of artificial intelligence. The objective of this study was to propose a common framework that brings together various ethical codes to guide the ethical use of artificial intelligence.

All these studies show the importance of the issue of ethics but they do not address the specific case of personalized e-learning. A contextualization in the situation of personalized e-learning will highlight the specificities linked to the said context.

2.4 STAKEHOLDER SATISFACTION

The work of Lissillour et al. [11] indicates that although the implementation of artificial intelligence has been justified by transparency, aiming to provide greater visibility of processes and reveal new data to support the work of users, it can ultimately be seen as a means of increasing the capacity to control and monitor their work. Artificial intelligence has clearly illustrated itself as a tool capable of increasing stakeholder satisfaction. Stakeholder satisfaction, thanks to good governance of artificial intelligence, was highlighted by Gauthier Chassang [12] and his team in the work entitled "Towards responsible governance of AI systems organized around risk management". In this context, the application of governance will ultimately allow a clear improvement in the sustainability of Artificial Intelligence information systems (AIS) and increase the level of satisfaction of the various stakeholders. M'Bia and his collaborators [13], through a study on the development of a specific regulation for artificial intelligence and its impact on universities and private companies in Côte d'Ivoire, have shown that good

governance of AI could allow a harmonious development of AI practices to the satisfaction of stakeholders. Political actors, researchers and members of civil society involved in the global debate on AI will benefit from shared perspectives to meet the colossal challenge of ensuring ethical, inclusive and human rights respecting AI development. Farnadi et al. [14] assert that political actors, researchers and members of civil society involved in the global debate on AI will benefit from shared perspectives to meet the colossal challenge of ensuring ethical, inclusive and human rights-respecting AI development.

3 PROBLEMATIC

The integration of artificial intelligence (AI) in e-learning represents a revolution for education, offering the possibility to personalize learning paths according to the specific needs of each student. However, this opportunity comes with complex challenges, particularly in terms of AI governance, which must be addressed to ensure ethical and effective implementation.

3.1 ALGORITHMIC BIASES

Algorithmic biases are one of the most critical challenges in the use of AI for e-learning. AI algorithms, often trained on datasets that reflect existing biases in society, can perpetuate or even amplify these biases when applied in an educational context. For example, a recommendation algorithm that favors certain types of content or teaching methods could disadvantage certain groups of students, creating inequalities in access to quality education. The issue of AI governance then becomes essential to establish checks and balances that ensure the fairness and inclusiveness of e-learning systems.

3.2 PERSONAL DATA PROTECTION

Personalization of e-learning relies on the collection and analysis of vast amounts of students' personal data, such as their academic performance, online behaviors, and even personal preferences. This raises major data protection concerns. Effective AI governance must include rigorous data protection policies to ensure that sensitive student information is secure, that their confidentiality is preserved, and that data is only used for legitimate and ethically acceptable purposes.

3.3 TRANSPARENCY OF DECISION-MAKING PROCESSES

Transparency is another fundamental pillar of AI governance in e-learning. Decisions made by AI systems, such as course recommendation or performance assessment, must be understandable and justifiable by users, including students and educators. Lack of transparency can lead to a lack of trust in the system and even resistance to its adoption. It is therefore crucial to develop AI models whose decision making processes are explainable and verifiable, thus enabling an informed and responsible use of AI in education.

These challenges highlight the importance of a robust governance framework for AI in e-learning. The central question that emerges is: How can we establish an AI governance framework that ensures effective personalization of e-learning, while preventing bias, protecting personal data, and ensuring transparency in decision making processes?

Answering this question involves defining standards and practices that allow us to leverage the benefits of AI while minimizing its risks. This governance framework will need to be flexible to adapt to the rapid evolution of technologies, while remaining rigid on ethical principles and user rights.

The quest for this ideal governance is not only a technical issue, but also a societal issue, requiring the collaboration of multiple stakeholders, including AI developers, educators, policy makers, and end users. This analysis will aim to explore the components of such a governance framework, identify best practices, and propose concrete solutions to address the challenges posed by AI in e-learning.

4 METHODOLOGY

Our approach begins with a literature review. The latter allows:

- To explore the key concepts of AI Governance (Notions, principles, and existing standards (COBIT, ISO/IEC 38500, etc.), personalized e-learning (Definition, associated technologies, and specific challenges), Governance in e-learning (Current practices, limitations, and opportunities).
- To make a critical analysis through synthesis of existing AI governance models and identification of gaps in their application to personalized e-learning.

The proposed governance model includes frameworks such as COBIT, as well as risk management, compliance, and security practices. The COBIT (Control Objectives for Information and Related Technology) framework is COBIT is a process oriented approach, organized into four domains: planning, building, executing, and measuring, in parallel with the Deming cycle [15], [16]. It includes 37 distinct processes, encompassing activities and an even greater number of “control practices”. A complement to this approach is the “information systems assessment” component, called Val IT.

COBIT 5 can be adapted for all types of business models, technology environments, all industries, geographies, and corporate cultures. It can be applied to:

- Information security;
- Risk management;
- Governance and management of the company’s information system;
- Audit activities;
- Compliance with laws and regulations;
- Financial operations or corporate social responsibility reporting.

The COBIT 5 framework simplifies governance challenges with just five principles and seven enablers. It allows integration with other approaches and standards, including TOGAF, PMBOK, PRINCE2, COSO, ISO/IEC 20000, ISO/IEC 27001, ITIL, PCI DSS, Law Sarbanes-Oxley and Bâle III.

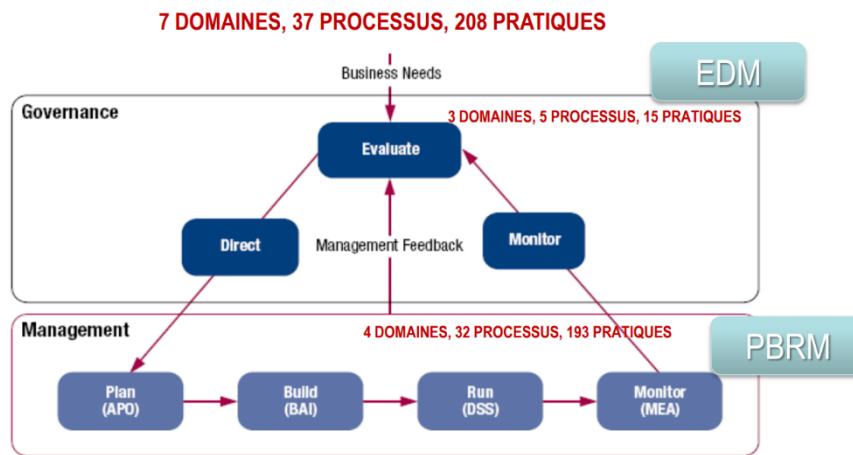


Fig. 3. Presentation COBIT 5 (Source: ISACA)

We present a framework based on COBIT Design Factors, adjusted to the specific needs of AI in e-learning: value creation, Risk management.

- Resource optimization.

5 CONTRIBUTION

Creating a COBIT 5 based personalized e-learning artificial intelligence (AI) governance model involves adapting COBIT 5 principles and processes to the specificities of AI in a digital education environment. COBIT 5 (Control Objectives for Information and Related Technologies) is an information systems governance framework that provides guidelines to ensure strategic alignment, effective risk management, and resource optimization.

Before getting into more details, we propose this diagram which illustrates the broad outlines of the seven areas of COBIT 5 applied to e-learning personalized by artificial intelligence.

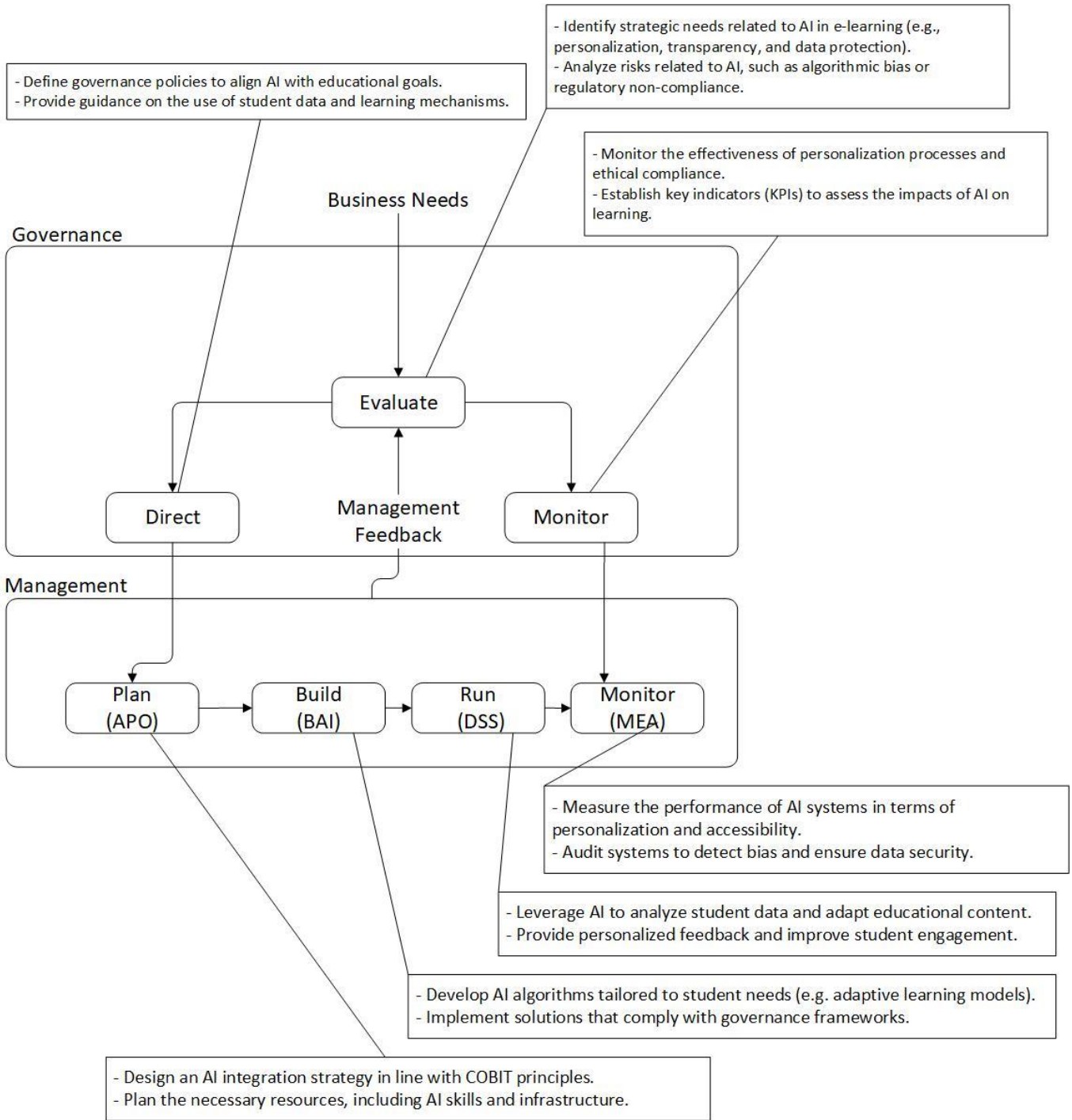


Fig. 4. Illustration of COBIT 5 areas applied to personalized e-learning by artificial intelligence

5.1 COBIT 5 AND PROCESSES APPLICATED TO AI GOVERNANCE IN PERSONALIZED E-LEARNING

Below we will present cobit processes applied to the governance of artificial intelligence in personalized e-learning.

Table 1. Table of COBIT 5 and processes applicated to AI governance in personalized e-learning

1. Strategic Alignment	
Objective	Ensure that AI in the e-learning system is aligned with the strategic objectives of the educational institution.
Governance Process	EDM01 – Ensure alignment of stakeholders and strategic objectives. This process involves defining clear objectives for AI, such as improving learning outcomes, increasing student engagement, and personalizing educational pathways.
Actions	Definition of AI objectives: Align AI capabilities with educational objectives, such as improving student retention and optimizing learning pathways. Stakeholder engagement: Ensure that teachers, administrators, and students participate in defining AI objectives.
2. Risk Management	
Objective	Identify, assess, and mitigate risks related to the use of AI in e-learning, such as algorithmic bias, privacy issues, and technical failures.
Governance Process	EDM03 – Ensure Risk Management. This process focuses on establishing proactive risk management, including identifying AI specific risks and putting mitigation plans in place.
Actions	AI Risk Assessment: Identify potential risks, such as prediction errors or breaches of student privacy. Incident Response Plan: Develop plans to respond quickly to AI related incidents, such as system failures or bias in recommendations.
3. Resource Optimization	
Objective	Optimize the use of resources (human, financial, technological) to maximize the effectiveness of AI in the e-learning system.
Governance Process	APO07 – Manage Human Resources and APO08 – Manage Relationships. These processes address skills management, continuous user training, and management of relationships with technology vendors.
Actions	Skills Management: Train teachers and administrators on AI tools to ensure optimal use. Vendor Management: Collaborate with AI solution vendors to ensure that tools are updated and aligned with educational needs.
4. Monitoring and Evaluation	
Objective	Measure and monitor the effectiveness of AI in e-learning to ensure that it meets defined objectives and quality standards.
Governance Process	MEV01 – Monitor and evaluate performance and compliance. This process involves the continuous evaluation of AI performance and compliance with regulations and internal policies.
Actions	Continuous evaluation: Establish KPIs (Key Performance Indicators) to measure the impact of AI on student engagement and learning outcomes. Audit and compliance: Conduct regular audits to ensure that AI complies with quality standards and regulations in force, such as the GDPR for data protection.
5. Innovation and Continuous Improvement	
	Objective: Encourage innovation and continuous improvement of AI to adapt to technological developments and changing student needs.
Governance Process	BAI09 – Manage innovation. This process focuses on the continuous integration of new technologies and the improvement of existing processes to meet new educational requirements.
Actions	Technology monitoring: Monitor developments in the field of AI and e-learning to integrate relevant innovations. Continuous improvement: Implement continuous improvement cycles to refine AI algorithms and adapt them to user feedback.

This COBIT 5 based AI governance model for e-learning relies on structured processes to align AI technologies with educational objectives, manage risks, optimize resources, monitor performance, and encourage innovation. This framework ensures that AI is deployed efficiently, ethically, and aligned with the needs of students and the institution, while respecting applicable regulations.

5.2 MATHEMATICAL MODELING OF AN ARTIFICIAL INTELLIGENCE GOVERNANCE MODEL

Mathematical modeling of a COBIT 5 based AI governance model in personalized e-learning allows quantifying and optimizing the interactions between strategic objectives, governance processes, and system performance. This mathematical approach helps identify levers for improvement and ensures that AI is used efficiently, ethically, and aligned with educational objectives.

5.2.1 DEFINITION OF VARIABLES AND PARAMETERS

Table 2. of definition of variable and parameters

A: Strategic alignment of AI with educational objectives.	K: Effectiveness of performance indicators.
R: Management of AI risks.	O: Educational objectives of the institution.
C: Complexity and effectiveness of governance processes.	G: Overall strategic alignment.
P: AI performance (measured by improvement of learning outcomes, student engagement, etc.).	Pr: Probability of AI risks.
E: Operational effectiveness of AI (optimization of resources, personalization of lessons).	M: Risk mitigation measures.
S: Monitoring and continuous evaluation of AI.	Q: Quality of lessons.
I: Innovation and continuous improvement.	N: Number of students.
Gs : Structure of governance processes.	T: Time spent using AI.
Rm: Management of human and material resources.	R&D: Investment in research and development.
F: Frequency of audits and controls.	Tn : Ability to adapt to new technologies.

5.2.2 COBIT BASED GOVERNANCE FUNCTIONS

• Strategic Alignment

Strategic alignment (A) is crucial to ensure that AI supports educational objectives. This function can be modeled as a weighted combination of the educational objectives (O) and the overall strategic alignment of the institution (G).

$A = \alpha_1 \cdot O + \alpha_2 G$, α_1 and α_2 are weights that indicate the relative importance of the educational objectives and the overall strategic alignment. A strong strategic alignment ensures that AI is used to achieve the institution’s priority educational objectives.

• Risk Management

Risk management (R) depends on the complexity of the system (C), the probability of risks (Pr), and the effectiveness of mitigation measures (M). $R = \beta_1 \cdot C - \beta_2 \cdot Pr \cdot M$. This equation shows that the more complex the system, the more the risks increase, but these risks can be mitigated by effective management measures (M). The coefficients β_1 and β_2 indicate the relative impact of complexity and mitigation measures on risk management.

• Complexity and Effectiveness of Governance Processes

Complexity (C) is influenced by the structure of governance processes (Gs) and resource management (Rm).

$C = \gamma_1 \cdot G_s + \gamma_2 R_m$. System complexity is directly related to how governance processes are structured and how resources are managed. Better governance structure and effective resource management can reduce system complexity.

• AI Performance

AI performance (P) is a function of strategic alignment (A), operational effectiveness (E), and risk management (R).

$P = \delta_1 \cdot A + \delta_2 \cdot E - \delta_3 \cdot R$. This equation shows that improving strategic alignment and operational efficiency increases AI performance, while poor risk management decreases it. The coefficients δ_1 , δ_2 and δ_3 reflect the relative importance of these factors.

• Operational Efficiency

Operational efficiency (E) depends on the quality of lessons (Q), the number of students (N), and the time spent (T).

$E = \epsilon_1 \cdot Q + \epsilon_2 \cdot N + \epsilon_3 \cdot T$. More efficient AI allows for better lesson personalization and improved student engagement. Therefore, operational efficiency is a key indicator of AI success in the e-learning system.

- **Monitoring and Continuous Evaluation**

Monitoring and evaluation (S) are based on the frequency of audits (F) and the effectiveness of performance indicators (K).

$S = v_1 \cdot F + v_2 \cdot K$. Regular monitoring and well defined performance indicators are essential to ensure that AI is working properly and to detect potential problems before they affect learning outcomes.

- **Innovation and Continuous Improvement**

Innovation (I) depends on investment in research and development (R&D) and the ability to adapt to new technologies (T_n).

$I = \phi_1 \cdot R\&D + \phi_2 T_n$. To remain competitive and meet the evolving needs of students, it is crucial to invest in innovation and adapt quickly to new technologies. This equation shows the importance of these two.

5.2.3 OBJECTIVE FUNCTION

The overall objective of governance could be to maximize performance (P) while minimizing risks (R) and complexity (C).

Maximize $Z = P - \lambda_1 \cdot R - \lambda_2 \cdot C$. This objective function aims to optimize the performance of the AI system while controlling risks and reducing complexity. The coefficients λ_1 and λ_2 represent the relative importance of risk management and complexity reduction in the overall optimization of the system.

5.2.4 OPTIMIZATION

This model can be optimized using techniques such as linear or nonlinear programming, depending on the nature of the relationships between the variables. The goal is to find the optimal values of the governance variables (such as G_s, R, F , etc.) that maximize performance while respecting the constraints related to risks and complexity. The mathematical modeling of an AI governance model in e-learning based on COBIT 5 allows to formalize and optimize the complex relationships between governance processes and system performance. By applying these equations, institutions can identify areas for improvement, minimize risks, and maximize the effectiveness of AI to improve learning outcomes. The comments added to each step of the model help to understand the implications of each variable and possible actions to improve AI governance in a digital education environment.

5.3 ADVANCED MATHEMATICAL MODEL OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE GOVERNANCE IN PERSONALIZED E-LEARNING BASED ON COBIT 5

To create a mathematical model of AI governance in personalized e-learning based on COBIT 5 with detailed comments, we need to translate the COBIT 5 processes and objectives into mathematical expressions. The comments provided in each step explain the choices and their alignment with COBIT 5.

5.3.1 DEFINITION OF VARIABLES AND PARAMETERS

Key variables and parameters are defined to capture the different aspects of AI governance in e-learning.

L: Number of lessons. This variable represents the total content of the e-learning, influencing the complexity of the AI system.

S: Number of students. The number of students impacts the load on the AI and the ability to personalize the learning experience.

E: AI efficiency. $E \in [0,1]$. It measures the accuracy of AI recommendations and the relevance of answers, crucial for the quality of e-learning.

T: Total time spent by the AI on each student. $T > 0$. The time that the AI spends on each student influences the personalization and effectiveness of interactions

P: Student engagement $P \in [0,1]$. It represents the rate of student interactions with the system, indicative of their engagement.

C: Cost of implementing and maintaining AI. $C > 0$. It includes expenses related to development, maintenance, and governance in line with COBIT 5.

G: Governance. $G \in [0,1]$ Represents the application of COBIT 5 processes, influencing the overall effectiveness of the system.

R: Return on educational investment (ROI). $R > 0$. It measures the improvement in student performance, linked to COBIT 5 benefits management objectives.

A: AI adaptability. $A \in [0,1]$. It indicates the ability of AI to adapt to individual student needs, aligned with COBIT 5 resource management and value creation.

F: Data security. $F \in [0,1]$. Index of compliance with data security standards, crucial for risk management under COBIT 5.

5.3.2 OBJECTIVE FUNCTION

The objective is to maximize AI effectiveness, engagement, adaptability, security, and educational ROI while minimizing costs, in line with COBIT 5 principles.

Maximize $Z = w_1 \cdot E + w_2 \cdot P + w_3 \cdot R + w_4 \cdot A + w_5 \cdot F - w_6 \cdot C$. Weights $w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6$ reflect the relative importance of each criterion, defined according to the governance priorities established by COBIT 5. These weights can be adjusted to reflect specific organizational priorities.

5.3.3 CONSTRAINTS

Constraints are established to ensure that the model remains within the limits defined by COBIT 5:

Time Constraint (APO, DSS): This constraint ensures that the total time spent by the AI remains below a predefined threshold, aligned with operational efficiency.

Participation Constraint (EDM, MEA): $P \geq P_{\min}$. It ensures that student participation does not fall below a minimum threshold, ensuring sufficient engagement to achieve learning objectives.

Cost Constraint (APO, BAI): $C \leq C_{\max}$. This constraint limits expenses to stay within a pre-established budget, in line with COBIT 5 resource and cost management.

Governance Constraint (EDM, APO, MEA): $G \geq G_{\min}$. It ensures that governance practices meet a minimum threshold of compliance with COBIT 5 processes.

Data Security Constraint (DSS, MEA): $F \geq F_{\min}$. It ensures that data security standards are not compromised, in line with COBIT 5 risk management and security.

5.3.4 MATHEMATICAL MODELING OF COMPONENTS

- Efficiency of AI:

$E = f_1(L, S, T, G)$, This function can include terms that capture the effect of the number of lessons, students, time spent, and quality of governance on AI effectiveness. The claim that the effectiveness of artificial intelligence (AI) in an e-learning system is a function of the number of lessons, the number of students, the time spent, and the quality of governance is based on several factors that directly influence the performance and impact of AI in an educational environment. Here is a detailed justification:

- Number of Lessons

The number of lessons available in an e-learning system directly influences the effectiveness of AI in personalizing learning and managing educational paths. A higher number of lessons means that AI has more data to analyze student preferences, needs, and performance. This diversity allows AI to better understand the different possible learning paths and offer more accurate recommendations tailored to individual needs. With a larger number of lessons, AI can better personalize learning paths by suggesting specific content to each student based on their progress and difficulties. AI can adjust lessons in real time, improving learning efficiency. AI can use data from multiple lessons to analyze student engagement levels, identify points of interest decline, and adjust content or teaching method to keep engagement high.

- Number of Students

The number of students using the system influences the effectiveness of AI by enriching the data available for training and continuous improvement of models. A large number of students provides a large amount of data, allowing AI to train on diverse and large datasets. This improves the accuracy of algorithms and the ability of AI to generalize learning to different student profiles. With more students, AI can leverage social and collaborative interactions to improve learning. For example, AI can recommend study groups or partners based on similarities in educational backgrounds, thereby enhancing the effectiveness of collective learning. A large number of students allows AI to more easily detect patterns and trends in learning behaviors, which can lead to more accurate recommendations and optimization of teaching strategies.

- Time Spent

The time spent by students and teachers interacting with the system influences the effectiveness of AI by providing richer data and allowing for more refined adaptation of content. The more time spent on the system, the more data the AI has to refine its predictions and adjust learning content in real time. This continuous feedback improves the accuracy and effectiveness of AI recommendations. The time students spend on the platform can be analyzed to understand engagement and retention of information. AI can then adjust workload, lesson difficulty, or teaching pace to maximize learning effectiveness. With more time spent, AI has more opportunities to interact with students in real time, provide immediate feedback, and dynamically adjust learning paths, improving the overall effectiveness of the educational process.

- Quality of Governance

The quality of governance in AI management influences its effectiveness by defining policies, procedures, and standards that ensure that AI operates optimally and ethically. Good governance ensures that AI is aligned with the educational goals of the institution. This includes setting clear priorities, such as equity in access to educational resources, data protection, and continuous improvement of AI models. Governance ensures that AI complies with ethical standards and data regulations. By setting strict rules for data management and algorithm training, governance ensures that AI operates responsibly, which is essential for its long-term credibility and effectiveness. Strong governance establishes mechanisms for continuous evaluation of the effectiveness of AI. This includes regular audits, analysis of user feedback, and adjustment of AI usage policies.

- Student Participation:

$P=f_2(S, L, E)$. Participation is influenced by class size, available content, and AI's effectiveness in personalizing learning experiences. The claim that student engagement is boosted by diverse content, larger student populations, and more effective AI is based on several key principles that influence student engagement in an e-learning environment.

- Diverse Content and Engagement

Diverse content (represented by the number of lessons) provides students with a wide range of resources and perspectives, enriching the learning experience and maintaining their interest. Diverse content prevents monotony and maintains student interest. When lessons cover a range of topics and are presented in a variety of ways (videos, articles, interactive quizzes), students are more likely to stay engaged because they can choose the formats that best fit their learning preferences. Diverse content allows AI to personalize the learning experience by providing lessons tailored to each student's specific needs. This directly addresses their gaps or interests, thereby increasing their active participation. Diversified content exposes students to a variety of skills and knowledge, encouraging them to participate more to master different areas and develop a more holistic understanding.

- High Student Population (Network Effect) and Participation

A higher student population creates a network effect, where interaction between students enriches the learning experience and encourages increased participation. In an e-learning environment with a large number of students, opportunities for social interaction increase. Discussions, forums, and group activities become more dynamic and engaging, encouraging students to actively participate to exchange ideas, ask questions, and learn from others. A higher student population fosters collaborative learning. Students can engage in group projects, debates, and peer tutoring sessions, which boosts their participation through a sense of belonging and mutual learning. When students see their peers actively participating, it can motivate them to engage more themselves. This network effect creates a positive dynamic where each person's participation reinforces that of others.

- More Effective AI and Participation

More effective AI is able to personalize the learning experience, provide timely and relevant feedback, and keep students engaged. Effective AI can adapt the content, pace, and recommendations based on each student's performance and preferences. When students receive lessons and exercises that are precisely tailored to their level and needs, they are more

likely to actively participate. An effective AI provides immediate feedback on student performance, helping them quickly understand their mistakes and improve. This rapid feedback increases student engagement, as students see the direct impact of their participation on their progress. A well-functioning AI is able to detect when a student needs additional help or motivation, and can provide encouragement or additional resources in real time. This supports students in their moments of doubt or difficulty, helping them stay engaged and active in their learning.

- AI Cost

$C=f_3(L, S, G)$. Costs are related to the complexity of the system (number of lessons and students) and the level of governance required by COBIT 5. The claim that costs increase with system complexity and governance requirements, but that these costs are necessary for effective risk and resource management, is based on fundamental principles related to the design, implementation, and management of artificial intelligence (AI) systems in an e-learning environment.

- System Complexity and Costs

System complexity, which includes variables such as the number of lessons, the diversity of features, and the adaptability of the AI, leads to higher costs due to the increased resources required to design, develop, maintain, and optimize the system. A more complex AI system requires more time and expertise to design and develop. This includes integrating multiple algorithms, analyzing large amounts of data, and creating sophisticated user interfaces. Once the system is in place, its ongoing maintenance to ensure that it remains performant and secure also increases costs. A complex system requires more robust infrastructures, such as powerful servers, large storage capacity, and advanced cloud computing solutions. These infrastructures, which must be sized to handle many users simultaneously and process large volumes of data, increase costs. Developing personalization and adaptability capabilities within AI, which are essential to provide a personalized learning experience, is costly. These features require continuous analysis of user data and regular updating of AI models, which requires additional resources.

- Governance Requirements and Costs

Establishing strong governance, aligned with frameworks such as COBIT 5, increases costs due to requirements related to compliance, risk management, and resource optimization. Complying with standards and regulations for data protection, AI ethics, and risk management imposes additional costs. This includes developing policies, training staff, and implementing control mechanisms to ensure that the AI system complies with legal and ethical requirements. Strict governance requires monitoring and auditing systems to identify and mitigate potential risks, whether related to data security, the integrity of AI algorithms, or operational efficiency. These risk management measures require dedicated resources and advanced technologies, which translate into additional costs. Effective governance also involves the continuous optimization of resources to maximize output while minimizing waste. This optimization may require investments in advanced management tools, automated processes, and sophisticated reporting systems, which add to initial and operational costs.

- The Necessity of these Costs

Although these costs are high, they are essential to ensure effective risk and resource management, thus ensuring the sustainability and reliability of the AI system in an e-learning environment. Investing in system complexity and rigorous governance helps prevent costly long-term problems, such as security breaches, service interruptions, and AI errors. Preventing these problems through good governance reduces the risk of financial and reputational losses. A well-governed system optimizes the use of resources, ensuring that each technological or operational investment provides maximum educational and operational value. This optimization maximizes benefits while controlling long term costs. Strong governance and rigorous risk management strengthen the trust of users (students, educators, administrators) in the e-learning system. This trust translates into stronger buy-in and more frequent usage, thereby increasing the profitability of the system. Investments in complexity and governance enable the system to remain resilient to changes, whether technological, regulatory or related to user needs. This ability to adapt quickly without compromising security or efficiency is crucial for long-term success.

- Educational Return on Investment (ROI):

$R=f_4(S, E, P)$. ROI is determined by improved student outcomes, AI effectiveness and engagement, which is central to benefit management under COBIT 5. The claim that the return on investment (ROI) in an e-learning system is related to the number of students, AI effectiveness, and participation is based on principles that show how these factors influence both the economic profitability of the system and the improvement of educational outcomes.

- Number of Students and ROI

A larger number of students leads to significant economic leverage, which increases the ROI due to the large-scale impact and the profitability of fixed costs. The larger the number of students, the more fixed costs (AI development, technology

infrastructure, etc.) are amortized over a broad base, thus reducing the average cost per student. This leads to an improvement in ROI because revenue increases with the number of students, while costs per student decrease. A higher number of students means that the positive results generated by AI and e-learning systems reach a larger population. This can attract more enrollments and partnerships (with institutions or companies), thus increasing revenue and improving ROI. A large number of students can create a network effect where engagement and interaction between students stimulates interest and participation, further strengthening the perceived value of the system and, therefore, its attractiveness and profitability.

- AI Effectiveness and ROI

AI effectiveness increases ROI by optimizing the learning experience, leading to better educational outcomes and greater student satisfaction. Effective AI personalizes learning, allowing students to learn at their own pace and according to their specific needs. This personalization improves academic performance and graduation rates, which builds the platform's reputation and attracts more students, thereby increasing ROI. Effective AI reduces operational costs by automating many administrative and educational tasks (such as progress tracking, grading, and feedback). This cost reduction, combined with improved efficiency, helps increase ROI. Effective AI can identify students at risk of dropping out and proactively intervene to retain them. Better student retention means reduced potential revenue losses, which also improves ROI.

- Participation and ROI

Active student participation is a key indicator of the success of the e-learning system. Increased participation improves educational outcomes and increases satisfaction, which contributes to a better ROI. Students who actively participate in courses and educational activities tend to perform better. This success translates into better overall educational outcomes, which can attract more students and investments, increasing ROI. High engagement is often associated with higher student satisfaction, leading to better retention and long-term loyalty. Loyal students are more likely to pursue additional studies within the same platform, increasing recurring revenue and ROI. Active engagement can also generate positive word of mouth, where satisfied students recommend the system to others. This word of mouth can attract new students without high marketing costs, increasing ROI.

- AI Adaptability:

$A=f_5(E, G, T)$. The ability of AI to adapt is a function of its efficiency, the level of governance, and the time devoted to each student. The claim that the adaptability of an e-learning system is enhanced by effective AI, strong governance, and efficient time management is based on fundamental concepts that show how these elements combine to enhance the system's ability to respond to changing user needs.

- AI Effectiveness and Adaptability

Effective AI is able to quickly process data, analyze user interactions, and provide personalized responses in real time, which enhances the adaptability of the system. Effective AI can continuously analyze student performance and adjust learning content or learning paths in a personalized manner. For example, if a student is struggling with a specific concept, AI can immediately suggest additional resources tailored to their needs, making the system more responsive and adaptable. A powerful AI can anticipate students' future needs based on predictive models, allowing adaptations to be prepared before problems even emerge. This ability to anticipate and adapt proactively improves the learning experience and user satisfaction. AI can also continuously adjust teaching strategies based on the results obtained, making the system more flexible in the face of changes in student profiles and performance.

- Strong Governance and Adaptability

Strong governance establishes clear frameworks and guidelines to guide the adaptation of the system, ensuring that AI and other system components operate in a coherent manner and aligned with educational objectives. Strong governance, such as that based on the COBIT 5 framework, provides clear guidelines on how AI should adapt to different situations. These guidelines may include protocols to adjust algorithms based on user feedback or to meet regulatory requirements, ensuring that system adaptation is both effective and compliant. Governance includes mechanisms to identify and mitigate risks associated with adaptations, such as algorithmic bias or security breaches. By ensuring rigorous oversight, governance allows for rapid adaptation to challenges while minimizing risks. Good governance ensures that system adaptations are aligned with the educational and strategic objectives of the institution, ensuring that each change contributes to the overall mission of the e-learning system.

- Effective Time Management and Adaptability

Effective time management allows the e-learning system to respond quickly to student needs, which is essential for real time adaptation. Effective time management ensures that critical tasks, such as responding to urgent student needs or

adjusting learning content, are prioritized. This ensures that the system can adapt quickly and efficiently to changing user needs. Optimized time management minimizes the time between identifying an adaptation need and implementing it, thereby maintaining student engagement and improving their learning experience. By managing time effectively, resources (such as AI processing capabilities or human intervention) are optimally allocated, allowing the system to adapt without causing overload or delay.

- **Data Security:**

$F=f_6(G)$. Data security mainly depends on the rigor of governance processes, which is essential to manage risks according to COBIT 5. The claim that strict governance ensures better data security and minimizes compliance risks is based on fundamental principles of information systems management and data protection. Here is a detailed rationale:

- **Establishing Clear Security Policies**

Strict governance requires the development of robust security policies that clearly define data management protocols and safeguards. Strict governance establishes clear standards for data security, including policies on encryption, data access, and identity management. These standards ensure that all sensitive data is protected by proven methods, thereby minimizing the risk of breaches. Governance also includes regular training programs to raise awareness of data security practices among staff. By ensuring that all actors in the system understand the risks and best practices, governance reduces the risks of reckless or non-compliant behavior that could compromise data security.

- **Continuous Monitoring and Auditing**

Strict governance provides for continuous monitoring and auditing mechanisms to quickly detect and correct any vulnerabilities or non-compliance. Regular audits, required by strict governance, verify that all security policies are correctly implemented and that information systems meet compliance standards. These audits identify potential vulnerabilities and allow them to be corrected before they are exploited. Strict governance sets up real time monitoring systems that quickly detect any suspicious activity or attempts at unauthorized access to data. This continuous monitoring reduces the response time in the event of an incident, thus limiting the potential impact on data security.

- **Risk Management and Incident Response**

Strict governance incorporates risk management strategies and incident response plans, which helps minimize the impacts in the event of a data breach. Strict governance involves regular assessment of data security risks. By identifying potential threats, organizations can put in place specific preventive measures to mitigate these risks. Well structured governance includes an incident response plan that defines the steps to take in the event of a data security breach. This plan allows for a rapid response to contain the breach, assess the damage, notify affected parties, and take necessary corrective measures, thereby limiting the impacts on compliance.

- **Compliance with Regulations and Standards**

Strict governance ensures that the system complies with all relevant data protection regulations and standards, thereby minimizing legal and financial risks.

6 DISCUSSION

6.1 EFFICIENCY OF AI

The effectiveness of AI in an e-learning system is strongly influenced by the number of lessons available, the number of students, the time spent using the system, and the quality of governance. A larger number of lessons enriches the data available for personalization, while a larger number of students improves the training of models. The time spent allows for more precise adaptation of content, and good governance ensures that AI operates optimally, ethically, and in a way that is aligned with educational objectives. These factors combine to maximize AI effectiveness and improve learning outcomes.

6.2 STUDENT PARTICIPATION

Student engagement in an e-learning environment is significantly influenced by the diversity of content, the number of students, and the effectiveness of the AI. Diverse content maintains interest and meets the varied needs of students, while a high number of students promotes social interaction and collaborative learning. More effective AI, finally, personalizes the learning experience and provides responsive support, which increases student engagement and stimulates active participation.

These elements combine to create a dynamic and motivating learning environment, where participation is naturally encouraged and supported.

6.3 AI COST

The costs associated with system complexity and governance requirements are indeed high, but they are justified by the need to effectively manage risks and resources. A complex and well governed AI system is better equipped to prevent problems, maximize benefits, build user trust, and adapt to future changes. So while these initial costs may seem high, they represent a crucial investment in the sustainability, reliability, and effectiveness of an AI based e-learning system.

6.4 EDUCATIONAL RETURN ON INVESTMENT (ROI)

ROI in an e-learning system is strongly influenced by the number of students, the effectiveness of AI, and active engagement. Large numbers of students help amortize costs and increase revenue. Effective AI optimizes the learning experience, improves educational outcomes, reduces costs, and increases retention. Finally, increased student engagement leads to better educational outcomes, greater satisfaction, and retention, which directly contributes to increased ROI. These elements interact to create a virtuous cycle where improved educational outcomes and student satisfaction lead to increased and sustainable profitability.

6.5 AI ADAPTABILITY

The adaptability of the e-learning system is greatly enhanced by AI efficiency, strong governance, and effective time management. Effective AI enables real time adjustments and optimizes the user experience. Strong governance provides the frameworks for these adjustments to be made consistently and securely, in alignment with strategic objectives. Finally, effective time management ensures that adaptations are implemented quickly, without compromising the quality or effectiveness of the system. These elements combine to create a highly adaptable e-learning system that can effectively meet the diverse and evolving needs of students.

6.6 DATA SECURITY

Strict governance is essential to ensure better data security and minimize compliance risks. By establishing clear security policies, implementing continuous monitoring and auditing mechanisms, proactively managing risks, and ensuring compliance with regulations, rigorous governance protects sensitive data and reduces the risk of security incidents. This proactive and systematic approach not only strengthens data security, but also the trust of users and regulators, which is crucial for the sustainability and reputation of the organization.

7 CONCLUSION

In this article, we explored the challenges and opportunities related to the implementation of artificial intelligence (AI) in the field of personalized e-learning. In particular, we developed a governance model based on the COBIT 5 framework, which aims to frame the use of AI to maximize benefits while minimizing associated risks, such as algorithmic bias, personal data protection, and transparency of decision making processes.

The proposed model highlights the importance of an integrated approach where AI governance is aligned with the strategic objectives of the educational institution. Personalizing learning, although a powerful lever to improve student experience and outcomes, requires rigorous supervision to avoid ethical deviations and ensure a fair and responsible use of AI.

Our analyses show that AI governance must be based on several key pillars: transparency, fairness, data security, and continuous improvement. By adopting robust governance, institutions can not only leverage AI capabilities to deliver learning that is more tailored to individual needs, but also build trust in these technologies among users and stakeholders.

The AI governance model for personalized e-learning that we have proposed provides a framework to guide educational institutions in implementing AI ethically and effectively. However, it is essential to continue refining this model as the technology evolves and new challenges emerge. Future research could focus on empirically evaluating this model in real world settings, to validate its effectiveness and identify potential improvements.

REFERENCES

- [1] Dupont, Laurent, Olivier Fliche, and Su Yang. «Gouvernance des algorithmes d'intelligence artificielle dans le secteur financier.» Pôle Fintech-Innovation (2020): 1-83.
- [2] Kotchi, Camille Séka, Véronique Delcroix, and Sylvain Piechowiak. «Etude de la performance des algorithmes d'inférence dans les réseaux bayésiens.» Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique industrielles et Humaines, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis (2003).
- [3] Florea, Diana, and Silvia Florea. «Big Data and the ethical implications of data privacy in higher education research.» Sustainability 12.20 (2020): 8744.
- [4] Akkour, Soumaya, Amine Haounani, and Fatima Assadi. «La protection des données personnelles face à l'intelligence artificielle.» Revue Internationale du Chercheur 4.3 (2023).
- [5] Blouin, Noémie. «La protection du droit à la vie privée à l'ère de l'intelligence artificielle.» (2024).
- [6] Bertail, Patrice, et al. «Algorithmes: biais, discrimination et équité.» HR Today 58 (2020).
- [7] Ravanera, Carmina, and Sarah Kaplan. «Une perspective d'équité en matière d'intelligence artificielle.» (2021) [.
- [8] Abid, Raja. «Pour une éthique de l'intelligence artificielle.» Gestion 46.2 (2021): 100-104.
- [9] Ménissier, Thierry. «Les quatre éthiques de l'intelligence artificielle.» Revue d'anthropologie des connaissances 17.17-2 (2023).
- [10] Brahmi, Halima, et al. «Vers un référentiel universel pour un usage éthique de l'intelligence artificielle.» East African Journal of Information Technology 6.1 (2023): 91-106.
- [11] Khaled, Chorfi. Optimisation des systèmes des ressources en eau à l'aide une approche d'intelligence artificielle. Diss. Université de Tlemcen-Abou Bekr Belkaid.
- [12] Chassang, Gauthier, and Anthéa Serafin. «Vers une gouvernance responsable des systèmes d'IA organisée autour de la gestion des risques.» L'entreprise et l'intelligence artificielle. Les réponses du droit. (2022): 419-445.
- [13] M'BIA, Hortense De-Yolande, and Zahoua Roland AHOUMAN. «Développement d'une réglementation spécifique à l'intelligence artificielle et son impact sur les universités et entreprises privées en Côte d'Ivoire.» Sciences Appliquées et de l'Ingénieur 5.1 (2023): 1-6.
- [14] Farnadi, Golnoosh, Alves, Amanda lea de lima, et Salganik, Rebecca. Le secteur de l'ia du point de vue de l'éthique. Angles morts de la gouvernance de l'ia, 2023, p. 31.
- [15] Moumen, Charefeddine, and Mohamed knouch. «Cobit; un référentiel de gouvernance du système d'information.».
- [16] Isaca. Cobit 5. ISA, 2012.

Évaluation de la qualité nutritionnelle des herbacées fourragères dans les sites sylvo-pastoraux aménagés dans le Département de Ouallam (Ouest Niger)

[Assessment of the nutritional quality of fodder grasses on managed sylvo-pastoral sites in the Ouallam, Niger department]

Moussa Abdou Ousseini¹, Oumarou Issoufou Nana Aichatou², Alio Dan Ladi Yahaya³, Mahaman Malam Moutari Ousseini⁴, Soumana Idrissa¹, and Dan Guimbo Iro⁵

¹Institut National de la Recherche Agronomique, B.P. 429 Niamey, Niger

²Département Chimie, Faculté des Sciences et Techniques, Université Abdou Moumouni, B.P. 10 662 Niamey, Niger

³Département des Sciences du Sol, Faculté d'Agronomie de l'Université Abdou de Niamey, BP: 10 960 Niamey, Niger

⁴Département de Productions animales, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni, B.P. 10960 Niamey, Niger

⁵Département de Génie Rural et Eaux and Forêts, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni, B.P. 10960 Niamey, Niger

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

ABSTRACT: In Niger, land used for silvo-pastoral purposes has for many years been the subject of restoration work with a view to strengthening the resilience of local populations. The aim of this study is to investigate the quality of fodder species in sylvo-pastoral sites developed on plateaux. The approach consisted of sampling and analysing the dominant species. A total of 19 samples of different species were taken. The parameters determined were dry matter (DM), mineral matter (MM), organic matter (OM), fat matter (FM), total protein or nitrogenous matter (TNM) and crude fibre (CF). The fodder value (FV) and digestible nitrogen matter (DNM) were deducted. The DM, MM, OM, FM, TNM and CF content varied respectively from 95.30 to 97.17%; from 5.11 to 16.68%; from 78.02 to 94.89%; from 1.71 to 12.21%; from 4.03 to 15.41%; and from 17.68 to 37.26% of fodder dry matter. The FV and DNM values ranged from 0.35 to 0.67 F.U./KgDM and from 19.70 to 90.70 g/KgDM respectively. Poaceae, which dominate the forage, are the lowest in protein and have a high cellulose content.

KEYWORDS: Dry matter, Poaceae, Restored sites, Satara, Tondibiya.

RESUME: Au Niger, depuis des années les terres à vocation sylvo-pastorale, font l'objet de travaux de restauration en vue de renforcer la résilience des populations locales. Le présent travail est entrepris pour étudier la qualité des espèces fourragères dans des sites sylvo-pastoraux aménagés sur les plateaux. La démarche a consisté à échantillonner et analyser les espèces dominantes. Au total, 19 échantillons de différentes espèces ont été constitués. Les paramètres déterminés sont la matière sèche (MS), la matière minérale (MM), la matière organique (MO), la matière grasse (MG), les protéines totales ou matières azotées (MAT) et la cellulose brute (CB). La valeur fourragère (VF) et la matière azotée digestible (MAD) ont été déduites. La teneur en MS, MM, MO, MG, MAT et CB, varie respectivement de 95,30 à 97,17%; de 5,11 à 16,68%; de 78,02 à 94,89%; de 1,71 à 12,21%; de 4,03 à 15,41%; de 17,68 à 37,26% de la matière sèche fourragère. La valeur de la VF et de la MAD, varie respectivement de 0,35 à 0,67 U.F./KgMS et de 19,70 à 90,70 g/KgMS. Les Poaceae qui dominent le fourrage, sont les plus pauvres en protéines et sont de teneur élevée en cellulose.

MOTS-CLEFS: Matière sèche, Poaceae, sites restaurés, Satara, Tondibiya.

1 INTRODUCTION

Au Niger en général, et dans sa partie ouest en particulier, les ressources naturelles subissaient une dégradation due aux actions conjuguées du climat et des activités anthropiques [1], [2]. Cette situation s'est accentuée à partir des sécheresses des années 1970 et 1980 [3]. La dynamique de la dégradation s'est traduite essentiellement par le recul important des formations végétales naturelles

(brousses tigrées et steppes) au profit des paysages aménagés et des sols dénudés [4]. Parmi les conséquences, on note une dégradation continue de la principale source d'aliment bétail qui est le pâturage naturel (herbacé et fourrage aérien), dans un contexte où les effectifs du cheptel augmentaient au fil des années. En effet, le cheptel nigérien était passé de 33 622 700 têtes en 2007 à 50 528 786 en 2019 têtes [5]. On assiste de plus en plus à la rupture des services offerts par les écosystèmes, impactant considérablement les conditions socio-économiques des populations locales, plus particulièrement pendant les périodes de chocs climatiques [6]. Le déficit en aliment bétail entraînait de plus en plus la surexploitation des résidus des cultures, exposant ainsi les sols cultivés à l'érosion [7].

Au regard de l'ampleur de la dégradation des ressources naturelles dont les conséquences concourent au développement du phénomène de désertification [3], une dynamique de restauration des terres dégradées notamment des terres communautaires dont des plateaux dans le département de Ouallam (ouest du Niger), s'observe de nos jours. Avant leur dégradation, ces plateaux constituaient un milieu de satisfaction de besoins pour la population, essentiellement en approvisionnement de fourrage pour le bétail.

En effet, pour restaurer les terres dégradées, des techniques de Conservation des Eaux et des Sols / Défense et Restauration des Sols (CES/DRS) ont été couramment réalisées au Niger. Basées sur la typologie de l'unité paysagère que l'on veut aménager, ces différentes techniques ont été conçues en fonction du but recherché. Parmi ces techniques de CES/DRS, les demi-lunes à vocation sylvo-pastorale constituent les plus amplifiées [8], [9], [10].

Cependant, on constate que le retour de la végétation en termes d'abondance est assimilé à la réussite d'un site aménagé alors que cela ne rime pas avec la qualité fourragère. La végétation herbacée sur les plateaux restaurés est étudiée mais la qualité bromatologique du fourrage notamment la composition en nutriments des espèces, est peu abordée. Par ailleurs, le fléau des plantes envahissantes comme *Sida cordifolia* et la dominance de certaines familles (Poaceae), révèlent la nécessité de pousser la recherche sur la caractérisation des espèces ensemencées ou abondantes dans les sites aménagés afin de mieux orienter les acteurs dans leurs activités. La présente étude a pour objectif d'étudier la qualité des espèces fourragères dans des sites sylvo-pastoraux aménagés sur les plateaux.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 SITES DE L'ÉTUDE

L'étude a été réalisée sur les sites des terres dégradées restaurées des villages de Darey et Tondibiya (commune rurale de Tondikiwindi) et de Satara (commune rurale de Simiri) comme le présente la figure 1. Ces sites sont des plateaux dégradés, caractérisés par un sol latéritique, cuirassé et dénudé. Les ouvrages de demi-lunes ont été réalisées pour leurs aménagements afin de servir à une mise en valeur sylvo-pastorale (Figure 2). La zone d'étude présente un climat de type sahélien avec des cumuls de pluviométriques annuelles variant de 200 à 400 mm [11]. L'année est caractérisée par une longue saison sèche (8 à 9 mois) et une courte saison des pluies dont la durée varie de 3 à 4 mois selon les années. Les températures (moyennes) minimales et maximales tournent respectivement autour de 18°C et 45°C [10].

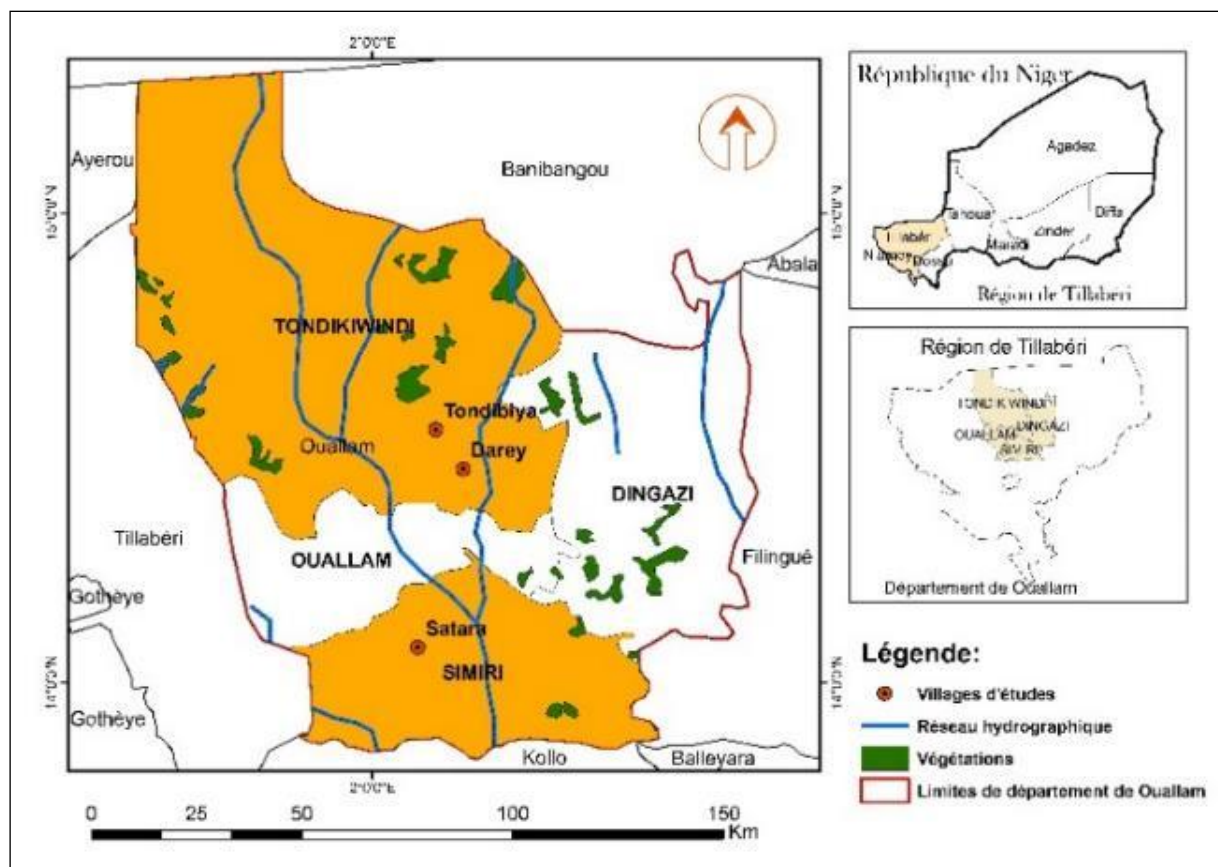


Fig. 1. Localisation des sites d'étude

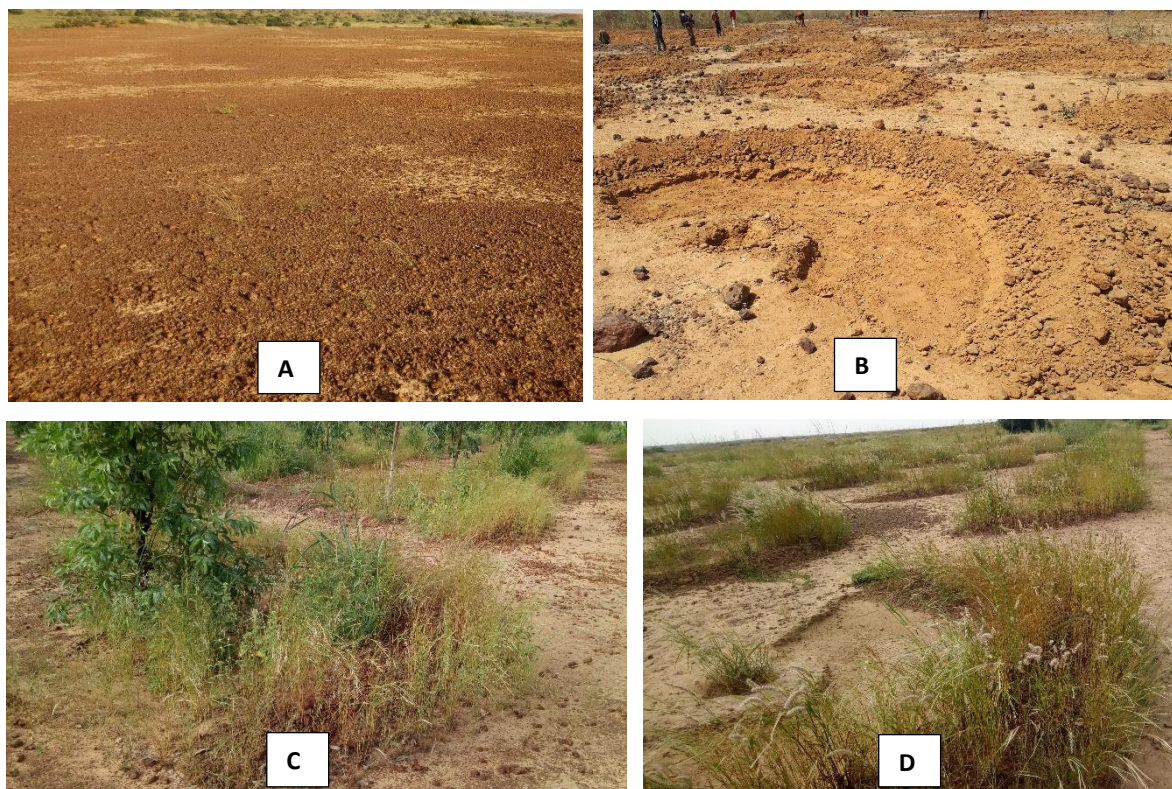


Fig. 2. Vues de sites: A: Témoin non aménagé; B: Demi-lunes sylvo-pastorales réalisées; C et D: Herbacées dans les ouvrages

2.2 DETERMINATION DES NUTRIMENTS DES ESPECES FOURRAGERES

2.2.1 ECHANTILLONNAGE DE LA BIOMASSE DES ESPECES

La méthode d'abondance-dominance de Braun-Blanquet [12] a été utilisée pour l'échantillonnage des espèces à analyser. Basée sur une observation directe sur le terrain, cette méthode permet de mieux appréhender la présence et l'ampleur des différentes espèces à travers une estimation de l'occupation (couverture) de chaque espèce (Tableau 1). Les espèces herbacées ayant un coefficient de dominance supérieur ou égal à 1, ont été retenues pour l'analyse des paramètres nutritionnels.

Tableau 1. Coefficients d'abondance-dominance

Coefficients	Couverture/occupation	Recouvrement moyen (R) en %
+	Espèce rare, $R \leq 1$	0,5
1	$1 < R \leq 5$	3
2	$5 < R \leq 25$	15
3	$25 < R \leq 50$	37,5
4	$50 < R \leq 75$	62,5
5	$75 < R \leq 100$	87,5

L'échantillon de chaque espèce a été obtenu par un prélèvement de toute la partie aérienne de l'individu (feuilles et tige d'environ 400 g), effectué dans les différents sites au mois de septembre, période à laquelle la biomasse fourragère est à son optimum dans les sites restaurés. Au total, 20 échantillons (19 de chaque type d'espèces et un échantillon composite) ont été constitués. Ensuite, ces échantillons ont été séchés à l'ombre afin d'éviter la dégradation des nutriments des espèces par le rayonnement solaire puis conditionnés dans des boîtes avant les analyses au laboratoire.

2.2.1.1 DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION CHIMIQUE

Les analyses ont été conduites au laboratoire de production animale de la Faculté d'Agronomie (UAM, Niamey/Niger). Le tableau 2 présente les paramètres nutritionnels déterminées avec les méthodes utilisées.

Tableau 2. Paramètres et méthodes d'analyse des espèces herbacées

Paramètres	Méthodes d'analyse
Matière sèche	Méthode officielle de AOAC [13].
Matière minérale	Par incinération de façon à obtenir la totalité des cations (ammonium exclu) sous forme des carbonates et autres sels minéraux anhydre [13].
Matière organique	Par déduction à partir de la matière minérale
Matière grasse	Méthode d'extraction par le soxhlet en utilisant l'hexane comme solvant à reflux [13].
Protéines totales ou Matières azotées	Méthode de Kjeldahl [13].
Cellulose brute	Méthode de Weende [13].

2.2.1.2 FORMULES DE CALCUL DES PARAMETRES

2.2.1.2.1 MATIÈRE SÈCHE

Dans des creusets préalablement séchés à l'étuve à 103°C pendant 30 mn et refroidis au dessiccateur puis pesés (P0), sont introduits 5 g (PE) de l'échantillon. Ces creusets sont introduits à l'étuve à 103°C pendant trois heures. Ils sont de nouveau pesés jusqu'à l'obtention d'un poids constant. Ainsi, le taux d'humidité est déterminé par la formule 1:

$$\% \text{ en eau} = \frac{PE - (Pf - P0)}{PE} \times 100 \quad (1)$$

PE = Prise d'essai (2 g du broyat du fourrage); P0 = Poids à vide des creusets; Pf = Poids final (creusets + PE).

$$\% \text{ MS} = 100 \% - \% \text{ en eau} \quad (2)$$

La Matière sèche (MS) est obtenue à partir des résultats de la teneur en eau.

2.2.1.2.2 MATIÈRE MINÉRALE ET ORGANIQUE

L'incinération est réalisée de façon à obtenir la totalité des cations (ammonium exclu) sous forme des carbonates et autres sels minéraux anhydre [13]. Des creusets sont séchés à l'étuve à 103°C pendant 30 mn et refroidis au dessiccateur puis pesés (P_0). En suite 3 g (PE) de l'échantillon (broyat) sont introduits dans ces creusets et portés à une incinération au four à 550°C pendant 4 heures. A la fin de l'incinération, les creusets sont retirés et refroidis au dessiccateur pendant 30 mn avant d'être pesés (P_f). Le pourcentage de cendres est donné par la formule 3:

$$\% \text{ cendre} = \frac{(P_f - P_0)}{PE} \times 100 \quad (3)$$

P_f : Poids final (creuset + échantillon); P_0 : Poids à vide des creusets; PE : Prise d'essai (broyat du fourrage); % cendre: Matière minérale (MM).

La Matière Organique (MO) totale est obtenue à partir des résultats de la matière minérale (MM) ou cendre. La teneur en matière organique est ainsi déterminée par la formule 4:

$$\% MO = \% MS - \% MM \quad (4)$$

2.2.1.2.3 MATIÈRE GRASSE

Un ballon est d'abord lavé et séché. Le poids à vide du ballon (P_0) est noté. Cinq (5) grammes (PE) de l'échantillon (broyat du fourrage) sont introduits dans les cartouches d'extraction puis le ballon est bouché avec du coton et placé dans le soxhlet. Le ballon est rempli d'environ 300 ml d'hexane puis relié au soxhlet. Ce dernier est relié à un système de réfrigération et est mis en connexion avec un cryostat permettant de condenser les vapeurs du solvant destinées à entraîner les lipides. Les extractions durent 4 heures. L'hexane est récupéré à travers un robinet. Le ballon est séché à l'étuve à 105 ° C et refroidi au dessiccateur pendant 30 mn puis pesé. La teneur en matière grasse (MG) est obtenue selon la formule 5:

$$\% MG = \frac{(P_f - P_0)}{PE} \times 100 \quad (5)$$

P_0 = masse du ballon à vide; P_f = masse du ballon contenant la matière grasse; PE = prise d'essai (broyat du fourrage).

2.2.1.2.4 MATIÈRES AZOTÉES OU PROTÉINE TOTALE

L'azote organique de l'échantillon (0,2 g) à analyser est transformé en azote minéral sous forme ammoniacale ($(NH_4)_2SO_4$ grâce à l'action oxydante de l'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur. Après déplacement par la soude (base forte ajoutée en excès), l'ammoniac est distillé puis titré en présence d'un réactif (acide borique) par acidimétrie. La teneur en protéine totale est calculée en multipliant la quantité d'azote par un facteur de conversion (6,25), soit 16% dans les protéines.

La teneur en matière azotée totale (MAT) est calculée par la formule 6:

$$\% N = \frac{(V_e - V_b)}{PE} \times N \times 0,014 \times 100 \quad (6)$$

V_e = chute de la burette (échantillon); V_b = chute de la burette (blanc); N = normalité de l'acide sulfurique utilisé pour le dosage = 0,1; PE = prise d'essai (0,2 g); 0,014 = masse molaire de l'azote \times 0,001; % N= Pourcentage de l'azote

Les protéines totales (PT) sont obtenues à partir du taux de l'azote selon la formule 7:

$$\% MAT = \% N \times 6,25 \quad (7)$$

6,25 = facteur de conversion multipliant la quantité d'azote pour avoir la teneur en protéine totale ; % MAT = Pourcentage de protéines.

2.2.1.2.5 CELLULOSE BRUTE

Il s'agit d'une double hydrolyse du broyat du fourrage, exempté de graisse et insoluble en milieu acide et en milieu alcalin (Weende).

Principe: l'échantillon est traité successivement par des solutions bouillantes d'acide sulfurique H_2SO_4 0,255 N et d'hydroxyde de sodium NaOH 0,313 N et lavé, séché puis calciné. La perte de poids résultant de la calcination correspond à la cellulose brute de prise d'essai. Une solution concentrée correspond à 35,64 N. Pour obtenir une solution à 0,255N, il faut prélever 14,3 ml d'acide sulfurique concentré et compléter à 2 litres avec de l'eau distillée.

$$\% CB = \frac{(P_2 - P_3)}{P_1} \times 100 \quad (8)$$

P1: prise d'essai (g); P₂: poids du creuset + cellulose + matières minérales (g) ; P₃: poids du creuset + matières minérales (g).

Après l'obtention des paramètres analysés, il a été procédé à la détermination des valeurs énergétique (UF) et azotée (MAD) de chacune des espèces fourragères retenues.

2.2.1.2.6 VALEUR ÉNERGÉTIQUE ET AZOTÉE

La valeur énergétique de l'espèce fourragère (en U.F./kg de MS) est égale à:

$$VF = \frac{MOd \text{ (en \% de MS)} \times K}{100} \quad (9)$$

K: Coefficient déterminé en fonction du CD, de la teneur en matière grasse en % MS et de la table de calcul de la valeur fourragère des aliments (Rivière, 1991); VF: Valeur fourragère en UF

$$\% MOD = \% MO \times CUD / 100 \quad (10)$$

MO: Matière organique; MOD: Matière organique digestible

La valeur azotée en MAD est obtenue par la formule 11:

$$\% MAD = \% MAT \times CUD / 100 \quad (11)$$

MAD: Matière azotée digestible

CUD: Coefficient de digestibilité déterminé en fonction de la teneur en cellulose brute en % MS et de la table de calcul de la valeur fourragère des aliments (Rivière, 1991).

3 RESULTATS

3.1 ESPÈCES FOURRAGÈRES ANALYSÉES

Au total, 19 espèces fourragères appartenant à 8 familles ayant un coefficient d'abondance-dominance compris entre 1 et 3, ont été retenues et analysées au laboratoire (Tableau 3). Il ressort la famille des Poaceae domine avec 8 espèces, en suite vient les familles des Caryophyllaceae et Fabaceae avec 3 espèces chacune, puis les autres familles avec une espèce chacune.

Tableau 3. Espèces analysées au laboratoire

Familles	Noms scientifiques	Coefficient	Intervalle de recouvrement (R)
Acanthaceae	<i>Monechma ciliatum</i> (Jacq.) Milne-Redh.	1	1 < R ≤ 5
Caryophyllaceae	<i>Ipomoea coscosperma</i> Hochst. Ex Choisy	1	1 < R ≤ 5
	<i>Jacquemontia tamnifolia</i> (L.) Griseb.	1	1 < R ≤ 5
	<i>Polycarpha linearifolia</i> (DC.) DC.	1	1 < R ≤ 5
Euphorbiaceae	<i>Chrozophora brocchiana</i> (Lam.) A. Juss. ex Spreng	1	1 < R ≤ 5
Fabaceae	<i>Alysicarpus ovalifolius</i> (Schumach.) J. Léonard	1	1 < R ≤ 5
	<i>Tephrosia linearis</i> (Willd.) Pers.	1	1 < R ≤ 5
	<i>Zornia glochidiata</i> Reich. Ex DC.	2	5 < R ≤ 25
Malvaceae	<i>Sida cordifolia</i> L.	2	5 < R ≤ 25
Poaceae	<i>Andropogon gayanus</i> Kunth	2	5 < R ≤ 25
	<i>Aristida mutabilis</i> Trin. & Rupr.	2	5 < R ≤ 25
	<i>Cenchrus biflorus</i> Roxb.	2	5 < R ≤ 25
	<i>Cymbopogon schoenanthus</i> (L.) Spreng.	2	5 < R ≤ 25
	<i>Eragrostis tremula</i> Steud.	1	1 < R ≤ 5
	<i>Pennisetum pedicellatum</i> Trin.	2	5 < R ≤ 25
	<i>Schizachyrium exile</i> (Hochst.) Pilger.	3	25 < R ≤ 50
	<i>Schoenefeldia gracilis</i> Kunth.	3	25 < R ≤ 50
Rubiaceae	<i>Spermacoce strachydea</i> DC.	1	1 < R ≤ 5
Sterculiaceae	<i>Waltheria indica</i> L.	2	5 < R ≤ 25

L'analyse de la composition de la matière fourragère a montré que celle-ci varie selon l'espèce. En effet, la teneur en matière sèche est comprise entre 95,30% et 97,17%. Les Poaceae (*Aristida mutabilis*, *Cenchrus biflorus*, *Schizachyrium exile*, *Schoenefeldia gracilis*) qui constituent la famille la plus représentée et abondante des herbacées, sont les plus pauvres en protéines et ont une teneur élevée en cellulose comparativement aux autres familles (Tableau 4).

Tableau 4. Nutriments et valeur alimentaire des espèces herbacées

Nom scientifique des espèces	MS (%)	Composition en % de matière sèche						Valeur alimentaire	
		MO	MM	MG	MAT	CB	ENA	VF (U.F./kgMS)	MAD (g/kg MS)
<i>Alysicarpus ovalifolius</i>	96,95	83,32	16,68	4,64	15,41	29,54	33,73	0,40	82,40
<i>Andropogon gayanus</i>	97,17	90,49	9,51	3,77	8,66	27,63	50,44	0,45	47,30
<i>Aristida mutabilis</i>	96,92	92,22	7,78	2,89	6,74	38,92	43,67	0,35	32,70
<i>Cenchrus biflorus</i>	96,74	88,27	11,73	3,39	7,33	34,15	43,40	0,37	36,90
<i>Chrozophora brocchiana</i>	95,30	87,88	12,12	9,48	12,72	19,06	46,63	0,67	78,90
<i>Cymbopogon schoenanthus</i>	96,59	92,76	7,24	6,50	6,72	30,59	48,95	0,44	35,50
<i>Eragrostis tremula</i>	96,30	93,99	6,01	3,68	7,50	30,47	52,34	0,43	39,60
<i>Ipomoea coscinosperma</i>	96,40	90,01	9,99	7,11	10,20	21,53	51,16	0,59	60,80
<i>Jacquemontia tamnifolia</i>	96,28	91,30	8,70	12,21	12,34	23,95	42,80	0,65	71,00
<i>Monechma ciliatum</i>	96,79	90,99	9,01	6,84	11,93	30,11	42,12	0,43	63,00
<i>Pennisetum pedicellatum</i>	96,53	83,61	16,40	4,91	7,92	31,85	38,93	0,39	41,30
<i>Polycarpaea linearifolia</i>	95,22	93,03	6,97	3,13	5,12	27,78	57,00	0,46	28,00
<i>Schizachyrium exile</i>	96,70	93,28	6,72	2,69	4,03	37,26	49,31	0,36	19,70
<i>Schoenefeldia gracilis</i>	95,86	89,54	10,46	2,11	11,43	32,07	43,94	0,39	59,20
<i>Sida cordifolia</i>	95,72	86,66	13,35	3,57	12,36	19,71	51,02	0,56	75,80
<i>Spermacoce strachydea</i>	95,97	78,02	21,98	5,15	8,56	17,68	46,64	0,56	54,70
<i>Tephrosia linearis</i>	95,71	94,89	5,11	1,71	15,32	22,00	55,86	0,55	90,70
<i>Waltheria indica</i>	96,91	92,44	7,56	6,75	10,23	26,16	49,30	0,50	57,00
<i>Zornia glochidiata</i>	95,89	89,48	10,52	5,34	13,55	25,08	45,51	0,50	76,60
Echantillon Composite	97,00	93,55	6,45	5,96	7,71	36,73	43,15	0,39	38,00

MS: Matière sèche; MO: Matière organique; MM: Matière minérale; MG: Matière grasse; MAT: Matière azotée totale; MAD: Matière azotée digestible; CB: Cellulose brute; % ENA: Extractif non azoté = % MO - (% CB + % MAT + % MG); VF: Valeur fourragère

3.2 CORRÉLATION ENTRE LES PARAMÈTRES

Le cercle ACP montre que les paramètres nutritionnels des différentes espèces ne sont pas parfaitement liés (Figure 3). On constate que MG, MAD et MAT sont positivement corrélées et sont opposées à CB et MS. La MO et MM sont opposées.

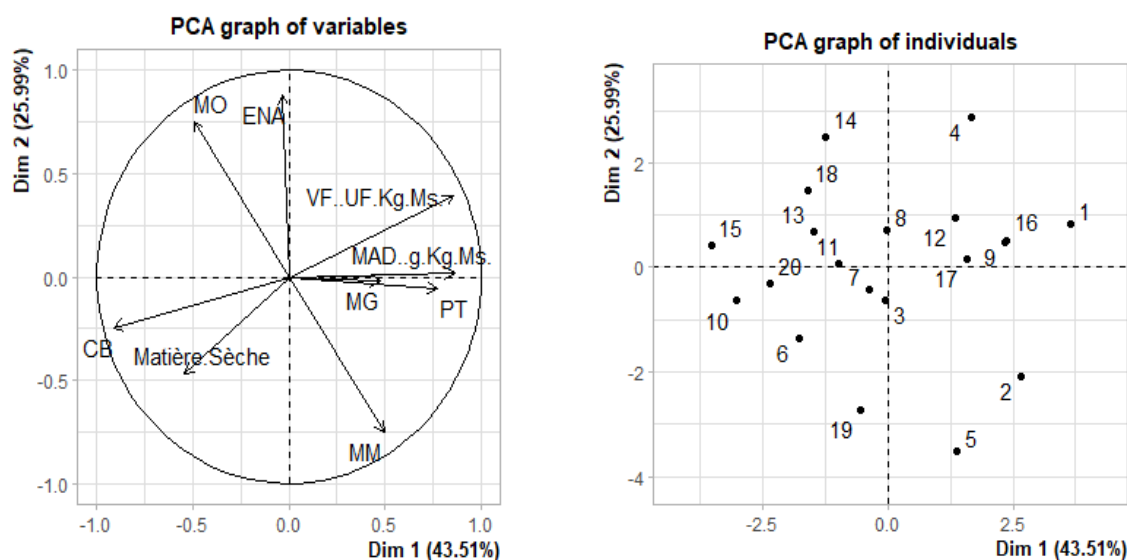


Fig. 3. ACP des paramètres nutritionnels du fourrage

1= *Chrozophora brocchiana*, 2= *Spermacoce strachydea*, 3= *Monechma ciliatum*, 4= *Tephrosia linearis*, 5= *Alysicarpus ovalifolius*, 6= *Cenchrus biflorus*, 7= *Schoenefeldia gracilis*, 8= *Waltheria indica*, 9= *Sida cordifolia*, 10= *Aristida mutabilis*, 11= *Andropogon gayanus*, 12= *Ipomoea coscosperma*, 13= *Cymbopogon schoenanthus*, 14= *Polycarpha linearifolia*, 15= *Schizachyrium exile*, 16= *Jacquemontia tamnifolia*, 17= *Zornia glochidiata*, 18= *Eragrostis tremula*, 19= *Pennisetum pedicellatum* et 20= *Echantillon composite*.

4 DISCUSSION

La détermination des nutriments des espèces étudiées, montre que la teneur en matière sèche (MS) est comprise entre 95% et 97%. Ce taux élevé de la MS serait lié à la période du prélèvement des espèces (fin septembre). Dans son travail, [14] a relevé que la teneur en MS du fourrage augmente selon que la saison des pluies tire à sa fin. Il a notifié que le taux de matières sèches passe de 26,5% en début de la saison des pluies (juillet) à 60% en fin septembre. Par ailleurs, les résultats de la présente étude et d'autres travaux [15], [16], [17], ont mis en évidence que le fourrage des sites restaurés a un taux élevé en MS, comparés à ceux de [14]. Cela est imputable à la diversité floristique, à la pluviométrie et au type de sol.

On constate que la famille des Poaceae est la plus dominante. En effet, la baisse de la diversité floristique au profit de la résilience des Poaceae [18], [19], [20], n'implique pas forcément une faible qualité fourragère en alimentation animale, car certaines espèces comme *Cenchrus biflorus* et *Andropogon gayanus*, ont une valeur appréciable [21]. En outre, les Fabaceae (*Alysicarpus ovalifolius*, *Zornia glochidiata*) qui secondaient habituellement les Poaceae en termes d'abondance, ont généralement une bonne valeur nutritionnelle (notamment en matière azotée totale et matière azotée digestible). Les résultats de l'analyse fourragère de la présente étude et ceux obtenus par [22] sur le niébé, ont relevé que les espèces *Alysicarpus ovalifolius* et *Zornia glochidiata* ont quasiment la même qualité en matière azotée (15,41% de MAT pour *Alysicarpus ovalifolius*) que la fane de niébé (15,6% de MAT). La fane de niébé est un des sous-produits des cultures légumineuses réputées dans l'alimentation animale au Niger [23] tandis que ces Fabaceae ne sont pas cultivés.

Par ailleurs, plusieurs travaux [24], [25] ont obtenu que la valeur azotée, et même d'autres paramètres comme la valeur énergétique, particulièrement des Poaceae, qu'elles soient spontanées ou cultivées, diminue selon que le cycle (âge de l'individu) de production avance. Cela implique que les taux d'azote obtenus des différentes espèces suite à la détermination des nutriments dans la présente étude, seraient meilleurs si les échantillons étaient prélevés à une date antérieure au mois de septembre. Le travail de [14] confirme cela, où le taux de matières azotées totales a diminué progressivement de 9,26 à 5,3% (en 2006) ou encore de 21,4 à 3,4% (en 2007), entre juillet et novembre (Station Sahélienne Expérimentale de Toukounous, nord-Tillabéri). Sur l'espèce *Andropogon gayanus*, [26] ont trouvé que le taux de matière azotée totale est passé de 15,8% du stade de 3-4 feuilles à 8,5% au stade de floraison.

La détermination des nutriments a montré que certaines espèces (*Aristida mutabilis*, *Cymbopogon schoenanthus*, *Schizachyrium exile*) ont une teneur en protéines inférieure à 7%, teneur en dessous de laquelle l'activité microbienne du rumen est limitée [27]. L'espèce *Schizachyrium exile* qui est l'une des plus abondantes dans les sites, a enregistré la plus faible matière azotée totale (4,03%) et se trouve être moins appréciée. Ainsi, la connaissance de la valeur bromatologique permettra d'optimiser l'utilisation des espèces dans l'alimentation du bétail [28], [29], [30]. A ce titre, les associations Poaceae-légumineuses amélioreraient la qualité des fourrages [24], [31].

S'agissant de la corrélation entre les paramètres, le cercle de corrélation ACP a indiqué que la matière grasse (MG), la matière azotée digestible (MAD), la matière azotée totale (MAT) et la matière minérale (MM) sont corrélées entre elles et également avec la première dimension. Elles sont inversement corrélées à la cellulose brute (CB), la matière sèche (MS) et la matière organique (MO). Ces résultats

sont similaires à ceux obtenus par le travail de [32] sur les valeurs nutritionnelles de 21 plantes vivaces des parcours sahariens algériens où CB et MO sont corrélées et inversement avec MM et MAT.

5 CONCLUSION

Au terme de cette étude, il ressort que les espèces *Schizachyrium exile*, *Schoenefeldia gracilis*, *Aristida mutabilis* et *Cenchrus biflorus*, toutes des Poaceae et majoritaires, ont enregistré les faibles valeurs fourragères. Les différentes valeurs de l'échantillon composite sont proches de celles des Poaceae. Cela confirme la dominance des Poaceae et reflète la qualité du fourrage dans les sites étudiés et par extension dans les sites aménagés de la zone.

Par contre, l'espèce *Chrozophora brocchiana* présente la meilleure valeur fourragère malgré qu'elle se trouve être moins appréciée par les animaux. Aussi, l'espèce *Sida cordifolia* qui est relativement appréciée, présente des meilleures valeurs comparativement aux Poaceae. Ces résultats révèlent qu'il est opportun de trouver des moyens ou technologies, permettant de valoriser ces espèces dans l'alimentation animale, surtout que ces dernières notamment l'espèce *Sida cordifolia*, envahissent les terres et les sites restaurés.

REFERENCES

- [1] B. Abdou, S. T. Souleymane, C. Baba, D. Cheick Hamalla, D. Moriké, T. Alou et D. Sidi, «Pressions anthropiques et dynamique d'occupation des terres dans le terroir de Ziguéna, zone cotonnière du Mali», *European Scientific Journal*, vol. 12, no. 5, pp. 90-99, 2016.
- [2] S. B. Boni, J. D. Paulin, A. Boureïma et S. Brice, «Exploitation des ressources biologiques et dynamique de la forêt classée de la Mekrou au Bénin», *European Scientific Journal*, vol. 12 no. 36, pp. 228-244, 2016. DOI: 10.19044/esj.2016.v12n36p228.
- [3] M. Larwanou: Dynamique de la végétation dans le domaine sahélien du Niger occidental suivant un gradient d'aridité: Rôles des facteurs écologiques, sociaux et économiques. Thèse de Doctorat, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger, 229p, 2005.
- [4] M. Issoufou, O. Boureïma et D. Ado, «Evolution de l'occupation des sols dans la partie Nord du Dallol Bosso, départements de Filingué et Balleyara, région de Tillabéri-Niger», *European Scientific Journal*, vol. 14, no. 30, pp. 391-407, 2018. DOI: 10.19044/esj.2018.v14n30p391.
- [5] INS (Institut National de la Statistique): Annuaire statistique 2015-2019, édition 2020. 256p, 2020.
- [6] S. Douma: Etude ethnobotanique et écologique des plantes ligneuses alimentaires de soudure des systèmes agroforestiers du sud-ouest du Niger: diversité, importance, structure et niveau de menace. Thèse de Doctorat Unique de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger, 93p, 2016.
- [7] A. O. Moussa, N. Dan Lamso, I. Dan Guimbo, S. Saidou et H. Gama Dadi, « Etudes des facteurs influant la dynamique du paysage dans le département de Ouallam (Niger) », *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 37, no. 4, pp. 735-751, 2022a.
- [8] H. Moussa, A. S. Noma., A. T. Amadou et B. Hassane, «Evaluate the socio-economic impact of the realization of half-moons and forest benches, their durability as well as their influences on the plantations of *Eucalyptus camaldulensis* at the village of satara, commune of Simiri, department of Ouallam, region of tillabery in Niger, west Africa», *International Journal of Agriculture and Environmental Research*, vol. 3, no. 6, pp. 4307-4328, 2017.
- [9] A. Amani, I. Adam, S. Barmo, E. M. Abdourahaman et A. Mahamane, «Impacts des banquettes et demi-lunes forestières sur les caractéristiques physico-chimiques du sol et la diversité végétale spontanée dans l'Ouest nigérien», *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 34, no. 3, pp. 583-600, 2021.
- [10] A. O. Moussa, I. Dan Guimbo, N. Dan Lamso, H. Rabiou et S. A. Harouna, «Impacts de la demi-lune sylvopastorale sur la revégétalisation des plateaux dans le département de Ouallam (Niger)», *European Scientific Journal*, vol. 18, no. 36, pp. 119-223, 2022b. DOI: 10.19044/esj.2022.v18n36p199.
- [11] M. O. Laminou, A. Amani, I. Dan Guimbo, A. H. Rachidi et A. Mahamane, «Impacts des banquettes dans la récupération des terres dégradées au Niger», *Journal of Applied Biosciences*, no. 151, pp. 15510-15529, 2020. DOI: <https://doi.org/10.35759/JABs.151.1>.
- [12] J. Braun-Blanquet: Plant sociology. The study of plant communities. Ed. McGraw Hill, New York, London, 439p, 1932.
- [13] AOAC (Association of Official Analytical Chemists, Arlington, N° 934.06, 1990): 1990. Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, Arlington, n° 934.06, 1932.
- [14] O. Saidou: Caractérisation des ressources fourragères de la Station Sahélienne Expérimentale de Toukounous (Filingué-Niger). Thèse de Doctorat, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger, 122p, 2011.
- [15] N. A. Moussa: Effets des travaux de récupération des terres dégradées sur la production agro-pastorale dans le secteur de Tondibia (Tondikiwindi). Mémoire de Master, Faculté d'Agronomie/UAM, 60p, 2018.
- [16] A. Ismaguila: Effets des demi-lunes sur le potentiel pastoral dans le secteur de Allakaye, département de Bouza: Cas des sites de Karkara et Kaché ». Mémoire de Master, Faculté d'Agronomie/UAM, 57p, 2018.
- [17] Y. A. Ousseini: Effets des travaux de récupération des terres dégradées sur le potentiel agro-sylvo-pastoral dans le secteur de Darey (Tondikiwindi) ». Mémoire de Master, Faculté d'Agronomie/UAM, 72p, 2018.

- [18] K. Adama: Impacts socioéconomiques de l'utilisation de la jachère forestière améliorée pour la récupération des terres salées dans la région de Kaolack, au Sénégal. Mémoire de Maîtrise, Université de Laval, Québec, Canada, 121p, 2013.
- [19] A. Kouassi, K. Koffi, K. N'Goran et I. Ipou, «Potentiel de production fourragère d'une zone pâturée menacée de destruction: cas du cordon littoral Port-Bouet et Grand-Bassam», *Journal of Applied Biosciences*, no. 82, pp. 7403-7410, 201. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v82i1.9>.
- [20] A. Alhassane, I. Soumana, S. Karim, I. Chaibou, A. Mahamane et M. Saadou, «Flore et végétation des parcours naturels de la région de Maradi, Niger», *Journal of Animal et Plant Sciences*, no. 34, pp. 5354-5375, 2017.
- [21] A. M. Malam: Caractérisation du potentiel de revégétalisation spontanée des sols en milieu dunaire et proposition de techniques alternatives de fixation des dunes dans le sud-est du Niger ». Thèse de Doctorat, Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger, 173p, 2019.
- [22] M. M. O. Mahaman: Optimisation de l'utilisation des sous-produits de niébé en alimentation animale: Cas des fanes et cosses. Thèse de Doctorat, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger, 182p, 2018.
- [23] M. M. O. Mahaman, M. Chaibou et M. Mani, «Pratique et utilisation des sous-produits de légumineuse dans l'alimentation du bétail à la communauté urbaine de Niamey: Cas de fanes et cosses de niébé (*Vigna unguiculata*)», *Journal of Applied Biosciences*, no 120, pp. 12006-12017, 2017.
- [24] R. Baumont, J. Aufrère et F. Meschy, «La valeur alimentaire des fourrages: rôle des pratiques de culture, de récolte et de conservation», *Fourrages*, no. 198, pp. 153-173, 2009.
- [25] P. V. Protin, G. Corre-Hellou, C. Naudi et R. Trochard, «Impact des pratiques de fertilisation sur la productivité des prairies et mélanges céréales – protéagineux et la qualité du fourrage», *Fourrages*, no. 198, pp. 115-130, 2009.
- [26] S. Babatounde, M. Oumorou, V. I. Tchabi, T. Lecomte, M. Houinato et C. Adandedjan, «Ingestion volontaire et préférences alimentaires chez des moutons Djallonké nourris avec des graminées et des légumineuses fourragères tropicales», *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 4, no. 4, pp. 1030-1043, 2010.
- [27] C. B. Sampaio, E. Detmann, I. Lazzarini, M. A. Souza, M.F. Paulino et S.C. Valadares Filho, «Rumen dynamics of neutral detergent fiber in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds», *Rev. Bras. Zootec.*, no. 38, pp. 560–569, 2009.
- [28] E. Lecloux, M. Duru, C. Jouany, G. Martin, J. P. Theau et P. Cruz, «Caractéristiques morphologiques et fonctionnelles de graminées natives en relation avec la préférence alimentaire d'ovins au pâturage», *Renc. Rech. Ruminants*, no. 16, pp. 25-28, 2009.
- [29] A. G. Zoffoun et A. M. L. Faihun, «Palatabilité de onze fourrages tropicaux chez des cobayes (*Cavia porcellus*) de différents stades physiologiques au Bénin», *Journal of Animal & Plant Sciences*, no. 41, pp. 6916-6925, 2019. <https://doi.org/10.35759/JAnmPLSci.v41-2.5>.
- [30] B. A. Aliou, M. Chaibou, M. M. O. Mahaman et N. M. Elhadji, «Effet de la supplémentation des rations par un additif alimentaire sur la croissance pondérale et le rendement carcasse des chevreaux Roux de Maradi au Niger», *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 13, no. 6, pp. 2487-2496, 2019. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i6.5>.
- [31] M. I. Tshibangu, M. F. Kampemba, K. C. Kashala, M. H. Kiatoko et J. L. Hornick, «Composition chimique et indice de palatabilité des feuilles de *Adenodolichos rhomboideus* *Leucaena leucocephala* et *Stylosanthes guianensis* chez la chèvre locale à Lubumbashi», *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 8, no. 3, pp. 937-945, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i3.10>.
- [32] A. Chehma, B. Faye et D. Bastianelli, «Valeurs nutritionnelles des plantes vivaces des parcours sahariens algériens pour dromadaires», *Fourrages*, no. 204, pp. 263-268, 2010.

Gestion de la chenille légionnaire d'automne *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera, Noctuidae) en Afrique, cas de l'Afrique de l'Ouest: Une revue systématique des méthodes de lutte utilisées, défis et perspectives

[Management of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera, Noctuidae) in Africa, case of West Africa: A systematic review of the control methods used, challenges and perspectives]

Flavie W. TAPSOBA¹, Issoufou OUEDRAOGO¹, Omer Sacamba Aimé HEMA¹, and Antoine SANON²

¹Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Station de Farako-Bâ, Laboratoire d'Entomologie, 01 BP 910 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

²Université Joseph KI-ZERBO, Ecole Doctorale Sciences et Technologies, Laboratoire d'Entomologie Fondamentale et Appliquée (LEFA), 06 BP 9499 Ouagadougou, Burkina Faso

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

ABSTRACT: The fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) is native to America and was first reported in several African countries in 2016. It is an insect that mainly attacks maize plants and can cause significant yield losses in the absence of protection methods. This situation poses a threat to agriculture and the economy of African countries. Given the extent of the damage and losses caused by this pest, a systematic review was carried out through literature searches. This research made it possible to collect necessary information on the biology and ecology of the armyworm. Similarly, several pest control strategies were listed in this article. Among these strategies, integrated pest management is the best control option to minimize the impact of this pest. In addition, this article reviews the challenges to be faced in the control of this pest.

KEYWORDS: pest, control strategies, integrated pest management, biology, ecology.

RESUME: La chenille légionnaire d'automne (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) est originaire de l'Amérique et a été signalée pour la première fois dans plusieurs pays d'Afrique en 2016. C'est un insecte qui attaque principalement les plantes de maïs et peut entraîner d'importantes pertes de rendement en absence de méthodes de protection. Cette situation constitue une menace pour l'agriculture et l'économie des pays africains. Au regard de l'importance des dégâts et des pertes qu'occasionne ce ravageur, une revue systématique a été réalisée à travers des recherches documentaires. Ces recherches ont permis de collecter des informations nécessaires sur la biologie et l'écologie de la chenille légionnaire. De même, plusieurs stratégies de contrôle du ravageur ont été répertoriées dans cet article. Parmi ces stratégies, la lutte intégrée s'avère la meilleure option de lutte pour minimiser l'impact de ce ravageur. En outre, cet article passe en revue les défis à relever dans la lutte contre ce ravageur.

MOTS-CLEFS: ravageur, stratégies de contrôle, lutte intégrée, biologie, écologie.

1 INTRODUCTION

La chenille légionnaire d'automne (CLA) *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) est un insecte ravageur originaire des régions tropicales et subtropicales d'Amérique. Les larves de CLA se nourrissent sur plus de 80 espèces de plantes hôtes, avec une préférence pour le maïs [1], [2]. De son aire d'origine, ce ravageur s'est répandu dans le reste du monde, notamment sur les continents africain et asiatique après 2016 [3]. L'insecte a été signalé pour la première fois en Afrique au Nigéria, à Sao Tomé, au Bénin et au Togo en 2016 [4].

La CLA est l'un des ravageurs les plus destructeurs du maïs aussi bien dans les pays en développement que dans les pays à revenu élevé comme les Etats-Unis d'Amérique [5], [6]. Aux Etats-Unis, et plus précisément au Brésil, les pertes causées par la CLA peuvent être estimées à plus de 400 millions de dollars par an [7]. En Afrique, cette chenille entraîne des pertes de l'ordre de 8,3 à 20,6 millions de tonnes de maïs chaque année en absence de méthodes de lutte efficaces [3]. Au Burkina Faso, 99% des infestations des cultures de maïs ont été attribuées à la chenille au cours de la campagne agricole 2021-2022 [8]. En plus des dommages et pertes économiques causés par les chenilles, leurs adultes qui sont des papillons ont une capacité de propagation rapide et peuvent parcourir une distance de 100 km en une nuit [1].

Pour faire face aux dégâts causés par ce ravageur, les agriculteurs font recours aux insecticides chimiques de synthèses [9]. En effet, ils utilisent plus les insecticides chimiques comparativement aux autres méthodes de contrôle dans le but d'obtenir de meilleur rendement [10] – [12]. L'une des conséquences de l'utilisation abusive des insecticides chimiques de synthèse pourrait être la résistance des insectes à ces différentes familles d'insecticides [13]. Aussi, cela peut avoir des effets néfastes sur l'environnement, la biodiversité et la santé aussi bien des utilisateurs que celle des consommateurs des produits agricoles [14] – [16]. Au regard de l'importance des dégâts causés par cette chenille et des contraintes liées à la lutte chimique, des alternatives de lutte efficaces et respectueuses de l'environnement ont été proposées. En outre, toute méthode de lutte efficace nécessite la connaissance de la bio écologie du ravageur. Cet article qui est un travail de synthèse, vise à faire l'état des lieux sur la biologie et l'écologie de la CLA, les options de sa gestion et les défis à relever dans la lutte contre ce ravageur en Afrique de l'Ouest.

2 MÉTHODOLOGIE DE LA RECHERCHE DOCUMENTAIRE

Pour retrouver les documents adéquats, des recherches ont été effectuées en utilisant le moteur de recherche Google scholar en introduisant des mots clés en lien avec le thème de l'étude. Les recherches lancées sur Google scholar ont souvent conduit vers d'autres sites (ResearchGate, HAL-AgroParisTech, Wiley Online Library, MDPI, Agritrop (CIRAD) qui ont été utilisés pour perfectionner la recherche. Les recherches ont été également faites en Anglais utilisant les mêmes mots-clés. Les documents consultés en français ou en anglais datent de 1981 à 2024. Au total, 200 documents (articles scientifiques, mémoires, livres et thèses) ont été consultés. Parmi ses documents, 130 ont été téléchargés et lus dont 99 ont été effectivement exploités dans cette revue de littérature. Tous les documents retenus ont été rassemblés en 03 groupes thématiques à savoir: (i) biologie et écologie de la chenille légionnaire d'automne; (ii) méthodes de luttés contre la chenille légionnaire; (iii) défis de la lutte contre la chenille légionnaire.

3 RÉSULTATS

3.1 GENERALITES SUR LA CHENILLE LEGIONNAIRE D'AUTOMNE

3.1.1 ORIGINE ET DISPERSION GEOGRAPHIQUE DE LA CHENILLE LEGIONNAIRE

La CLA est un insecte originaire des régions tropicales et subtropicales d'Amérique. On la trouve couramment dans les caraïbes, y compris Porto Rico [17]. L'insecte ne devient abondant dans ces états qu'à l'automne, d'où son appellation chenille légionnaire d'automne. Des Amériques, la CLA s'est ensuite répandue dans le reste du monde [18]. Détectée pour la première fois en Afrique en 2016, elle a été identifiée dans plus de 30 pays en 2018, y compris les îles comme Cap-Vert, Madagascar, et les Seychelles [2], [4]. Au Burkina Faso, la CLA a été signalée pour la première fois en Juin 2016 et en 2018, elle avait déjà atteint toutes les 13 régions du pays [19], [20]. En 2018 également, la CLA a été détectée pour la première fois dans certains pays de l'Asie comme l'Inde et la Chine où elle s'est établie et occasionne de nombreux dégâts [21] – [23]. La figure 1 présente la carte de la propagation mondiale de la CLA depuis 2016 jusqu'à 2020.

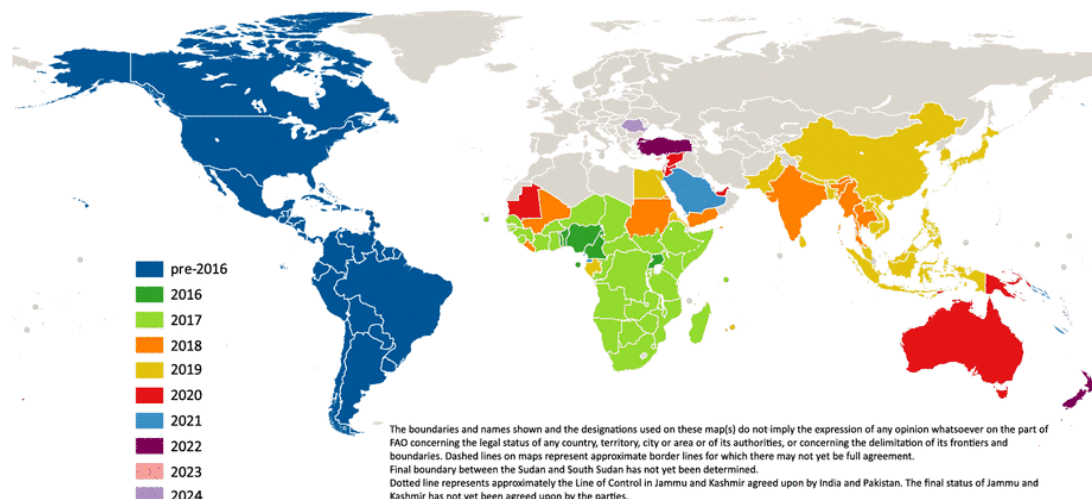


Fig. 1. Carte de la propagation mondiale de la CLA

Source: [24]

3.1.2 SYSTÉMATIQUE

La chenille légionnaire appartient à l'ordre des Lépidoptères qui constitue le troisième ordre d'insectes le plus abondant en termes de nombre d'espèces après les Coléoptères et les Diptères [25]. La superfamille des Noctuoidea comprend 6 familles: les familles des Oenosandridae, des Notodontidae, des Erebidae, des Euteliidae, des Nolidae et des Noctuidae. La famille des Noctuidae comprend 1089 genres et 11772 espèces [25]. Les références [26], [27], montrent la position systématique de la CLA comme suit:

Règne: Animal
Embranchement: Arthropoda
Sous embranchement: Hexapoda
Classe: Insecta
Ordre: Lepidoptera
Superfamille: Noctuoidea
Famille: Noctuidae
Genre: *Spodoptera*
Espèce: *Spodoptera frugiperda*

3.1.3 DESCRIPTION ET CYCLE BIOLOGIQUE

La légionnaire d'automne est une espèce qui présente plusieurs générations et elle est polyphage. Cet insecte est capable de réaliser son cycle de vie sur plusieurs espèces végétales et se nourrit également d'une multitude d'espèces de plantes [2]. La durée de son cycle de vie et le nombre de générations par an varient principalement en fonction de la température [28]. En Amérique, le cycle de vie de la CLA est de 30 jours environ (température quotidienne de ~28°C) pendant les mois chauds d'été, mais peut aller jusqu'à 60-90 jours au moment des températures les plus basses [2]. En Afrique et plus particulièrement en Afrique de l'Ouest, des études ont montré que le cycle de vie de la CLA est compris entre 30 et 52 jours [29], [30]. Quatre stades constituent le cycle de vie de la CLA (Planche 1).

3.1.3.1 STADE ŒUFS

Les œufs couverts d'écailles grisâtres sont vert pâle ou blanc au début de la ponte et deviennent bruns clairs ou bruns avant l'éclosion [13], [31]. Ils sont pondus à la surface des feuilles le plus souvent en amas de 100-200 œufs et une femelle peut pondre environ 1500 œufs avec un maximum de plus de 2000 œufs [2]. L'œuf mesure environ 0,4 mm de diamètre et 0,3 mm de hauteur. En Côte d'Ivoire, les travaux de [30] ont révélé que les œufs mesuraient entre 0,60 mm de diamètre et 0,70 mm

de hauteur. La durée du stade œuf varie de 2 à 10 jours selon la température [32]. La référence [13] montre que la durée du stade œufs est de 2-3 jours lorsque la température est comprise entre 20-30°C. Des résultats similaires ont également été rapportés au Burkina Faso, au Sénégal et en Côte d'Ivoire [29], [30], [33].

3.1.3.2 STADE LARVAIRE

La chenille légionnaire a généralement six stades larvaires parfois cinq ou sept [34], [35]. Cette variation du nombre de stade larvaire peut être lié à plusieurs facteurs comme la température, la photopériode, la qualité et la quantité de nourriture, l'humidité, l'hérédité, etc [36]. En témoigne les études menées par [35] qui ont fait varier les conditions d'élevage notamment la température et ont trouvé que le nombre de stade larvaire diffèrent en fonction de la température.

A l'éclosion, les jeunes larves sont de couleurs verdâtres, avec une tête noire et présentent des lignes noires et des taches sur le corps [2], [34]. Cependant, les chenilles âgées (stades L4, L5 et L6) sont caractérisées par une forme d'Y inversé en jaune sur la tête, des pinacules dorsales noires avec de longues soies primaires (deux de chaque côté de chaque segment dans la zone dorsale pâle) et quatre taches noires disposées en carré sur le dernier segment abdominal [34]. La durée de la phase larvaire est d'environ 14 jours pendant les mois chauds d'été et 30 jours pendant la période glaciaire [2]. Les études réalisées en Côte d'Ivoire ont montré une durée des stades larvaires de $24,63 \pm 5,41$ jours sur la plante du maïs dans les conditions de température de $24^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ et d'humidité relative de 70-80% [30]. Au Burkina Faso la durée des stades larvaires sur la plante de maïs a été de $37,45 \pm 2,65$ jours à une température comprise entre $25,6-26,7^{\circ}\text{C}$ et à une humidité relative de 66,5-75,2% [29]. Cependant, au Sénégal, la durée du stade larvaire sur la plante de maïs a été de 12,40 jours dans les conditions de température de $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ et d'humidité relative de 70% [33]. La durée du stade larvaire étudiée au Sénégal sur d'autres cultures a été de 12,93 jours et 13,46 jours respectivement pour le Sorgho et le mil à $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ et à $70\% \pm 10\%$ [33].

3.1.3.3 STADE CHRYSALIDE

Le stade chrysalide de la CLA se déroule généralement dans le sol, à une profondeur de 2 à 8 cm [13]. Lorsque le sol est compact, la chenille se chrysalide au niveau des débris de feuilles. Cependant, elle peut devenir chrysalide dans la corné du maïs ou dans l'aisselle des feuilles [37]. Les chrysalides de couleurs brunes sont plus courtes que les larves matures (1,3-1,5 cm chez les mâles et 1,6-1,7 cm chez les femelles) avec une durée du stade d'environ 8 à 9 jours [13]. Ces résultats sont confirmés en Côte Ivoire, au Sénégal et au Burkina Faso [29], [30], [33].

3.1.3.4 STADE ADULTE

Les adultes sont des papillons nocturnes de couleur brune [2]. L'adulte mâle de la CLA a une longueur de 1,6 cm et une envergure de 3,7 cm tandis que l'adulte femelle mesure 1,7 cm de long avec une envergure de 3,8 cm. Les ailes antérieures sont plus sombres chez le mâle avec des marques sombres et des bandes pâles et grises à gris-brun chez la femelle. Les ailes postérieures sont d'un irisé blanc argenté avec une bordure sombre étroite chez les deux sexes [2], [38]. Les adultes vivent en moyenne 10 jours avec une activité d'accouplement qui a lieu entre 18h00 et 4h00 [39].



Œufs de la CLA



Y renversé sur la tête de la CLA



Quatre taches noires disposées en carrée sur le dernier segment abdominal de la CLA



Chrysalide de la CLA



Mâle de la CLA



Femelle de la CLA

Planche 1: Différents stades du cycle de vie de la chenille légionnaire d'automne (CLA)

Source: [40]

3.1.4 DEGATS ET PLANTES HOTES DE LA CHENILLE LEGIONNAIRE D'AUTOMNE

La référence [41] montre que les larves de la CLA s'attaquent à 353 espèces de plantes réparties dans 76 familles principalement les Poaceae (106), les Asteraceae (31) et les Fabaceae (31). Elles causent des dégâts importants aux graminées cultivées d'importance économique notamment le maïs, le riz, le sorgho, la canne à sucre, mais aussi les légumes et le coton [34]. Les larves attaquent pratiquement toutes les parties du maïs [42]. Leurs dégâts se résument à la défoliation et les jeunes larves s'alimentent en laissant des sortes de petites fenêtres sur ces feuilles [38]. Quant aux larves plus âgées, elles se nourrissent surtout de la région basale du verticille et peuvent sectionner la base des jeunes plantes de moins de 30 jours [40]. Au cours des stades de développement plus avancés du maïs, ce sont les organes reproducteurs et les épis du maïs qui sont attaqués. Les larves entrent dans les épis par le côté et parfois par l'extrémité et peuvent rendre ces derniers vulnérables aux aflatoxines [43]. Les dégâts de la chenille sont également observables en saison sèche sur les cultures de contre saison car l'insecte se développe tant que les conditions du milieu sont favorables [34]. Cet constat a été fait par [44].

3.1.5 IMPACT ÉCONOMIQUE DE LA CHENILLE LEGIONNAIRE D'AUTOMNE SUR LE MAÏS

Les dégâts de la chenille légionnaire sur les différentes parties du maïs peuvent entraîner une baisse de la qualité des produits agricoles et des pertes de rendement consécutives [28]. La référence [45] montre qu'aux Etats-Unis, les infestations durant le stade de développement du maïs allant du milieu à la fin du cycle peuvent entraîner des pertes de rendement de 15

à 73% lorsque 55 à 100% des plantes sont infestés. Au Brésil, les pertes liées à la CLA peuvent être estimées à plus de 400 millions de dollars par an [7]. Une étude menée sur la CLA en Afrique a indiqué que cet insecte pouvait entraîner des pertes de rendement de maïs allant de 8,3 à 20,6 millions de tonnes par an, en l'absence de toute méthode de lutte pour seulement 12 grands pays producteurs africains de maïs [3]. En Afrique de l'Ouest, le même constat est fait et en août 2016, 30 000 à 40 000 ha de maïs ont été détruits dans les régions du Nord Bénin [46]. Au Nigéria, au Sénégal, au Niger et en Côte d'Ivoire, on note également des pertes importantes dues à l'infestation de cet insecte [33], [46], [47]. Au Ghana, la perte moyenne de maïs a été estimée à 177 millions de dollars US en 2018 [48]. Au Togo, les coûts de production d'un hectare de maïs ont considérablement augmenté et sont passés de 171 511 à 246 407 F CFA à cause des dépenses supplémentaires liées à la gestion du ravageur [49]. Le Burkina Faso a noté environ 99% des infestations de cet insecte au 31 Août 2021 (sur 28 348 ha de maïs infestés au total, 28 198 ha sont attribuables à la chenille légionnaire d'automne) [8].

3.2 METHODES DE LUTTE CONTRE LA CHENILLE LEGIONNAIRE

3.2.1 MÉTHODE CULTURALE

La méthode culturale comprend essentiellement les périodes de culture, l'utilisation de variétés résistantes, les rotations culturales, les associations végétales et le désherbage régulier des champs de maïs [10]. La période de culture la plus recommandée est le semis précoce du maïs en utilisant des variétés précoces afin d'éviter de fortes infestations par la chenille. En effet, un semis précoce après les premières pluies permet généralement de meilleures conditions de croissance pour le maïs [9]. C'est le cas des agriculteurs du Bénin et du Burkina Faso qui utilisent cette technique de lutte culturale dans leur champ pour éviter les fortes infestations de la CLA [10], [50]. L'utilisation de variétés de maïs tolérantes ou résistantes à la chenille légionnaire est également conseillée pour son contrôle car elles offrent un moyen pratique et économique de minimiser les pertes de récoltes dues au ravageur. Ainsi, en raison de leurs avantages visibles, mais également par le fait qu'elles nécessitent moins d'applications de pesticides que les variétés sensibles à la CLA, les variétés résistantes ont été facilement adoptées par les agriculteurs [51] – [53]. En témoignent les agriculteurs Burkinabè dont 42 % utilisent des variétés résistantes/tolérantes à la CLA [10]. Quant à la rotation culturale, elle consiste à alterner les cultures hôtes et non hôtes de la chenille légionnaire dans le même champ. Elle permet de ce fait une diversification de l'environnement agricole tout en améliorant les conditions de croissance de la plante et en augmentant la résistance aux ravageurs [2]. Cette technique de lutte est utilisée par les producteurs Burkinabè, Sénégalais et Béninois pour lutter contre la CLA selon les enquêtes menées par [10]. Le désherbage régulier des champs de maïs est également utilisé au Burkina Faso, au Sénégal, au Bénin et en RD Congo. Au Kenya, la technologie push-pull qui est une association culturale a été utilisée contre les foreurs de tige et également contre la chenille légionnaire [1]. Elle désigne différentes stratégies de contrôle des insectes ravageurs des cultures [54], [55]. Ces stratégies de contrôle sont basées sur l'utilisation de divers types de stimuli, qui visent à modifier le comportement des insectes ravageurs et/ou des auxiliaires, afin de contrôler leur distribution et leur abondance dans les cultures [55]. Selon les mêmes auteurs, plusieurs types de stimuli répulsifs peuvent être utilisés pour les éloigner (« push ») des cultures. Simultanément, des stimuli d'attraction peuvent être utilisés pour attirer (« pull ») ces insectes ravageurs vers d'autres ressources qui se trouvent hors des cultures. Les cultures associatives généralement utilisées dans la technologie push-pull contre la CLA concernent surtout le genre *Desmodium* qui est utilisé comme plante répulsive et *Bracharia* comme plante attractive [56]. Cette technologie n'est pas encore utilisée dans les pays enquêtés par [10] excepté le Burkina Faso et le Sénégal où les agriculteurs utilisent cette méthode de lutte.

3.2.2 LUTTE CHIMIQUE

L'invasion de la chenille légionnaire a entraîné l'utilisation d'un grand nombre d'insecticides chimiques en Afrique [10], [50], [57] – [59]. La plupart de ces insecticides utilisés en Afrique figurent parmi ceux auxquels le ravageur a développé des résistances en Amérique [3], [60]. En Afrique de l'Ouest, les insecticides utilisés contre la CLA concernent surtout ceux de la famille des Organophosphorés, Pyréthriinoïdes qui agissent par contact et inhalation [10], [12], [42], [46], [59]. Il y'a aussi la famille des Neonicotinoïdes, Indoxacarbe et Avermectins [10], [12], [61]. Ainsi, de nombreux insecticides appartenant à ces différentes familles ont été homologués au Ghana, au Bénin et au Burkina Faso pour mieux contrôler la chenille légionnaire [11], [12], [50], [58], [59] (tableau I). Une étude menée par [42] au Burkina Faso sur les matières actives Méthomyl, Chlorpyrifos-ethyl, Deltaméthrine, Lambda-cyhalothrine, Émamectine benzoate, Abamectine et *Bacillus thuringiensis* a montré que les matières actives Emamectine benzoate, Méthomyl et Chlorpyrifos-ethyl sont plus efficaces que les autres matières actives testées. Une autre étude menée par [57] au Bénin a montré l'efficacité de l'Emamectine benzoate par rapport à l'Indoxacarbe, la Lambda-cyhalothrine et l'Acétamipride. Toutefois, la lutte chimique devrait être une solution de dernier recours et l'utilisation des insecticides chimiques devrait respecter l'alternance des groupes d'insecticides à mode d'action différent pour éviter des cas de résistance [13].

Tableau 1. Insecticides homologués au Ghana, au Bénin et au Burkina Faso pour lutter contre la CLA

Pays	Noms commerciaux	Matières actives	Classe OMS	Source
Ghana	Eradicoat T	Maltodextrine (283g/l)	III	[58]
	Emacot 50WG	Émamectine benzoate (50g/l)	II	
	Emacot 19 EC	Émamectine benzoate (19g/l)	III	
	Conquest C 176 EC	Acetamipride (32g/l) + Cyperméthrine (144g/l)	II	
	Viper 46 EC	Acétamipride (16g/l) + Indoxacarbe (30g/l)	II	
	K-Optimal	Lambda-cyhalothrine (15g/l) + Acetamipride (20g/l)	II	
	Thunder 145 O-TEQ	Imidaclopride (100g/l) + Betacyfluthrine (45g/l)	II	
Bénin	Thalis FTE 112 EC	Emamectine benzoate (48g/l) + Acetamipride (64g/l)	III	[50]
	Pacha 25 EC	Lambda-cyhalothrine (15g/l) + Acétamipride (10g/l)	II	
	Lambdaf plus 25 EC	Lambda-cyhalothrine (25g/l)	III	
	Emacot 019 EC	Emamectine benzoate (19g/l)	III	
Burkina Faso	Emacot 50WG	Émamectine benzoate (50g/l)	II	[11], [12], [59]
	Lambda Power	Lambda-cyhalothrine (25g/l)	II	
	K-Optimal	Lambda-cyhalothrine (15g/l) + Acetamipride (20g/l)	II	
	Tamega	Deltaméthrine (25g/l)	II	
	Cypercal 50 EC	Cyperméthrine (50g/l)	III	
	Avaunt 150 EC	Indoxacarbe (150g/l)	III	
	Conquest C 176 EC	Acetamipride (32g/l) + Cyperméthrine (144g/l)	II	
	Savahaler	Méthomyl (250g/kg)	II	
	Sunpyrifos 48% EC	Chlorpyrifos-ethyl (480 g/l)	II	
	Abalone 18 EC	Abamectine (18g/l)	II	
Duel CP 186 EC	Cyperméthrine ((36g/l) + Profenofos (150g/l)	II		

3.2.3 LUTTE MÉCANIQUE

C'est une option de gestion très importante pour les petits producteurs en Afrique basée sur l'expérience des petits producteurs dans les Amériques. Elle consiste à visiter les champs très régulièrement et d'écraser les masses d'œufs et les jeunes larves à l'aide des doigts [1]. Selon la même référence, les agriculteurs doivent visiter leurs champs deux fois par semaine pendant le stade végétatif, en particulier pendant les périodes de forte ponte de la CLA, et une fois par semaine ou tous les 15 jours dans les stades ultérieurs afin de détruire le maximum d'œufs et larves de la chenille légionnaire. Cependant, cette option de lutte s'avère chronophage et un peu fastidieux [11].

3.2.4 CONNAISSANCES ENDOGENES UTILISEES CONTRE LA CHENILLE LEGIONNAIRE D'AUTOMNE

Plusieurs substances disponibles localement sont couramment utilisées par les petits producteurs pour tenter de lutter contre la CLA. Il s'agit de l'application de détergents, du savon, de l'urine, de l'huile, du sel, du sable, de la cendre et du pétrole [50], [62]. Certains petits producteurs additionnent même certaines de ses substances aux pesticides botaniques pour plus d'efficacité [50].

3.2.5 LUTTE BIOLOGIQUE

La lutte biologique se définit comme étant l'utilisation d'organismes vivants ou de leurs produits pour lutter contre d'autres organismes jugés nuisibles [63]. D'une manière générale, les lépidoptères nuisibles présents dans les systèmes de culture ont des ennemis naturels qui régulent leurs populations [64]. La chenille légionnaire d'automne possède également de nombreux agents de lutte biologique ou ennemis naturels tel que les insectes prédateurs, les parasitoïdes et les entomopathogènes (champignons, virus, bactéries). Ces ennemis naturels peuvent être actifs pendant toutes les phases de développement de la chenille légionnaire à savoir l'œuf, la larve, la chrysalide et l'adulte. [1], [13]. Les ennemis naturels de la CLA peuvent réduire de manière substantielle les populations de la chenille et, par conséquent, les dégâts provoqués par elle [1]. Malgré l'introduction relativement récente de la CLA sur le continent africain, de nombreuses études menées en Afrique ont déjà

abordé la question sur les agents de lutte biologiques [65] – [68]. Une étude menée au Sénégal par [67] a permis d'identifier des parasitoïdes et des prédateurs de la chenille légionnaire sur la plante de maïs appartenant à 17 familles. Un nématode endoparasite avec un taux de parasitisme de 38,46% a également été identifié. Des études menées au Ghana et au Bénin ont permis aussi d'identifier quelques espèces de parasitoïdes telles que *Telenomus remus* Dixon, *Chelonus bifoveolatus* Szépligeti, *Coccygidium luteum* (Brullé), *Cotesia icipe* Fernandez-Triana and Fiaboe, *Meteoridea cf. testacea* (Granger), *Charops sp* et *Drino quadrizonula* (Thomson). *Telenomus remus* Dixon est un parasitoïde des œufs, *Chelonus bifoveolatus* Szépligeti est un parasitoïde ovo-larvaire, *Meteoridea cf. testacea* (Granger) est un parasitoïde de pupes. Les autres espèces sont des parasitoïdes de larve uniquement [68]. Au Burkina Faso, les principaux parasitoïdes larvaires inféodés à la CLA sont *C. luteum* (Brullé), *Ch. bifoveolatus* (Szépligeti), *Charops sp* et *Drino sp* [69]. Au Togo, des études menées par [66] ont également identifié plusieurs parasitoïdes dont la plupart ont déjà été identifiés au cours de l'étude menée par [68] au Ghana et au Bénin. Toutefois, [66] a identifié également des prédateurs dont les principaux sont *Orius insidiosus* (Dire), *Peprius nodulipes* (Signoret), *Zelus renardii* (Kolenati), *Cheilomenes sulphurea* (Olivier), *Coccinella septempunctata* (Linnaeus), *Euborellia annulipes* (Burr), *Forficula auricularia* (Linnaeus), *Forficula senegalensis* (Audinet-Serville), *Pheidole megacephala* (Fabricius), *Chrysoperla carnea* (Stephens), *Mantis religiosa* (Linnaeus).

La référence [70] montre que la chenille légionnaire est sensible à au moins 16 espèces d'entomopathogènes. Parmi ces espèces, *Bacillus thuringiensis*, *Metarhizium anisopliae* et *Beauveria bassiana* peuvent entraîner une mortalité importante de la population de la CLA minimisant ainsi la défoliation dans les cultures.

3.2.6 UTILISATION DES PESTICIDES BOTANIQUES

L'utilisation des pesticides botaniques dans le contrôle des insectes ravageurs des cultures constitue une alternative à l'utilisation abusive des pesticides chimiques de synthèse [71]. Depuis l'introduction de la CLA, des extraits de nombreuses plantes pesticides ont été testés en Afrique de l'Ouest dont principalement *Azadirachta indica* A. Juss (neem), *Cassia nigricans* Vahl. (Cassia noire), *Parkia biglobosa* (Jacq) G. Don (nééré), *Capsicum annum* L. (Poivron), *Cleome viscosa* L (Cleome visqueux). *Vernonia amygdalina* (Protá) (Vernonie) [50], [72], [73]. Parmi ces plantes, le neem est la plus utilisée. Ainsi, au Bénin [74] a comparé l'efficacité de PlantNeem (huile des graines de *Azadirachta indica*) et deux insecticides chimiques de synthèse, Lambdace 25 EC (Lambda-cyhalothrine 15g/l + Acétamipride 10g/l) et Viper 46 EC (Indoxacarbe 30g/l + Acétamipride 16g/l) sur la CLA en condition de terrain. Les résultats obtenus ont montré que PlantNeem a induit un meilleur contrôle des populations de la CLA et vient en seconde position après Viper 46 EC. Par ailleurs, Plantneem a entraîné une réduction de perte en rendement compris entre 42,8% et 57%. De même des études menées par [75] sur des produits biorationnels (savons, détergents, terre de diatomées, huile de neem) et un insecticide chimique (Emamectine benzoate) ont montré que les produits biorationnels ont fourni une lutte similaire et, dans certains cas, ont été meilleurs que l'insecticide Emamectine benzoate. Au Burkina Faso, [29], [73] ont montré l'efficacité de l'huile de neem sur les jeunes larves de la CLA avec un taux de mortalité atteignant 100% pour les stades larvaires L1 et L2 en condition de laboratoire. Également les travaux réalisés par [76] ont montré l'efficacité de l'huile de neem sur la CLA.

3.2.7 LUTTE INTÉGRÉE

Il est conseillé d'envisager une approche intégrée contre la CLA car il s'avère difficile de contrôler ce ravageur avec une seule méthode de contrôle [77]. La lutte intégrée contre la CLA consiste à considérer de manière attentive toutes les techniques de luttés disponibles contre le et/ou les ravageurs et de l'intégration ultérieure de toutes les mesures appropriées qui découragent le développement des populations de ravageurs [1]. La lutte intégrée doit perturber le moins possible les agroécosystèmes tout en encourageant les mécanismes naturels de lutte contre les ravageurs et en maintenant la présence des organismes nuisibles en dessous du seuil de dommages économiques [1], [13]. Pour mettre en œuvre la lutte intégrée dans le champ des producteurs, il faut la compléter par une surveillance efficace, la culture de plantes saines dans un écosystème sain, la conservation des ennemis naturels et la formation des agriculteurs pour qu'ils deviennent des experts dans leurs domaines [1], [77].

En Afrique, plusieurs méthodes de contrôles ont été mise en place pour diminuer la population de ce ravageur dans les champs [12], [58], [59], [68], [69], [74]. Au Burkina Faso également, plusieurs méthodes de lutte sont utilisées pour lutter contre cet insecte dans les champs de maïs [10]. Également, la référence [10] montre qu'il existe trois catégories de méthodes de gestion indigènes contre la CLA à savoir les approches physiques, culturelles et chimiques.

3.3 DÉFIS DE LA LUTTE

3.3.1 DISPONIBILITE ET NORMES D'UTILISATION DES PRODUITS PHYTOSANITAIRES

L'utilisation et la gestion des produits phytosanitaires sont régies par plusieurs réglementations ou lois dans l'espace CILSS-CEDEAO-UEMOA [78]. La référence [78] montre également que ces réglementations ou lois s'appliquent tant pour l'homologation que pour la mise en circulation et la gestion des produits phytosanitaires. Les réglementations communes sur l'homologation des pesticides en Afrique de l'Ouest sont:

- La Résolution N° 8/34/CM/99 relative à la révision de la Règlementation commune du CILSS sur l'homologation des pesticides dans les Etats membres du CILSS;
- Le Règlement C/REG.3/05/2008 portant harmonisation des règles régissant l'homologation des pesticides dans l'espace CEDEAO;
- Le Règlement C/REG/02/06/12 relatif aux attributions, à l'organisation et au fonctionnement du Comité Ouest Africain d'Homologation des Pesticides (COAHP);
- La Signature de l'accord tripartite: CEDEAO, CILSS, UEMOA en Septembre 2017 [78].

Toutefois, chaque pays de l'espace CILSS-CEDEAO-UEMOA pris individuellement, présente des faiblesses pour assurer une homologation conforme aux standards internationaux [79]. Selon la même référence, cela est dû à la non harmonisation des règles régissant l'homologation et la gestion des pesticides dans ces trois organisations. Ces faiblesses ou difficultés se ressentent aussi à l'échelle des producteurs qui utilisent souvent des produits phytosanitaires non homologués dans ces pays [79] – [81]. Ce qui peut compliquer la gestion des ravageurs dans ces différents pays.

Outre l'utilisation des insecticides non conventionnels, les producteurs utilisent aussi des produits phytosanitaires autorisés ou homologués pour lutter contre les nuisibles des cultures. En 2023, le Comité Sahélien des Pesticides (CSP) a mis à la disposition des pays membres du CILSS 546 produits commerciaux à savoir les insecticides, les acaricides, les fongicides, les nématicides, les herbicides, les produits de traitement des semences et des stocks ainsi que les pesticides à usage domestique [82]. Cependant l'usage des produits phytosanitaires est fait souvent de manière abusive. En effet, les producteurs utilisent des doses supérieures à celles recommandées sur les étiquettes pour obtenir de meilleurs rendements [15], [16]. Les références [15], [16] montrent également que ces pratiques peuvent entraîner d'énormes conséquences tant pour les producteurs, les consommateurs que pour les insectes ravageurs et bénéfiques. En plus, il faut noter que les producteurs utilisent les mêmes substances actives pour traiter plusieurs cultures, ce qui constitue un potentiel élevé pour le développement d'une résistance [15]. Ainsi, hors mis le fait que le cotonnier et certaines cultures maraichères ont des ravageurs communs, les producteurs ont tendance à utiliser les mêmes produits formulés sur plusieurs cultures (cotonnier, cultures maraichères, canne à sucre etc.) sans se soucier des conséquences pour les consommateurs [15], [81]. Avec l'arrivée de la chenille légionnaire, le premier recours a été l'utilisation des insecticides tout venants comprenant ceux formulés sur le coton avant de trouver des produits formulés contre cette chenille [57], [83].

3.3.2 BONNES PRATIQUES AGRICOLES DE PRODUCTION

La référence [1] montre qu'une bonne gestion des ravageurs nécessite l'adoption de bonnes pratiques agricoles au niveau de la culture. Le concept de bonnes pratiques agricoles repose sur l'application des connaissances disponibles à l'utilisation des ressources naturelles de manière durable afin d'obtenir des produits alimentaires et non alimentaires sûrs et sains, tout en parvenant à la viabilité économique et à la stabilité sociale [84]. Elles impliquent l'utilisation de semences de qualité, le respect des itinéraires techniques et une bonne protection des cultures [85]. Dans le cadre de la lutte contre la CLA en Afrique, des campagnes d'information et de formation des agriculteurs ont été réalisées avec la collaboration des autorités locales, les services nationaux de vulgarisation agricole, les champs écoles des producteurs, les cliniques Plantwise pour la santé des végétaux et les médias locaux [31]. Cependant, des études ont montré que les producteurs rencontrent toujours des difficultés dans la gestion du ravageur surtout au niveau phytosanitaire [49]. Ces difficultés se traduisent par la non maîtrise des conditions d'application des produits. Ce qui fait que souvent pour un même produit, on assiste à la variation de l'efficacité sur la même culture [49], [60]. Le même constat est observé au niveau du cotonnier dont les producteurs rencontrent des difficultés dans le respect des règles lors de l'implantation et de la conduite de la culture. Ces difficultés se rencontrent aussi principalement au niveau de la protection phytosanitaire avec la non maîtrise des dates de début de traitement et de l'intervalle de temps entre les différents traitements ainsi que le dosage des produits utilisés [86], [87].

3.3.3 EFFICACITE DANS LE TEMPS ET L'ESPACE DES PRODUITS CHIMIQUES

L'usage des produits chimiques dans le domaine agricole demeure la méthode la plus utilisée dans la lutte contre les organismes nuisibles des cultures en raison de leurs efficacités et de leurs effets positifs sur l'augmentation des rendements [15], [16]. L'utilisation à long terme des pesticides entraîne la création de souches résistantes. Aussi, les mauvaises pratiques phytosanitaires (non-respect des doses prescrites, non-respect des règles de protection et d'hygiène conseillées lors des traitements, mauvaise gestion des emballages vides des pesticides) sont à l'origine de sélection de souches de bio-agresseurs résistantes aux pesticides [88] – [90]. La référence [2] montre que ces mauvaises pratiques causent également des dommages aux populations d'insectes bénéfiques aux cultures. De plus, plusieurs études ont montré que la généralisation et la surutilisation répétée des produits chimiques sur les bio-agresseurs se traduit le plus souvent par une baisse de l'efficacité de ces produits. Ce qui entraîne la sélection d'individus résistants [89], [91] – [93].

Le phénomène de résistance des bio-agresseurs aux pesticides ne date pas d'aujourd'hui. Le premier cas de résistance à un insecticide organique, le DDT, a été décrit chez la mouche domestique en 1947 [94]., Selon les études menées par [95], il existe 168 espèces d'arthropodes d'intérêt médical ou vétérinaire et 260 espèces intéressant l'agriculture résistantes à au moins un insecticide. En 1995, à peu près 500 espèces nuisibles d'arthropodes avaient déjà développé une résistance à un ou plusieurs pesticides en raison d'applications répétées [96]. La référence [97] montre qu'en 2014, 586 espèces d'insectes et acariens connus au niveau mondial présentaient des cas de résistances à des matières actives. La référence [97] montre également que dans cette liste, les insectes ayant développé des résistances à plus de 90 insecticides sont entre autres l'aleurode du tabac, *Bemisia tabaci* (Gennadius), le doryphore de la pomme de terre, *Leptinotarsa decemlineata* (Say), le puceron vert du pêcher, *Myzus persicae* (Sulzer) et la fausse-teigne des crucifères, *Plutella xylostella* (Linnaeus). A la suite de ces insectes, *Spodoptera littura* qui a déjà développé de la résistance à 38 insecticides et *Spodoptera frugiperda* à toutes les classes d'insecticides utilisés couramment dans l'agriculture [3], [13], [97]. La référence [98] montre que le développement de la résistance n'est pas uniquement lié à l'utilisation des produits chimiques, mais peut être lié aussi à d'autres facteurs comme le bagage génétique, la biologie et l'écologie de l'espèce nuisible.

Les individus résistants présentent des mécanismes très divers dont le résultat ultime est de diminuer l'action toxique du produit considéré [99]. On distingue essentiellement trois types de mécanismes de résistance qui se traduisent par des modifications comportementales, physiologiques et biochimiques:

- La résistance comportementale: s'observe au niveau de l'insecte qui présente un comportement différent, empêchant le toxique d'agir;
- La résistance physiologique: s'exprime au niveau des tissus et organes; elle est caractérisée par une diminution de la pénétration ou par une augmentation de l'excrétion des insecticides;
- La résistance biochimique: elle se situe au niveau cellulaire; consiste d'une part, en une augmentation de l'activité enzymatique des systèmes de détoxification et d'autre part, en une diminution de l'affinité des sites d'action vis-à-vis des insecticides [92], [99].

La connaissance de ces mécanismes de résistance permet d'envisager comment celle-ci apparaît pour un composé particulier et comment elle s'étend à un nombre de plus en plus élevé d'insecticides de familles différentes [94].

4 DISCUSSION

Ce travail passe en revue les principales informations nécessaires à la gestion de la chenille légionnaire d'automne en Afrique et plus particulièrement en Afrique de l'Ouest. Il s'agit essentiellement des informations sur la biologie et l'écologie du ravageur, les options de lutte contre le ravageur et les défis à relever dans la gestion du ravageur. Beaucoup de recherches qui ont abordé la biologie et l'écologie du ravageur en Afrique de l'Ouest ont été mentionnées dans ce travail. Ces recherches ont permis d'approfondir les connaissances sur la biologie et l'écologie du ravageur. Ce qui est très important car selon [2] une meilleure gestion de la chenille légionnaire d'automne nécessite au préalable des connaissances sur sa biologie et son écologie.

Des options de gestion durables de la chenille légionnaire ont également été proposées dans ce travail par plusieurs auteurs à savoir les méthodes de lutte culturale, chimique, mécanique, biologique et intégré [3], [68], [70], [77]. Ces auteurs ont proposé toute une panoplie d'informations intéressantes et exploitables pour une gestion durable de la chenille légionnaire en Afrique. La gestion intégrée du ravageur peut impliquer l'intégration de deux ou plusieurs de ces méthodes citées précédemment qui permettent de réduire les populations du ravageur de façon efficace et économique, tout en respectant l'environnement. La référence [1] montre qu'il est nécessaire de combiner différentes méthodes de lutte contre ce ravageur en raison de l'ampleur de ses dégâts, de sa forte capacité de dispersion et de sa multiplication rapide. La lutte intégrée demeure

la meilleure option pour contrôler ce ravageur à cause des limites que présentent les différentes méthodes de lutte prises individuellement.

Cependant, il faut noter que la gestion de la chenille légionnaire se heurte souvent à des difficultés aussi bien au niveau réglementaire qu'au niveau des producteurs. En effet, selon [2], le marché africain des pesticides est complexe, avec des voies informelles de distribution des produits non étiquetés et des capacités limitées des services de réglementation pour éliminer progressivement les composés extrêmement dangereux afin de les remplacer par des produits chimiques économiques, efficaces et à faible risque. Cela complique aussi la gestion du ravageur à l'échelle des producteurs qui sont confrontés le plus souvent à des problèmes de résistance du ravageur [49]. Cependant, il faut noter que la résistance étant un phénomène naturel, son développement n'est pas lié uniquement à la mauvaise utilisation des pesticides mais aussi au bagage génétique, à la biologie et l'écologie du ravageur [91]. Notons également que la résistance d'un groupe de ravageurs à un pesticide peut être avantageuse en ce sens que les individus résistants peuvent subir des changements biologiques comme la diminution de la fécondité et de la longévité. Lorsque le même pesticide n'est plus appliqué, les individus résistants deviennent désavantageux par rapport aux individus sensibles [92]. Une autre difficulté à relever aussi dans la gestion du nuisible est le non-respect des bonnes pratiques de production à l'échelle des producteurs [49], [60].

5 CONCLUSION

Au terme de l'étude, nous pouvons retenir que pour lutter contre la CLA, plusieurs options de lutte peuvent être utilisées. Cependant la meilleure option de lutte demeure la lutte intégrée. En effet, les options de lutte pris individuellement présentent des limites notamment la lutte chimique qui peut être à l'origine de cas de résistance.

REFERENCES

- [1] FAO, «Gestion intégrée de la chenille légionnaire d'automne sur le maïs: un guide pour les champs-écoles des producteurs en Afrique. Rome,» 2018.
- [2] M. B. Prassana, E. J. Hueising, R. Eddy, and M. V. Peschke, La chenille légionnaire d'automne en Afrique : Un guide pour une lutte intégrée contre le ravageur. 2018.
- [3] R. Day *et al.*, «Fall Armyworm: Impacts and Implications for Africa,» *Outlooks Pest Manag.*, vol. 28, no. 5, pp. 196–201, 2017.
- [4] G. Goergen, P. Kumar, S. Sankung, A. Togola, and M. Tamò, «First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in west and central Africa.,» *PLoS One*, 2016, doi: DOI: 10.1371/journal.pone.0165632.
- [5] P. Abrahams, T. Beale, M. Cock, N. Corniani, R. Day, and J. Godwin, «Fall Armyworm Status: Impacts and Control Options in Africa: Preliminary evidence note,» *Cabi*, p. 18 pp, 2017.
- [6] G. Hailu, S. Niassy, K. R. Zeyaur, N. Ochatum, and S. Subramanian, «Maize-legume intercropping and push-pull for management of fall army worm, stemborers, and striga in Uganda,» *Agron. J.*, vol. 110, no. 6, pp. 2513–2522, 2018, [Online]. Available: <https://doi.org/10.2134/agronj2018.02.0110>.
- [7] I. Cruz, M. L. C. Figueiredo, A. C. Oliveira, and C. A. Vasconcelos, «Damage of *Spodoptera frugiperda* (Smith) in different maize genotypes cultivated in soil under three levels of aluminium saturation,» *Int. J. Pest Manag.*, vol. 45, no. 4, pp. 293–296, 1999, doi: 10.1080/096708799227707.
- [8] MAAHM, «Deuxième mission conjointe de suivi et d'évaluation de la campagne agropastorale 2021/2022 et de la situation alimentaire et nutritionnelle des ménages,» 2021.
- [9] R. D. Harrison *et al.*, «Agro-ecological options for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) management: Providing low-cost, smallholder friendly solutions to an invasive pest,» *J. Environ. Manage.*, vol. 243, pp. 318–330, 2019, doi: 10.1016/j.jenvman.2019.05.011.
- [10] M. C. Cokola *et al.*, «Managing fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae): Experience from smallholder farmers in central and western Africa,» *Food Energy Secur.*, vol. 12, pp. 1–17, 2023, doi: 10.1002/fes3.491.
- [11] B. R. Ahissou, «La chenille légionnaire d'automne en Afrique de l'Ouest : Etats des lieux, recherche et propositions de stratégies de gestion,» Université de Liège – Gembloux Agro-Bio Tech, 2022.
- [12] S. I. Yaméogo *et al.*, «Perception and Management Strategies of the Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith (1797) (Lepidoptera : Noctuidae) on Maize, Millet and Sorghum by Farmers in Western Burkina Faso,» *Adv. Entomol.*, vol. 11, pp. 204–222, 2023, doi: 10.4236/ae.2023.113015.

- [13] FAO, «Manuel de formation des formateurs sur la lutte intégrée contre la chenille légionnaire d'automne, *Spodoptera frugiperda*,» 2019. [Online]. Available: <https://fr.scribd.com/document/591138827/manuel-de-formation-pascal-chenille-legionnaire-dautomne-fao-1>.
- [14] S. Ngom, S. Traore, M. Thiam, and M. Anastasie, «Contamination des produits agricoles et de la nappe phréatique par les pesticides dans la zone des Niayes au Sénégal,» *Rev Sci Technol, Synthèse*, vol. 25, pp. 119–130, 2012.
- [15] D. Son, I. Somda, A. Legreve, and B. Schiffers, «Pratiques phytosanitaires des producteurs de tomates du Burkina Faso et risques pour la santé et l'environnement,» *Cah. Agric.*, vol. 26, p. 6, 2017, doi: 10.1051/cagri/2017010.
- [16] A.-I. Gouda *et al.*, «Pratiques phytosanitaires et niveau d'exposition aux pesticides des producteurs de coton du nord du Bénin,» *Cah. Agric.*, vol. 27, no. 6, p. 9, 2018, doi: 10.1051/cagri/2018038.
- [17] J. L. Capinera, *Handbook of Vegetable Pests*. 2001.
- [18] EPPO, «Available online,» 2024.
- [19] MAAH, «Rapport général des résultats définitifs de la campagne agricole 2016/2017 et des perspectives de la situation alimentaire et nutritionnelle,» 2017.
- [20] I. Ouédraogo and I. Bamba, «Étude situationnelle de l'importance des dégâts de la chenille légionnaire d'automne et du plan d'action pour son contrôle au Burkina Faso,» 2019.
- [21] P. C. Ganiger, H. M. Yeshwanth, K. Muralimohan, N. Vinay, A. R. V Kumar, and K. Chandrashekara, «Occurrence of the new invasive pest, fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), in the maize fields of Karnataka, India,» *Curr. Sci.*, vol. 115, no. 4, pp. 621–623, 2018, doi: 10.18520/cs/v115/i4/621-623.
- [22] X. xu Sun *et al.*, «Case study on the first immigration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* invading into China,» *J. Integr. Agric.*, vol. 20, no. 3, pp. 664–672, 2021, doi: 10.1016/S2095-3119 (19) 62839-X.
- [23] D. Xie, J. Tang, L. Zhang, Y. Cheng, and X. Jiang, «Annual generation numbers prediction and division of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in China,» *Plant Prot.*, vol. 47, no. 1, pp. 61–67, 2021.
- [24] FAO, «Action mondiale pour la lutte contre la chenille légionnaire d'automne,» 2024. [Online]. Available: <https://www.fao.org/fall-armyworm/faw-monitoring/faw-map/fr/>.
- [25] Z. Q. Zhang, «Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness,» *Zootaxa*, vol. 3148, pp. 1–237, 2011.
- [26] CABI, «No Title,» 2019. [Online]. Available: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/29810>.
- [27] P. Myers, R. Espinosa, C. S. Parr, T. Jones, G. S. Hammond, and T. A. Dewey, «The Animal Diversity Web (online). Accessed at <https://animaldiversity.org/>,» 2019.
- [28] DPVSPV, «*Spodoptera frugiperda*. Agence Fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire,» 2021. [Online]. Available: https://www.fasnk.be/professionnels/productionvegetale/legislation/reglementue/fichesdorientechnique/_documents/2023-12-11_Spodopterafrugiperda_Orientationtechnique_FR_v03.pdf.
- [29] S. Semporé, «Etude de la biologie de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) en conditions de laboratoire et évaluation de la sensibilité des stades larvaires aux insecticides,» Université Nazi Boni (UNB), 2018.
- [30] M. Kouakou, K. C. Kobenan, R. J. G. Didi, K. K. N. Bini, and O. G. Ochou, «Détection de la Chenille Légionnaire d'automne, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Coleoptera : Noctuidae) et premières observations sur sa biologie en Côte d'Ivoire,» *Eur. Sci. J.*, vol. 15, no. 12, pp. 332–345, 2019, doi: 10.19044/esj.2019.v15n12p332.
- [31] FAO, «Gestion durable de la chenille légionnaire d'automne en Afrique: Programme d'action de la FAO,» 2017. [Online]. Available: <https://www.fao.org/publications/card/fr/c/a925ac19-0141-474d-8cb2-d266e8307912/>.
- [32] RAP, «Fiche technique/maïs sucré. Le Réseau d'Alertes Phytosanitaires leader en gestion intégrée des ennemis des cultures,» 2018.
- [33] C. A. Diédhiou, P. M. Sembene, O. E. H. Dieng, and T. Diome, «Biology of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera : Noctuidae) fed on different food sources,» *J. Entomol. Zool. Stud.*, vol. 9, no. 4, pp. 63–70, 2021.
- [34] CILSS, «Alerte : la chenille d'automne *Spodoptera frugiperda*, nouveau ravageur du maïs en Afrique de l'Ouest a atteint le Niger. Centre Régional AGRHYMET,» 2017.
- [35] L. C. Machado, H. J. D. S. Junior, B. A. L. D. Santos, C. O. Soares, L. V. R. Mauri, and J. A. Rodrigues, «Desenvolvimento de estágio larval de *Spodoptera frugiperda* (LEPIDOPTERA : NOCTUIDAE) em temperaturas sob condição padronizada,» *Rev Agro Amb*, vol. 15, no. 4, pp. 2176–9168, 2022, doi: 10.17765/2176-9168.2022v15n4e9668.
- [36] T. Esperk, T. Tammaru, and S. Nylin, «Intraspecific Variability in Number of Larval Instars in Insects,» *J. Econ. Entomol.*, vol. 100, no. 3, pp. 627–645, 2007, doi: DOI: 10.1603 / 0022-0493 (2007) 100 [627: ivinol] 2.0.co.
- [37] L. Souleymane, Z. M. Ousmane, A. Laouali, and B. Ibrahim, «Revue des principaux résultats des travaux de recherche sur la chenille légionnaire d'automne *Spodoptera frugiperda* J.E. Smith en Afrique,» vol. 38, no. 2, pp. 243–261, 2022.
- [38] CILSS, «Note d'information générale sur la noctuelle du maïs *Spodoptera frugiperda* J E Smith. Centre Régional AGRHYMET,» 2017.
- [39] W. Russiani, R. Anwar, and H. Triwidodo, «Biostatistics of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in maize plants in Bogor, West Java, Indonesia,» *Biodiversitas*, vol. 22, pp. 3463–3469, 2021.

- [40] FAO, «Integrated Pest Management (IPM) Farmer Field School (FFS). A guide for facilitators of FFS on maize with special emphasis on Fall Armyworm,» 2021.
- [41] D. G. Montezano *et al.*, «Host Plants of *Spodoptera frugiperda* African Entomology (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas,» *African Entomol.*, vol. 26, pp. 286–300, 2018, [Online]. Available: <https://doi.org/10.4001/003.026.0286>.
- [42] B. R. Ahissou, W. M. Sawadogo, I. Somda, M. Kestemont, and F. J. Verheggen, «Baseline toxicity data of different insecticides against the fall armyworm *Faso Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera : Noctuidae) and control failure likelihood estimation in Burkina,» *African Entomol.*, vol. 29, no. 2, pp. 435–444, 2021, [Online]. Available: <https://doi.org/10.4001/003.029.0435>.
- [43] OMC, «Le rôle de l'accord SPS de l'OMC dans l'accès aux outils et aux technologies et dans la facilitation du commerce international. Etude de cas sur la chenille légionnaire d'automne,» 2018.
- [44] W. F. Tapsoba, «Efficacité de quatre insecticides biologiques dans la protection du maïs (*Zea mays* L.) contre la chenille légionnaire d'automne (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) à l'Ouest du Burkina Faso,» Institut du Développement Rural, Université Nazi Boni (UNB), 2019.
- [45] A. J. Hruska and F. Gould, «Fall Armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) and *Diatraea lineolata* (Lepidoptera: Pyralidae): Impact of larval population level and temporal occurrence on maize yield in Nicaragua,» *J. Econ. Entomol.*, vol. 60, pp. 611–622, 1997.
- [46] A. Hama, H. Adamou, B. Adamou, A. Salifou, and P. Delmas, «ALERTE: *Spodoptera frugiperda* une nouvelle chenille, ravageur du maïs. Réseau National des Chambres d'Agriculture du Niger. Note d'information/Traitements phytosanitaires et ravageurs,» 2016. [Online]. Available: <http://www.reca-niger.org/spip.php?article1035>.
- [47] D. K. Koffi, M. Kouakou, D. Mamadou, K. N. K. Bini, and G. O. Ochou, «Étude de la sensibilité de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera : Noctuidae) à des insecticides chimiques,» *J. Appl. Biosci.*, vol. 166, pp. 17223–17230, 2021, [Online]. Available: <https://doi.org/10.35759/JABs.166.6>.
- [48] J. E. Rwomushana *et al.*, «Fall armyworm: impacts and implications for Africa. Evidence note update,» *Cent. Agric. Biosci. Int.*, 2018.
- [49] M. Tchao *et al.*, «Perceptions paysannes de la chenille légionnaire d'automne *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera : Noctuidae) et méthodes de lutte en culture du maïs (*Zea mays* L.) au Togo,» *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 16, no. 5, pp. 1941–1957, 2022.
- [50] S. Hougbo *et al.*, «Farmers' Knowledge and Management Practices of Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) in Benin, West Africa,» *agriculture*, vol. 10, no. 430, pp. 1–15, 2020, doi: [doi: 10.3390/agriculture10100430](https://doi.org/10.3390/agriculture10100430).
- [51] T. M. Riggan, B. R. Wiseman, D. J. Isenhour, and K. E. Espelie, «Incidence of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) parasitoids on resistant or susceptible corn genotypes,» *Env. Entomol.*, vol. 21, pp. 888–895, 1992.
- [52] T. M. Riggan, B. R. Wiseman, D. J. Isenhour, and K. E. Espelie, «Functional response of *Cotesia marginiventris* (Cresson) (Hym., Braconidae) to *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lep., Noctuidae) on meridic diet containing resistant or susceptible corn genotypes,» *J Appl Entomol.*, vol. 117, pp. 144–150, 1994.
- [53] B. M. Prasanna *et al.*, «Host plant resistance for fall armyworm management in maize: relevance, status and prospects in Africa and Asia,» *Theor. Appl. Genet.*, vol. 135, no. 11, pp. 3897–3916, 2022, doi: [10.1007/s00122-022-04073-4](https://doi.org/10.1007/s00122-022-04073-4).
- [54] N. Ogot, J. Pittchar, C. Midega, and Z. Khan, «Impact of Push-pull technology on the nutritional status of farmers' children in western Kenya,» *African J. Food, Agric. Nutr. Dev.*, vol. 17, no. 4, pp. 12953–12974, 2017.
- [55] S. Cook, Z. Khan, and J. Pickett, «The Use of Push-Pull Strategies in Integrated Pest Management,» *Annu. Rev. Entomol.*, vol. 52, no. 1, pp. 375–400, 2007, doi: [DOI: 10.1146/annurev.ento.52.110405.09140](https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.09140).
- [56] G. M. Balaso, C. Nalini, P. Yankit, and P. Thakur, «Push-pull strategy : Novel approach of pest management,» *J. Entomol. Zool. Stud.*, vol. 7, no. 5, pp. 220–223, 2019.
- [57] CRA-CF, «Point de la recherche cotonnière en 2018. Centre de recherches agricoles coton et fibres. Bénin,» 2019.
- [58] D. Koffi *et al.*, «Assessment of impacts of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera : Noctuidae) on maize production in Ghana,» *J. Integr. Pest Manag.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–7, 2020, doi: [10.1093/jipm/pmaa015](https://doi.org/10.1093/jipm/pmaa015).
- [59] M. R. Sanou, I. Compaoré, and A. Sanon, «Emergency response to the *Spodoptera frugiperda* invasion in Africa : What do maize producers in Burkina Faso think and do ?,» *African J. Agric. Res.*, pp. 1–12, 2022, doi: [10.5897/AJARxx.xx](https://doi.org/10.5897/AJARxx.xx).
- [60] T. Kumela *et al.*, «Farmers' knowledge, perceptions, and management practices of the new invasive pest, fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in Ethiopia and Kenya,» *Int. J. pest Manag.*, vol. 65, pp. 1–9, 2019, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1080/09670874.2017.1423129>.
- [61] M. Garba, H. Adamou, B. Ali, A. Kimba, D. P. Patrick, and S. Oumarou, «La Chenille légionnaire du maïs *Spodoptera frugiperda*. Réseau National des Chambres d'Agriculture du Niger,» 2017.
- [62] A. J. Hruska, «Fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) management by smallholders,» vol. 14, no. 43, pp. 1–11, 2019, doi: [10.1079/PAVSNR201914043](https://doi.org/10.1079/PAVSNR201914043).

- [63] S. Sellami, S. Tounsi, and K. Jamoussi, «La lutte biologique, alternative aux produits phytosanitaires chimiques,» *J. New Sci.*, vol. 19, no. 5, 2017, [Online]. Available: <http://www.jnsciences.org/agri-biotech/27-volume-19/86-la-lutte-biologique-alternative-aux-produits-phytosanitaires-chimiques.html>.
- [64] S. Nyamutukwa, B. M. Mvumi, and P. Chinwada, «Sustainable management of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith): challenges and proposed solutions from an African perspective,» *Int. J. Pest Manag.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–19, 2022, doi: 10.1080/09670874.2022.2027549.
- [65] G. Chipabika *et al.*, «Abundance, diversity and richness of natural enemies of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), in Zambia,» *Front. Insect Sci.*, vol. 3, pp. 1–14, 2023. doi: 10.3389/finsc.2023.1091084.
- [66] D. Koffi, K. Agboka, M. K. A. Adjevi, M. Adom, A. K. Tounou, and R. L. Meagher, «The biocontrol agents of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in Togo: moderating insecticide applications for natural control of the pest?,» *J. Pest Sci. (2004)*, vol. 96, no. 4, pp. 1–20, 2023, doi: 10.1007/s10340-023-01662-0.
- [67] A. Ndiaye, M. Faye, I. Ba, I. Diallo, and M. P. Sembène, «The fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), a new pest of maize in Africa : monitoring, damage evaluation and identification of natural enemies on production areas of Senegal,» *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 15, no. 6, pp. 2247–2260, 2021, doi: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v15i6.1>.
- [68] L. K. Agboyi *et al.*, «Parasitoid Complex of Fall Armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in Ghana and Benin,» *Insects*, vol. 11, no. 68, pp. 1–15, 2020, doi: 10.3390/insects11020068.
- [69] A. G. Diao, I. Ouédraogo, and A. Sanon, «Distribution naturelle des principaux parasitoïdes larvaires inféodés à la chenille légionnaire d'automne,» *J. Appl. Biosci.*, vol. 190, pp. 20037–20049, 2023.
- [70] F. Assefa and D. Ayalew, «Status and control measures of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) infestations in maize fields in Ethiopia: A review,» *Cogent Food Agric.*, vol. 5, no. 1641902, pp. 1–16, 2019. doi: 10.1080/23311932.2019.1641902.
- [71] A. D. Mondédji *et al.*, «Effets d'extrait hydroéthanolique de feuilles de neem (*Azadirachta indica* A. Juss) sur *Plutella xylostella* (Lepidoptera : Plutellidae) et *Lipaphis erysimi* (Hemiptera : Aphididae) dans la production du chou au Sud du Togo,» *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 10, no. 4, pp. 1666–1677, 2016, doi: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i4.18>.
- [72] G. Kambou and A. M. Millogo, «Efficacité biologique d'extraits aqueux de substances naturelles (*Cassia nigricans* Vahl., *Parkia biglobosa* (Jacq.) R. ex G. Donf., *Capsicum annum* L., *Cleome viscosa* L.) sur la chenille légionnaire (*Spodoptera frugiperda* J.E Smith) en culture du maïs et de l,» *J. Environ. Sci. Comput. Sci. Eng. Technol.*, vol. 8, no. 1, pp. 36–51, 2019, doi: 10.24214/jecet.A.8.1.03651.
- [73] W. F. Tapsoba, «Evaluation de la sensibilité des larves de la chenille légionnaire d'automne (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith) aux insecticides issues de trois zones de production au Burkina Faso,» Institut du Développement Rural, Université Nazi Boni, 2022.
- [74] A. T. Adeye *et al.*, «Protection de la culture de maïs contre *Spodoptera frugiperda* avec les insecticides Plantneem, Lambda 25 EC et Viper 46 EC et réduction de pertes de rendement au Bénin,» *J. la Rech. Sci. l'Université Lomé*, vol. 20, no. 2, pp. 53–65, 2018.
- [75] C. T. S. Aniwanou, A. A. C. Sinzogan, J. M. Deguenon, R. Sikirou, D. A. Stewart, and Ahanchede 5, «Bio-Efficacy of Diatomaceous Earth, Household Soaps, and Neem Oil against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) Larvae in Benin,» *Insects*, vol. 12, no. 18, pp. 1–18, 2021, doi: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.
- [76] D. Ouedraogo, «Efficacité de l'huile de neem (*Azadirachta indica* A. Juss) extraite à froid sur les stades larvaires de *Spodoptera frugiperda* J.E Smith, en conditions de laboratoire,» 2018.
- [77] H. G. Gebrezihier, «Review on management methods of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) in Sub-Saharan Africa,» *Int. J. Entomol. Res.*, vol. 5, no. 2, pp. 09–14, 2020. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Haftay-Gebrezihier/publication/339713411_Review_on_management_methods_of_fall_armyworm_Spodoptera_frugiperda_JE_Smith_in_Sub-Saharan_Africa/links/5e61ea544585151635520bed/Review-on-management-methods-of-fall-armyworm-S-
- [78] A. Diarra and S. Haggblade, «Défis réglementaires en Afrique de l'Ouest: Etablir des réglementations régionales sur les pesticides en période de croissance rapide du marché,» *Bull. Rech. Polit. No. 52*, p. 7, 2017.
- [79] ONEP, «Session inaugurale du comité Ouest africain d'homologation des pesticides: Vers une utilisation sécurisée des pesticides dans l'espace CILSS-CEDEAO-UEMOA. République du Niger,» 2022.
- [80] A. Diarra and B. Diallo, «Mise en œuvre des politiques régionales sur les pesticides en Afrique de l'Ouest : Rapport de l'étude de Cas au Sénégal,» 2017. [Online]. Available: <http://ageconsearch.umn.edu>.
- [81] MARAH, «Projet 2 du programme de renforcement de la résilience à l'insécurité alimentaire et nutritionnelle au sahel (p2-p2rs) / composante Burkina Faso : Plan de gestion des pestes et pesticides (PGPP). Rapport final,» 2022.
- [82] CSP, «Liste globale des pesticides autorisés par le Comité Sahélien des Pesticides. Comité permanent inter-état de lutte contre la sécheresse dans le sahel,» 2023. [Online]. Available: COMITE PERMANENT INTER.ETATS DE LUTTE CONTRE LA

- SECHERESSE DANS LE SAHEL%0AANS%0APERMANENT INTERSTATE COMMITTEE FOR DROUGHT CONTROL IN THE SAHEL
COH%7CTÉ PER ANENTE INTER. ESTADOS DE LUTA CONTRA A SECA NO SAHEL.
- [83] N. Kouanda, «Monitoring et méthodes alternatives de lutte contre *Spodoptera frugiperda* J. E Smith dans la région du Centre-Ouest du Burkina Faso,» Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, 2020.
- [84] FAO, «Élaboration d'un cadre de bonnes pratiques agricoles. Comité de l'Agriculture. Dix-septième session, Rome,» 2003. [Online]. Available: <https://www.fao.org/3/Y8704F/Y8704F.htm>.
- [85] CIRAD-GRET, «Mémento de l'agronome. Ministère de la coopération française, Paris, France,» 2002.
- [86] M. Couliadiati, «Bonnes pratiques agricoles et performance technico- économique des exploitations cotonnières : cas du village de Boro. Rapport de stage de fin de cycle. Ecole Nationale de la Formation Agricole de Matourkou, Burkina Faso,» 2022.
- [87] I. Kaboré, «Itinéraires techniques recommandés et pratiques paysannes courantes: dans la zone cotonnière Ouest du Burkina Faso: cas du coton et du maïs. Mémoire de master en Production Végétal,» Institut du Développement Rural, Université Polytechniques de Bobo-Dioulasso, 2014.
- [88] G.-Y. Azandeme-Hounmalon *et al.*, «Comportement des maraichers face à l'invasion de *tetranychus evansi* Baker & Pritchard au sud du Bénin. Dixième conférence internationale sur les ravageurs en agriculture Montpellier 22 et 23 octobre 2014,» 2014, p. 11.
- [89] IRAC, «Prévention et gestion de la résistance aux insecticides: Vecteurs, jouant un rôle dans la santé publique,» 2011, p. 28, [Online]. Available: www.iraconline.org.
- [90] M. Dombia and K. Kwadjo, «Pratiques d'utilisation et de gestion des pesticides par les maraichers en Côte d'Ivoire : Cas de la ville d'Abidjan et deux de ses banlieues (Dabou et Anyama),» *J. Appl. Biosci.*, vol. 18, pp. 992–1002, 2009, [Online]. Available: www.biosciences.elewa.org.
- [91] FAO, «Code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides,» 2014. [Online]. Available: <http://www.fao.org/3/bt480fr/bt480fr.pdf>.
- [92] IRDA, «La résistance des insectes et acariens aux produits antiparasitaires pour les espèces agricoles présentes au Québec,» 2018.
- [93] R4P, «No Title,» 2021. <https://www.r4p-inra.fr/fr/home/>.
- [94] M. Magnin, D. Fournier, and N. Pasteur, «Mécanismes physiologiques de la résistance des insectes aux insecticides,» *sér. Ent. méd. Parasitol.*, vol. XXIII, no. 4, pp. 273–280, 1985.
- [95] G. P. Georghiou, «The occurrence of resistance to pesticides in arthropods : an index of cases reported through 1980. Food and Agriculture Organization of the United Nations,» 1981.
- [96] C. Silvy, «Quantifions le phytosanitaire II. Le Courrier de l'environnement de l'INRA,» 1995.
- [97] T. C. Sparks and R. Nauen, «IRAC: Mode of action classification and insecticide resistance management,» *Pestic. Biochem. Physiol.*, vol. 121, pp. 122–128, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2014.11.014>.
- [98] FAO, «Code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides. Directives pour la prévention et la gestion de la résistance aux pesticides. Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. 62p,» 2013.
- [99] É. Haubruge and M. Amichot, «Les mécanismes responsables de la résistance aux insecticides chez les insectes et les acariens,» *Biotechnol. Agron. Société Environ.*, vol. 2, no. 3, pp. 161–174, 1998.

Spatiotemporal Modelling of Soil Erosion in the Sassandra Watershed (Côte d'Ivoire, Western Africa)

Kouadio Euclide N'Goran¹, Naga Coulibaly², Lenikpoho Karim Coulibaly³, Talnan Jean Honoré Coulibaly¹, Inza Coulibaly¹, Dramane Yao¹, Adjoua Régine Koffi¹, Matogoma Cissé¹, Cédric Inago¹, Koffi Claude Alain Kouadio⁴, Houebagnon Saint Jean Patrick Coulibaly⁵, Souleymane Cissé¹, Kambiré Sié¹, Sylla Gaoussou¹, and Savané Issiaka¹

¹UFR Sciences et Gestion de l'Environnement, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

²UFR Agriculture, Ressources Halieutiques et Agro-Industrie, Université Polytechnique de San-Pedro, San-Pedro, Côte d'Ivoire

³Ecole Nationale Supérieure d'Architecture et d'Urbanisme, Université de Bondoukou, Bondoukou, Côte d'Ivoire

⁴UFR Sciences Biologiques, Université Pelefero Gon Coulibaly, Korhogo, Côte d'Ivoire

⁵UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, 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: Soil erosion is a natural process with worrying environmental and socio-economic consequences in watersheds. A quantitative and spatiotemporal assessment of this phenomenon is imperative and must be taken into account for integrated management of the Sassandra catchment. LANDSAT Satellite images, rainfall data, the digital elevation model, soil data, Geographic Information System (GIS) software and the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) were used to assess annual soil losses in the Sassandra catchment for the years 1986, 2002 and 2022. The results of the study show that soil erosion is increasing in the Sassandra catchment. The average soil losses obtained are 27, 37 and 39 million t/ha/yr respectively for the years 1986, 2002 and 2022.

KEYWORDS: GIS, LANDSAT, Satellite images, Soil erosion, Soil loss, RUSLE.

1 INTRODUCTION

Water erosion is the result of particles being torn off by the energy of raindrops and run-off, transported by run-off water and the localised deposition of excessively heavy sediments [1]. This is a natural process that is accelerated by human activity and contributes to the structural degradation of soils [2]. One of the most common challenges seen globally causing soil degradation is soil erosion [3]. Soil erosion is a serious threat to the environment in different region of the world, it causes problems such as physical, chemical and biological deterioration of soil properties [4]. Soil erosion affects 56% of the land surface worldwide and directly threatens regional ecological security and sustainable economic and social development [5] - [7]. It leads to the destruction of land resources, restricts food production, increases disaster frequency, reduces soil fertility, pollutes water resources, silts up reservoirs and lakes, endangers cities, and causes a series of ecological and environmental problems [8] - [10]. Concerning Africa, the intensity of water erosion has been described as very high to extreme for approximately 45 percent of the continent in the south of the Sahara area, and has been deemed moderate for approximately 30 percent and slight for approximately 25 percent [11], [12].

Soil erosion is the process of removing the upper layer of soil by agents such as wind and water. The upper soil has almost all the nutrients needed for the growth of a plant. With depth, soil fertility decreases. Therefore, erosion results in reduction of fertility of the soil by washing away the top fertile layer [13]. One of the major effects of soil erosion is the loss of arable

land capable of supporting agricultural production. Approximately 30% of cropland in the whole world was unproductive, and much of them are used for growing crops during the past 40 years. Sustainable agriculture is a significant issue in all countries, particularly developing countries. In the world, nearly 24 billion tonnes of fertile soil are lost each year due to water erosion. The highest rate of soil erosion is observed in Asia, followed by South America and Africa, with a 30-40 t/ha average rate annually [12], [14]. In agricultural fields, the average rate of soil erosion varies between 0.5-400 t/ha/yr [15]. According to estimates, of the land getting degraded worldwide, 85% is due to erosion, which lowers production by roughly 17%, affects soil fertility and eventually causes land desertification [16].

Côte d'Ivoire's agricultural dynamic is based on the expansion of cash crops and food crops, at the cost of heavy pressure on natural resources [2]. Agriculture in the Sassandra catchment area is also characterised by slash-and-burn farming, mainly for subsistence and cash crops. In addition, farming is largely characterised by a low level of technology and a system of slash-and-burn cultivation. These farming practices lead to rapid deforestation and expose the soil to erosion. For better planning of agricultural development and sustainable land management in the Sassandra catchment area, the spatial and temporal evolution of soil erosion needs to be monitored.

The use of earth observation tools (satellites) and GIS makes it possible to carry out an integrated study of the area and to simulate various erosion scenarios [2]. So, recent developments in spatial technologies and remote information acquisition methods and techniques have helped to improve existing methods and have given rise to revolutionary methods of obtaining and analysing data with a view to holistic management of land, territories and natural resources on scales ranging from a small plot to a large catchment area. Researchers are proposed and developed many physical and empirical models at various scales to study and understand the types, mechanisms, and spatiotemporal distribution of soil erosion

Among the models based on the physical aspects of the erosion process, we quote European Soil Erosion Model (EUROSEM) of [17], Limburg Soil Erosion Model (LISEM) of [18], the model Areal Non-point Source Watershed Environment (ANSWERS) of [19], the Agricultural Non-Point Source Pollution Modeling System (AGNPS) model of [20], the Annualized Agricultural Non-Point Source Pollutant Loading (AnnANPSPL) model of [21], the Erosion-Productivity Impact Calculator (EPIC) model of [22], the Chemicals Runoff and Erosion from Agricultural (CREAMS) model [23], the Simulator for Water Resources in Rural Basins (SWRRB) model of [24], the Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems (GLEAMS) model of [25], the Water Erosion Prediction Project (WEPP) model of [26] and [27], the Soil Erosion Model for Mediterranean Areas (SEMED) model of [28], the Soil Water Assessment Tool (SWAT) model of [29] and the MODEROSS, erosion's model of [30].

Concerning the empirical models, the simplest and wide used model, which links soil loss to either precipitation or runoff is the Universal Soil Loss Equation (USLE) conducted by Wischmeier and Smith [31], [32]. The modified version of USLE, proposed by Williams [33], estimates the sediment transport of each storm taking into account the runoff volume instead of the erosivity of the rain. The researchers continued to improve the USLE and to develop the RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), which follows the terms of the USLE by correcting some inaccuracies and by providing some improvements in the determination of factors [34]. The empirical models predict the annual average rate of long-term erosion based on the factors responsible for the phenomenon namely rainfall, soil type, and topography, the system of culture and soil conservation.

The empirical models, are most commonly used to predict soil losses due to water erosion around the world [7], [13], [30], [32], [34] - [40]. These models have also been previously used to analyze soil erosion in Africa [41] - [47] and in Côte d'Ivoire [2], [41], [48] - [54]. In the Sassandra catchment area, there are few studies assessing soil losses using empirical models [49], [51], [52], [54] and were carried out in areas covering less than 33% of the catchment area. This study was carried out on the Sassandra catchment at Soubré (covering almost 84% of the surface area of the Sassandra catchment).

The main purpose of this study aims at evaluating the spatiotemporal evolution of soil erosion in the Sassandra catchment area with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) model integrated under a Geographic Information System (GIS) and the remote sensing data.

2 METHODS

The approach consists of a diachronic study of soil erosion [2] in the Sassandra watershed. It uses LANDSAT satellite images of 1986, 2002 and 2022, rainfall data, the digital elevation model, soil data, QGIS software and the RUSLE equation.

2.1 STUDY AREA

The Sassandra catchment at Soubré is located between latitudes 5°40' North and 9°40' North and longitudes 6°06' West and 8°48' West (Figure 1). It covers an area of 62,712 km² or 19.45% of the country's total surface area. It is a cross-border basin that drains much of western Côte d'Ivoire and a small part of south-eastern Guinea. The river that characterises it rises

in Guinea and flows through Côte d’Ivoire. In terms of its hydrographic network, it is one of the largest river basins in Côte d’Ivoire. Its main tributaries are the Bafing, Boa, N’Zo and Lobo rivers.

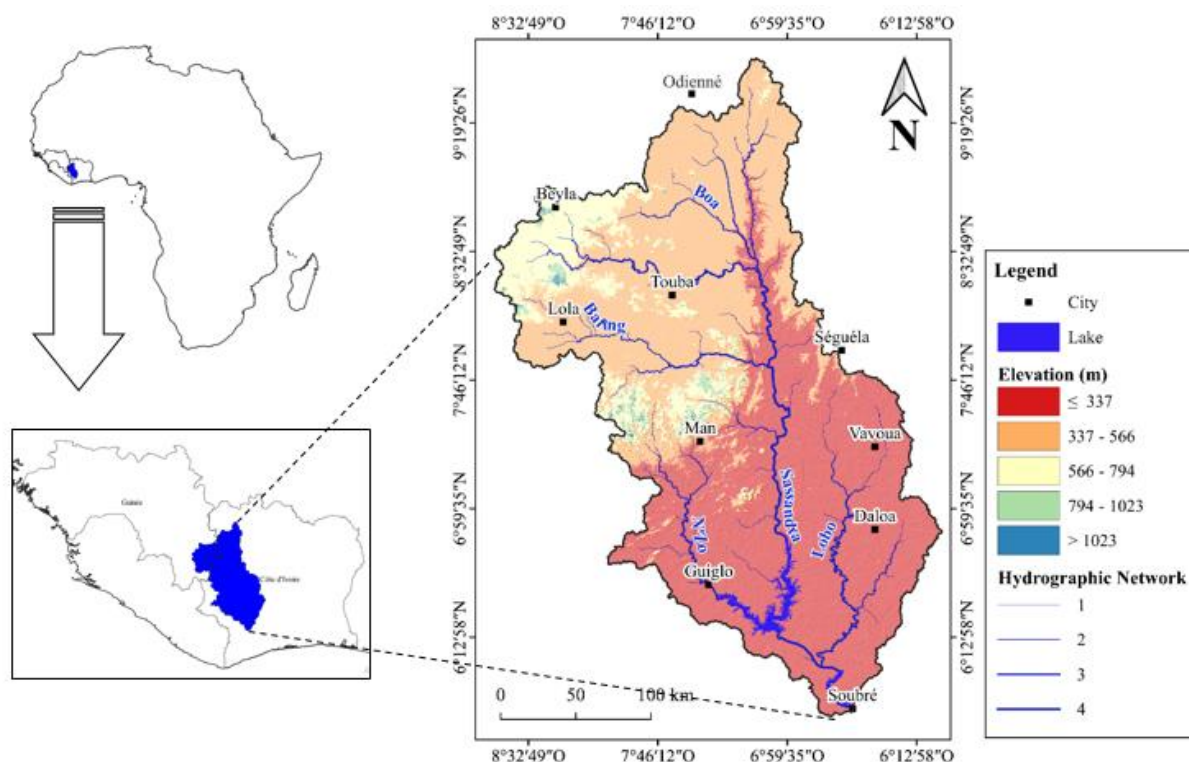


Fig. 1. Localisation of Sassandra catchment area at Soubré

This basin is characterised by a generally rugged relief. Its geology is dominated by the crystalline basement. Its aquifers are found in crystalline and metamorphic formations. Its vegetation is made up of the Guinean domain, which is the most dominant (78%), and the Sudanese domain. It contains seven soil domains, namely Ferric Acrisols, Orthic Acrisols, Eutric Cambisols, Ferralic Cambisols, Humic Ferrasols, Orthic Ferrasols and Lithosols. Its rainfall regimes are the tropical transition regime with annual rainfall reaching 1400 mm, the equatorial transition regime with annual rainfall oscillating around 1000 mm and the mountain regime where annual rainfall heights are around 1600 mm.

2.2 DATA SOURCES

2.2.1 RAINFALL DATA

Rainfall measurements were taken at three synoptic stations, Odienné (airport), Man (airport) and Daloa (airport), and at seven rain gauge stations located in Sassandra, Soubré, Gagnoa, Guiglo, Vavoua, Séguéla and Touba. The rainfall data used in this study covers the period from 1976 to 2022 for all the stations. They were obtained from the Société de Développement et d’Exploitation Aéronautique Aéroportuaire et Météorologique (SODEXAM).

2.2.2 SOIL DATA

The soil data for the Sassandra basin come from the FAO soil database (FAO, 2003). The FAO soil database was set up by the FAO and UNESCO, which decided to produce a map of the world’s soils on a scale of 1: 5,000,000. The project was carried out over a period of twenty years and was the result of worldwide collaboration between numerous soil scientists. The FAO soil database comprises 4,931 map units classified according to the FAO-UNESCO legend. This soil database is available on the website of FAO (<https://www.fao.org/soils-portal/>).

2.2.3 DIGITAL ELEVATION MODEL

The digital elevation model used in our study is of the SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) type. SRTM data refers to raster and vector topographic files supplied by two American agencies, National Agency for Space Administration (NASA) and the National Geospatial-Intelligence Agency (NGA). These altimetry data were collected during an eleven-day mission in February 2000 by space shuttle Endeavour (STS-99) at an altitude of 233 km using radar interferometry. They were obtained from the USGS website (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

2.2.4 LANDSAT SATELLITE IMAGES

The satellite images used in this work concern 10 scenes covering the entire Sassandra watershed. These are scenes 197-054, 197-055, 197-056, 198-053, 198-054, 198-055, 198-056, 199-053, 199-054 and 199-055 from the LANDSAT 5 (TM), LANDSAT 7 (ETM+) and LANDSAT 8 (OLI and TIRS) missions. These scenes are georeferenced (reference datum: WGS 84, projection system: UTM, zone: 30). The LANDSAT 5, LANDSAT 7 and LANDSAT 8 scenes are composed of seven (07), eight (08) and nine (09) spectral bands respectively. The satellite images were also obtained from the USGS website (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

2.3 RUSLE MODEL

The revised universal soil loss equation RUSLE [55] is used to assess soil losses in the Sassandra catchment. The RUSLE model [55] is the revised version of the USLE model [31]. According to [55], erosion is a multiplicative of rainfall erosivity (R) multiplied by the resistance of the environment, which includes the soil erodibility factor (K), the topography factor (LS), the anti-erosion practices (P) and the cover and management factor (C). To evaluate soil losses in the basin, the RUSLE model is based on equation (1).

$$A_{RUSLE} = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

Where A_{RUSLE} represents the average annual soil loss expressed in t/ha/yr.

Thus, the development of a cartographic database based on the various factors of the RUSLE equation and their superimposition in a Geographic Information System (GIS) contributes to modelling the process and results in a spatialisation of soil erosion at the level of the Sassandra catchment.

2.4 SPATIALISATION OF RUSLE FACTORS

2.4.1 RAINFALL EROSIVITY FACTOR

The rainfall erosivity factor (R) is based on the climatic conditions responsible for erosion. It corresponds to the combined action of rain and runoff on the areas affected. The more intense the rainfall and the longer it lasts, the greater is the risk of erosion. An estimate of rainfall erosivity in the Sassandra catchment is given by the revised empirical rainfall erosivity formula for West Africa [56]. This formula is expressed as equation (2).

$$R = 5.44 \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_i^2}{P_m} \right) - 416 \quad (2)$$

Where R is the revised rainfall erosivity factor (MJ mm ha/hr/yr), P_i is the average monthly precipitation in month i (mm), P_m is the average annual precipitation over the observation period (mm) and n the number of month (n=12).

The rainfall data were used to determine rainfall erosivity in the assessment of land loss in the Sassandra catchment area.

2.4.2 SOIL ERODIBILITY FACTOR

The soil erodibility factor (K) is a measure of the vulnerability of soil particles to detachment and transport by rain and runoff. Although texture is the main factor influencing erodibility, soil structure, organic matter content and permeability also play a role. The equation of [22] was used to assess the erodibility factor in the Sassandra catchment. This equation takes into

account the granulometry (sand, silt and clay content) and the organic fraction of the soil. The multiplicative function of [22] is given by equation (3).

$$K = F_{csand} \cdot F_{cl-si} \cdot F_{hisand} \cdot F_{orgC} \quad (3)$$

With:

$$F_{csand} = \frac{1}{7.6} \left(0.2 + 0.3 \exp \left(-0.256 m_{sand} \left(1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right) \right) \quad (4)$$

$$F_{cl-si} = \left(\frac{m_{silt}}{m_{clay} + m_{silt}} \right)^{0.3} \quad (5)$$

$$F_{hisand} = \left(1 - \frac{0.7 \left(1 - \frac{m_{sand}}{100} \right)}{\frac{m_{sand}}{100} + \exp \left(-5.5 + 22.9 \left(1 - \frac{m_{sand}}{100} \right) \right)} \right) \quad (6)$$

$$F_{orgC} = \left(1 - \frac{0.25 m_{orgC}}{m_{orgC} + \exp \left(3.72 - 2.95 m_{orgC} \right)} \right) \quad (7)$$

Where m_{sand} is the sand fraction, m_{silt} is the silt fraction, m_{clay} is the clay fraction and m_{orgC} is the organic carbon content.

The soil data were used to determine the erodibility factor for soils in the Sassandra catchment. The sand, silt, clay and organic carbon content information’s are available on the map extracted from the FAO soil database [57].

2.4.3 TOPOGRAPHICAL FACTOR

The topographical factor (LS) is the length and inclination of the slope. The topographical factor influencing erosion comprises two essential elements: slope length and steepness [34]. Slope length (L) determines runoff velocity, and particle transport increases as a function of plot length [58]. Similarly, solid transport increases exponentially with the percentage of slope [1], [59], [60]. The more the slope of a surface is steep and long, the more the risk of erosion will be high. The slope length (L) was calculated using the classic formula proposed by [32]. Its expression is given by equation (8).

$$L = \left(\frac{F_{acc} \cdot C_{size}}{22.13} \right)^m \quad (8)$$

With:

$$m = \frac{\beta}{\beta + 1} \quad (9)$$

$$\beta = \frac{\sin \theta}{0.0896} \left(3.0 (\sin \theta)^{0.8} + 0.56 \right)^{-1} \quad (10)$$

Where F_{acc} represents flow accumulation (the cumulative uphill area of a unit), C_{size} is cellsize (the spatial resolution of the grid), m indicates the slope length index, is the ratio of rill to inter-rill erosion and θ indicates the slope value (in degrees) extracted from the digital elevation model.

Slope steepness (S) represents the effect of slope gradient on soil erosion phenomena. Slope gradient is described as the ratio of the height difference of an area to its horizontal length. Slope steepness is calculated from the formula proposed by [58] for basin regions with a slope less than 10° . For basin regions with a slope greater than 10° , this factor was determined from the formula proposed by [61]. These different formulas are expressed through equation (11).

$$S = \begin{cases} 10.8 \sin \theta + 0.03 & \text{if } \theta < 5^\circ \\ 16.8 \sin \theta - 0.50 & \text{if } 5^\circ \leq \theta < 10^\circ \\ 21.9 \sin \theta - 0.96 & \text{if } \theta \geq 10^\circ \end{cases} \quad (11)$$

The digital elevation model were used to produce the slope map and to determine the topographic factor in the assessment of soil loss in the Sassandra catchment.

2.4.4 COVER AND MANAGEMENT FACTOR

The cover and management factor (C) must be taken into account, because the impact of raindrops, the slow-down of run-off and infiltration are going to depend on it. This coverage factor depends on the percentage of bare soil, the height of the plant cover and the architecture of the plants. It is therefore relevant to reduce the extent of soil erosion on slopes. In fact, dense plant cover is all the more effective in reducing erosion because it dissipates the energy of raindrops, slows down the flow of water over the soil surface and maintains good surface porosity, preventing surface crusting [62], [63]. The cover and management factor was determined from the relationship between it and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). This relationship is based on the exponential method of [64]. Equations (12) and (13) give the NDVI expression and the Van der Knijff et al. [64] relationship respectively.

$$NDVI = \frac{PIR - R}{PIR + R} \quad (12)$$

$$C = \exp\left(-2.5 \times \frac{NDVI}{1 - NDVI}\right) \quad (13)$$

Where PIR is Near infrared spectral band and R is Red spectral band, 1 and 2.5 represent the parameters determining the shape of the NDVI-C curve.

The LANDSAT satellite images covering the entire Sassandra catchment were used to calculate the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and to determine the cover and management factor for assessing soil loss in the basin.

2.4.5 SUPPORT PRACTICE FACTOR

The support practice factor (P) or anti-erosion practices are all cultivation techniques used to reduce run-off and erosion effects. These techniques include contouring, planting grass strips between two areas of cultivation, natural or artificial mulching and the use of cover crops. Soil conservation practices characterize practices that retain a certain proportion of soil. The values taken by this factor vary from 0 to 1. For the estimation of soil losses in this study, it was assumed that no measures were taken to combat erosion. In general, farmers do not fight against erosion or do not combat effectively erosion, and cultivation practices (ploughing, weeding) contribute to further accentuating this phenomenon. In this context, the value of P is equal to 1 [2].

3 RESULTS

The map of soil erosion in the Sassandra catchment in 1986 is shown in Figure 2. This map shows that soil losses of less than 10 t/ha/yr are observed in the south (Vavoua, Daloa, Guiglo and Soubré). Average soil loss values (10 to 50 t/ha/yr) are generally distributed throughout the Sassandra watershed. Areas with soil losses between 50 and 100 t/ha/yr and higher soil

loss values (greater than 100 t/ha/yr) are mainly located in the extreme north of the catchment (east of Odienné), in the west (Beyla, Lola and Touba), in the centre (Man and Séguéla) and around Lake Buyo.

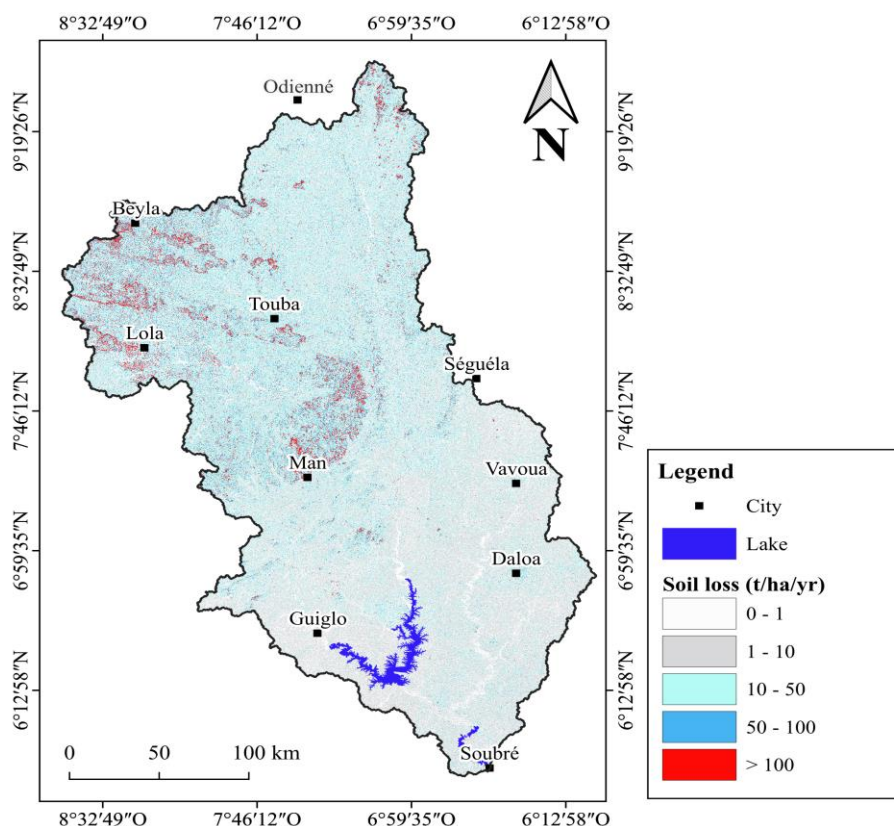


Fig. 2. Soil erosion of 1986 in the Sassandra catchment area

Figure 3 shows the soil erosion map of 2002 in the Sassandra catchment. Soil loss values (less than 10 t/ha/yr) are generally distributed throughout the Sassandra catchment. Average soil loss values (10 to 50 t/ha/yr) are mainly recorded in the northern half of the basin. Areas with soil loss between 50 and 100 t/ha/yr, although represented in only a small proportion, have a spatial distribution virtually identical to the one of 1986, with areas with high soil loss values (over 100 t/ha/yr). These are located in the extreme north of the catchment area (east of Odienné), in the west (Beyla, Lola and Touba) and in the centre (Man).

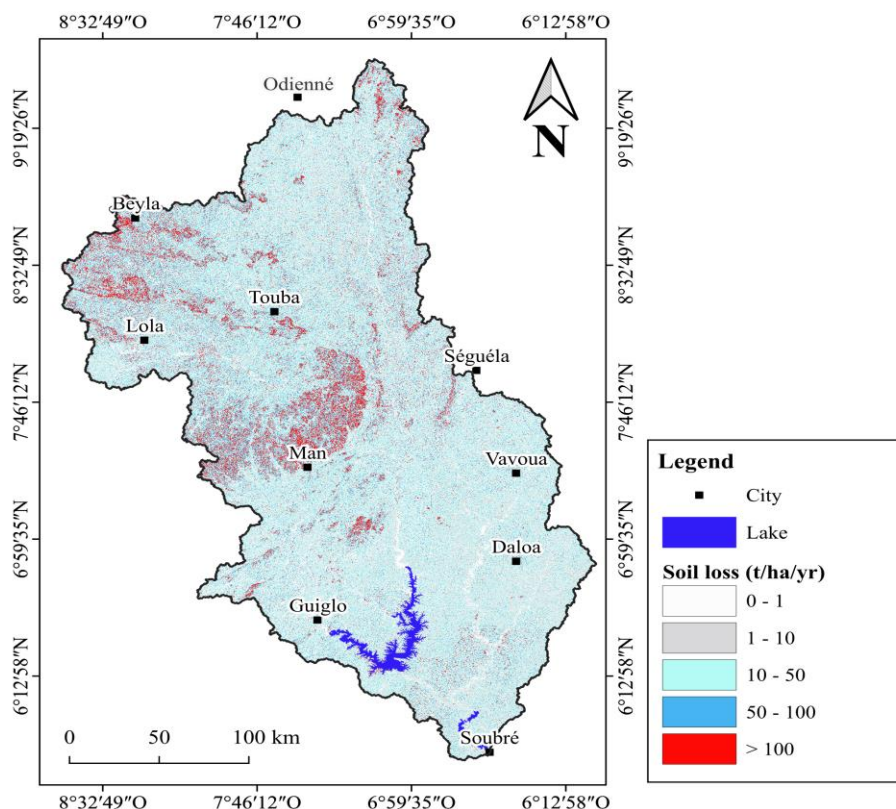


Fig. 3. Soil erosion of 2002 in the Sassandra catchment area

The spatial variation in water erosion in the Sassandra catchment in 2022 is shown in Figure 4. Like the areas with soil loss values of less than 10 t/ha/yr, the areas with average soil loss values (10 to 50 t/ha/yr) are distributed throughout the catchment, only the former cited are dominated by the latter cited. The areas with above-average soil loss values (between 50 and 100 t/ha/yr) and those with higher soil loss values (over 100 t/ha/yr) have a spatial distribution in the catchment similar to that in 1986. They are mainly observed in the extreme north of the catchment (east of Odienné), in the west (Beyla, Lola and Touba), in the centre (Man and Séguéla) and around the Lake Buyo. Nevertheless, it should be noted that the land loss values for these areas in 1986 are higher than those for 2002.

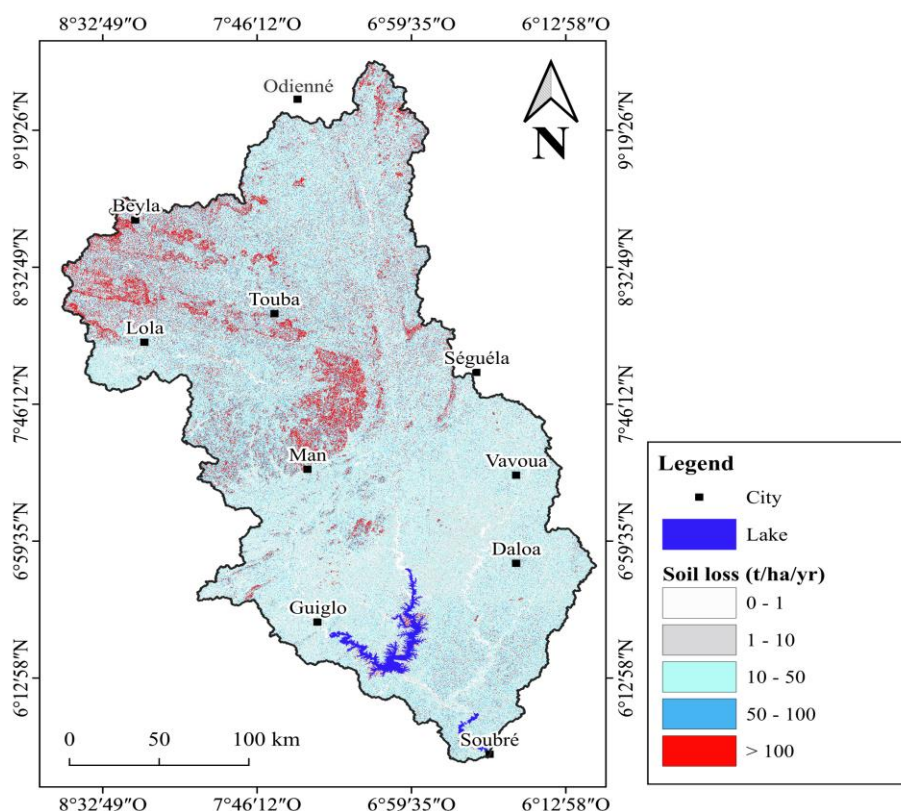


Fig. 4. Soil erosion of 2022 in the Sassandra catchment area

A comparison of soil erosion over the three periods shows that the percentage of erosion rates greater than 100 t/ha/yr is 38% from 1986 to 2002 and 47% from 1986 to 2022. In terms of the total quantities of soil transported per year over the entire catchment area, the figure rose from 27 to 37 million tons between 1986 and 2002, rising to 39 million tons by 2022. This corresponds to average soil losses of 43 t/ha/yr, 55 t/ha/yr and 63 t/ha/yr respectively of years 1986, 2002 and 2022.

4 DISCUSSION

Soil losses in the Sassandra catchment were assessed on the basis of USLE factors, namely rainfall erosivity, topography, soil erodibility, cover management and support practice.

Analysis of the results of soil erosion mapped over the Sassandra catchment shows a gradual increase in the rate of erosion from 1986 to 2002 and from 2002 to 2022. This increase leads to an increase in the total quantities of soil transported each year over the entire catchment area.

The factors involved in assessing soil erosion can be divided into two groups: static variables and dynamic variables. The static variables concern the soil erodibility factor (K factor) and the topographical factor (LS factor). The dynamic variables are the rainfall erosivity factor (R factor), the cover and management factor (C factor) and the support practice factor (P factor).

In this research, the R factor varied very little over time from 1986 to 2002 and from 2002 to 2022. The P factor was considered to be equal to 1 over the entire catchment area during all the years of the study. As for the C factor, it changed considerably in space and time from 1986 to 2002 and from 2002 to 2022 as a result of anthropogenic activities in the catchment. These activities involve the exploitation of timber for export and the mobilisation of vast areas for cash crops (cocoa, coffee, rubber and oil palm), followed by slash-and-burn cultivation. The K factor, derived from morpho-pedological studies, remained constant over the three years and its values varied very little (0.12 to 0.17 t.h.MJ-1.mm-1). The topographical factor (LS) deduced from the digital elevation model (DEM) was constant over the three periods but its values were significant (0 to 110.52).

This analysis shows that the increase in the rate of erosion observed over the three periods is closely linked to variations in the topography and vegetation cover of the catchment. In fact, soil losses are considerably higher in areas of steep slope, in areas of low vegetation cover in areas of steep slope and low vegetation cover. As far as slopes are concerned, their impact on runoff is more than remarkable. In fact, the steeper the slope, the greater the runoff, with the resultant detachment, uprooting and entrainment of soil particles. In addition, the absence of plant cover can exacerbate the impact of run-off.

The results for soil erosion in the Sassandra basin are very satisfactory, given the improved RUSLE equations with which the various factors were evaluated. Indeed, the highest values of soil loss determined corroborate those of [52] who obtained high values of soil loss in the department of Man. Also, the values of the erodibility factor (K) in this study vary between 0.12 and 0.19. These values are in the same order as those determined by [65] and [66] for ferrallitic and ferruginous soils in West Africa ($0.15 \leq K \leq 0.35$). Its Furthermore, the assessment of the C factor from the NDVI is very suitable, especially for historical images such as those used in this study. Variation in this factor is one of the causes of the variation in the erosion rate observed over the study periods (1986 to 2022). Coulibaly et al. [2] studied soil erosion in the Bâoulé catchment and came to the same conclusion. In addition, the topographical factor (LS) evaluated using the equations proposed by [58] and [61] highlighted the influence of slope on soil erosion. Li et al. [7] came to a similar conclusion.

The results obtained constitute a great interest in so far as they bring new knowledges to decision-makers about the dynamics of soil erosion in the Sassandra catchment. The methodology used makes it possible to determine with greater precision the areas of eroded land in a catchment, and to identify the main factors with a proven impact on soil erosion. This knowledge is vital for the development of effective land conservation policies that are useful for the integrated management of catchment areas. In addition, this study is a contribution to the mapping of land degradation in the world in general, and to the achievement of objective 15 of the Sustainable Development Goals.

5 CONCLUSION

This study involved modelling the diachronic evolution of soil erosion in the Sassandra catchment. The study showed that from 1986 to 2022, soil erosion is increasing over time. The rates obtained in 2022 (39 million tons) are higher than those in 2002 and 1986 (37 million tons and 27 million tons), i.e. an increase of 38% from 1986 to 2002 and 47% from 1986 to 2022. This gradual increase of soil erosion over time is largely due to the destruction of vegetation cover as a result of human activities in the basin (logging for export, mobilisation of vast areas for cash and food crops, slash-and-burn cultivation). However, a contribution from topography cannot be ruled out.

The results obtained are relevant, and the spatial distribution of soil losses in the Sassandra catchment can be used to guide policy-makers on areas which to intervene in the watershed to alleviate the effects of erosion for a sustainable management of lands.

ACKNOWLEDGMENT

We would like to thank the members of the Laboratoire de Géosciences et Environnement (LGE) of the Université NANGUI ABROGOUA for their close collaboration, as well as the FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), the USGS (United States Geological Survey) and SODEXAM (Société de Développement et d'Exploitation Aéronautique Aéroportuaire et Météorologique) for making the data used in this work available.

REFERENCES

- [1] E. Roose, Introduction à la Gestion Conservatoire de l'Eau, de la Biomasse et de la Fertilité des Sols (GCES). FAO, Rome (Italie), 1994.
- [2] N. Coulibaly, B. T. A. Goula, L. Coulibaly, and I. Savane, «Modélisation Spatio-temporelle de l'Erosion Hydrique à Partir de l'USLE en Zone de Savane Tropicale Humide: cas du Bassin Versant du Bâoulé (Côte d'Ivoire)», *European Journal of Scientific Research*, vol. 16, no. 2, pp. 213-221, 2007.
- [3] P. Sreepriya and R. Balasubramania, «Soil Degradation in Kerala State and a Case Study on Socio-economic Impact due to Flood in its Idukki District», *J. of Applied and Natural Science*, vol. 12, no. 2, pp. 159 -164, 2020.
- [4] R. Lal, M. Ahmadi and R.M. Bajracharya, «Erosional Impacts on Soil Properties and Corn Yield on Alfisols in Central Ohio», *Land Degrad Dev*, vol. 11, no. 6, pp. 575-585, 2000.
- [5] K. Van Oost, T. A. Quine, G. Govers, S. De Gryze, J. Six, J. W. Harden et al., «The Impact of Agricultural Soil Erosion on the Global Carbon Cycle», *J. Science*, vol. 318, no. 5850, pp. 626-629, 2007.

- [6] C. Polykretis, D. D. Alexakis, M. G. Grillakis and S. Manoudakis, «Assessment of Intra-Annual and Inter-Annual Variabilities of Soil Erosion in Crete Island (Greece) by Incorporating the Dynamic »Nature« of R and C-Factors in RUSLE Modeling», *Remote Sensing*, vol. 12, no. 15, 2439, 2020.
- [7] Y. Li, T. Rong, M. Qin, P. Zhang, D. Yang, Z. Liu *et al.*, «Spatiotemporal Characteristics of Soil Erosion in a Typical Watershed Consisting of Different Landscape: A Case Study of the Qin River Basin», *PLoS ONE* vol. 17, no. 10, e0275470, 2022.
- [8] P. Y. Zhang, C. Z. Qin, X. Hong, G. H. Kang, M. Z. Qin, D. Yang *et al.*, «Risk Assessment and Source Analysis of Soil Heavy Metal Pollution from Lower Reaches of Yellow River Irrigation in China», *Science of Total Environment*, vol. 633, no. 24, pp. 1136-1147, 2018.
- [9] D. D. Alexakis, E. Tapoglou, A. E. K. Vozinaki and I. K. Tsanis, «Integrated Use of Satellite Remote Sensing, Artificial Neural Networks, Field Spectroscopy, and GIS in Estimating Crucial Soil Parameters in Terms of Soil Erosion», *Remote Sensing*, vol. 11, no. 09, 1106, 2019.
- [10] J. Xiao, B. Xie, K. Zhou, S. Shi, J. Li, M. Yang *et al.*, «Assessment of Soil Erosion in the Dongting Lake Basin, China: Patterns, Drivers, and Implications», *PLoS ONE*. vol. 16, no. 12, e0261842, 2021.
- [11] L. R. Oldeman, «Global Extent of Soil Degradation», *ISRIC Bi-Annual report*, pp. 19-36, 1992.
- [12] FAO and ITPS, Status of the World’s Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy, 2015.
- [13] Bhat, S. A., Dar, M. U. D., Meena, R.S., Soil Erosion and Management Strategies. In: Meena, R., Kumar, S., Bohra, J., Jat, M. (eds) Sustainable Management of Soil and Environment. Springer, Singapore, 2019.
- [14] P. Borrelli, D. A. Robinson, L. R. Fleischer, E. Lugato, C. Ballabio, C. Alewell *et al.*, «An Assessment of the Global Impact of 21st Century Land Use Change on Soil Erosion», *Nature Communications*, vol. 8, 2013 (2017).
- [15] D. Pimentel, J. Allen, A. Beers, L. Guinand, R. Linder, P. McLaughlin, B. Meer, D. Musonda, D. Perdue, S. Poisson, S. Siebert, K. Stoner, R. Salazar and A. Hawkins, «World Agriculture and Soil Erosion», *BioScience*, vol. 37, no. 4, pp. 277-283, 1987.
- [16] G. Singh and R. K. Panda, «Grid-cell Based Assessment of Soil Erosion Potential for Identification of Critical Erosion Prone Areas Using USLE, GIS and Remote Sensing: A Case Study in the Kappari Watershed, India», *International Soil and Water Conservation Research*, vol. 5, no. 3, pp. 202-211, 2017.
- [17] R. P. C. Morgan, J. N. Quinton, R. E. Smith, J. W. A. Poesen, K. Auerswald, G. Chisci *et al.*, «The European Soil Erosion Model (EUROSEM): A Dynamic Approach for Predicting Sediment Transport from Fields and Small Catchments», *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 23, no. 6, pp. 527-544, 1998.
- [18] A.P.J. De Roo, «The LISEM Project: An Introduction», *Hydrological Processes*, vol. 10, no. 8, pp. 1021-1025, 1996.
- [19] D. B. Beasley, L. F. Huggins and E. J. Monke, «ANSWERS: A Model for Watershed Planning», *Trans ASAE*, vol. 23, no. 4, pp. 0938-0944, 1980.
- [20] R. A. Young, C.A. Onstad, D. D. Bosch and W. P. Anderson, «AGNPS: A Nonpoint-source Pollution Model for Evaluating Agricultural Watersheds», *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 44, no. 2, pp. 168-173, 1989.
- [21] Y. Yuan, R. L. Bingner and F. D. Theurer, «Subsurface Flow Component for ANNAGNPS», *Applied Engineering in Agriculture*, vol. 22, no. 2, pp. 231-241, 2006.
- [22] Williams, J. R., The EPIC Model. In: Singh, V.P., Ed., Computer Models of Watershed Hydrology, Chapter 25, Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, USA, 1995.
- [23] Knisel, W.G., CREAMS: A Field Scale Model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems (USA), United States Dept. Agric. Conserv. Res. Rep, 1980.
- [24] J. R. Williams, A. D. Nicks and J. G. Arnold, «Simulator for Water Resources in Rural Basins», *J. Hydraul. Eng.*, vol. 111, no. 6, pp. 970-986, 1985.
- [25] R. E. Leonard, W. G. Knisel and D. Still, «GLEAMS: Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems», *Transactions of the ASABE*, vol. 30, pp. 1403-1418, 1987.
- [26] M. A. Nearing, G. R. Foster, L. J. Lane and S. C. Finkner, «A process-based soil erosion model for USDA-Water Erosion Prediction Project technology», *Transactions of the ASAE*, vol. 32, no. 5, pp. 1587-1593, 1989.
- [27] J. M. Laflen, L. J. Lane and G. R. Foster, «WEPP: A New Generation of Erosion Prediction Technology», *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 16, pp. 34-38, 1991.
- [28] De Jong, S.M. and Riezebos, H.T., SEMMED: A Distributed Approach to Soil Erosion Modeling. In: Spiteri A (ed) Remote sensing '96: Integrated Applications for Risk Assessment and Disaster Prevention for the Mediterranean. Balkema, Rotterdam, pp. 199-204, 1997.
- [29] Arnold, J.G., Williams, J.R., Srinivasan, R., King, K.W. and Griggs, R.H., SWAT - Soil and Water Assessment Tool: Draft Users Manual. USDA-ARS, Temple, TX, 1995.

- [30] M. Duchemin, M. Lachance, G. Morin and R. Lagacé, «Approche Géomatique pour Simuler l'Erosion Hydrique et le Transport des Sédiments à l'Echelle des Petits Bassins Versants», *Water Qual. Res. J. Canada*, vol. 36, no. 3, pp. 435-473, 2001.
- [31] Wischmeier, W.H. and Smith, D.D., Prediction Rainfall Erosion Losses from Cropland East of the Rocky Mountains: A Guide for Selection of Practices for Soil and Water Conservation. US Department of Agriculture, Agriculture Handbook, No. 282, Washington DC, USA, 1965.
- [32] Wischmeier, W.H. and Smith, D.D., Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning, Agriculture Handbook No. 537, US Department of Agriculture Science and Education Administration: Washington DC, USA, 1978.
- [33] Williams, J.R., Sediment-Yield Prediction with Universal Equation Using Runoff Energy Factor. In: Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources, USDA Agriculture Research Service, Washington DC, pp. 244-252, 1975.
- [34] Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K. and Yoder, D.C., Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). US Department of Agriculture, Agriculture Handbook, Washington, DC, USA, 703, 404, 1997.
- [35] V. Prasannakumar, R. Shiny, N. Geetha and H. Vijith, «Spatial Prediction of Soil Erosion Risk by Remote Sensing, GIS and RUSLE Approach: A Case Study of Siruvani River Watershed in Attapady valley, Kerala, India», *Environ. Earth Sci.*, vol. 64, pp. 965-972, 2011.
- [36] Y. Farhan, D. Zregat and A. Anbar, «Assessing Farmers' Perception of Soil Erosion Risk in Northern Jordan», *Journal of Environmental Protection*, vol. 6, no. 8, pp. 867-884, 2015.
- [37] N. Diodato, L. Guerriero and G. Bellocchi, «Modeling and Upscaling Plot-Scale Soil Erosion under Mediterranean Climate Variability». *Environments*, vol. 4, no. 3, 58, 2017.
- [38] Y. Li, J. Zhang, H. Zhu, Z. Zhou, S. Jiang, S. He, Y. Zhang, Y. Huang, M. Li, G. Xing and G. Li, «Soil Erosion Characteristics and Scenario Analysis in the Yellow River Basin Based on PLUS and RUSLE Models», *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 20, no. 2, 1222, 2023.
- [39] M. J. Nasir, S. Alam, W. Ahmad, S. M. Bateni, J. Iqbal, M. Almazroui and B. Ahmad, «Geospatial Soil Loss Risk Assessment Using RUSLE Model: A Study of Panjkora River Basin, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan», *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 16, no. 440, 2023.
- [40] A. Sentani, M. F. Niam and F. C. Boogaard, «Probability of Erosion Utilizing Google Earth Engine and the RUSLE Method in the Tuntang Watershed», *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1321, no. 1, 012001, 2024.
- [41] Roose, E., Use of the Universal Loss Equation to Predict Erosion in West Africa. In *Soil Erosion: Prediction and Control*, Ankeny: *Soil Conservation Society of America*, pp. 60-74, 1976.
- [42] C. A. Igwe, F. O. Akamigbo and J. S. Mbagwu, «Application of SLEMSA and USLE Erosion Models for Potential Erosion Hazard Mapping in Southeastern Nigeria», *Int. Agrophysics*, vol. 13, no. 1, pp. 41-48, 1999.
- [43] S. Guillobez, F. Lompo and G. De Noni, «Le Suivi de l'Erosion Pluviale et Hydrique au Burkina Faso. Utilisation d'un Modèle Cartographique», *Sécheresse*, vol. 11, no. 3, pp. 163-169, 2000.
- [44] A. Ben Rhouma, T. Hermassi and H. Habaieb, «Water Erosion Modeling in a Mediterranean Semi-arid Catchment Using USLE/GIS (El Gouazine, Central Tunisia)», *Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology*, vol. 50, no. 7, pp. 3071-3081, 2018.
- [45] O. Djoukbala, M. Hasbaia, O. Benselama and M. Mazour, «Comparison of the Erosion Prediction Models from USLE, MUSLE and RUSLE in a Mediterranean Watershed, Case of Wadi Gazouana (N-W of Algeria)», *Modeling Earth Systems and Environment*, vol. 5, pp. 725-743, 2018.
- [46] A. Zouagui, M. Sabir, M. Naimi, M. Chikhaoui and M. Benmansour, «Modélisation du Risque d'Erosion Hydrique par l'Equation Universelle des Pertes en Terre dans le Rif Occidental: Cas du Bassin Versant de Moulay Bouchta (Maroc)», *European Scientific Journal*, vol. 14, no. 3, pp. 524-544, 2018.
- [47] I. J. Laougué, D. Mbaindogoum and M. A. Mustapha, «Evaluation of Soil Erosion by RUSLE Model in Mount Guera», *Open Access Library Journal*, vol. 10, e9888, 2023.
- [48] B. V. H. N'Guessan, M. B. Saley, B. H. Kouadio, M. Diabate, A. F. Yapi, F. Kouame, E. V. Djagoua and K. Affian, «Cartography and Prediction of the Risk of Water Erosion in Anyama (district of Abidjan): Contribution of RUSLE and Markov Models», *International Journal of Hydrology*, vol. 2, no. 5, pp. 643-649, 2018.
- [49] A. J.-P. Deguy, A. Y. N'Go, K. H. Kouassi, G. E. and Soro B. T. A. Goula, «Contribution of a Geographical Information System to the Study of Soil Loss Dynamics in the Lobo Catchment (Côte d'Ivoire)», *Journal of Geoscience and Environment Protection*, vol. 6, no. 9, pp. 183-194, 2018.
- [50] Z. A. Kouadio, Y. A. N'Go, K. B. Djè, K. P. X. Adou, B. T. A. Goula and I. Savané, «Spatial Analysis of Erosive Runoff in the Mé Watershed (Côte d'Ivoire)», *Journal of Water Sciences & Environment Technologies*, vol. 3, no. 2, pp. 376-382, 2018.

- [51] Y. A. N’Go, Z. A. Kouadio, A. J.-P. Deguy, S. A. Hien, B. T. A. Goula and I. Savané, «Influence de la Dynamique de l’Occupation du Sol sur la Quantité de Perte de Sol au Sud du Bassin Versant du Sassandra (Côte d’Ivoire)», *Int. J. Adv. Res.*, vol. 6, no. 4, pp. 830-838, 2018.
- [52] J.-J. T. Koua, A. K. Anoh, D. T. Soro, J. K. Kouame and R. J. P. Jourda, «Evaluation of Agricultural Practices Scenarios for Reducing Erosion in Buyo Lake Catchment (Sassandra; Côte d’Ivoire) by Use of GIS», *Journal of Geoscience and Environment Protection*, vol. 7, no. 7, pp. 154-171, 2019.
- [53] L. K. Coulibaly, Q. Guan, T. V. Assoma, X. Fan and N. Coulibaly, «Coupling Linear Spectral Unmixing and RUSLE2 to Model Soil Erosion in the Boubo Coastal Watershed, Côte d’Ivoire», *Ecological Indicators*, vol. 130, 108092, 2021.
- [54] K. M. Traore, S. Ouattara and M. A. H.-F. Kouassi, «Artificialisation des Sols et Érosion Hydrique dans la Ville de Daloa, Centre-ouest de la Côte d’Ivoire». *Revue des Arts, Linguistique, Littérature & Civilisations RA2LC*, vol. 2, no. 6, pp. 599-624, 2023.
- [55] E. Roose and G. De Noni, «Recherches sur l’Érosion Hydrique en Afrique: Revue et Perspectives», *Science et Changements Planétaires/Sécheresse*, vol. 15, no. 1, pp. 121-129, 2004.
- [56] FAO, Assessing Soil Degradation. FAO Soils Bulletin (FAO), n° 34, 1997.
- [57] FAO, The Digital Soil Map of the World Version 3.6. Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2003.
- [58] D. K. McCool, G. R. Foster, C. K. Mutchler and L. D. Meyer, «Revised Slope Length Factor for the Universal Soil Loss Equation», *Transactions of the ASAE*, vol. 32, no. 5, pp. 1571-1576, 1989.
- [59] A. W. Zingg, «Degree and Length of Land Slope as it Affects Soil Loss in Run-off», *Environmental Science.*, vol. 21, pp. 59-64, 1940.
- [60] Hudson, N.W., Soil Conservation. Batsford, London, United Kingdom, 1973.
- [61] B. Y. Liu, M. A. Nearing, P. J. Shi and Z. W. Jia, «Slope Length Effects on Soil Loss for Steep Slopes», *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 64, no. 5, pp. 1759-1763, 2000.
- [62] Roose, E., Méthodes de Mesure des États de Surface du Sol, de la Rugosité et des Autres Caractéristiques qui Peuvent Aider au Diagnostic de Terrain, des Risques de Ruissellement et d’Érosion, en Particulier sur les Versants des Montagnes. In: De Noni G. (ed.), Lamachère J.-M. (ed.), Roose E. (ed.). États de Surface du Sol et Risques de Ruissellement et d’Érosion. *Bulletin - Réseau Érosion*, pp. 87-97, 1996.
- [63] Sabir, M. and Roose, E., Influence du Couvert Végétal et des Sols sur le Stock de Carbone et les Risques de Ruissellement et d’Érosion dans les Montagnes Méditerranéennes du Rif Occidental, Maroc. In: Roose, E. (ed.) De Noni G. (ed.), Prat C. (ed.), Ganry F. (ed.), Bourgeon G. (ed.). Gestion de la Biomasse, Érosion et Séquestration du Carbone. *Colloque International*, Montpellier (France), 23-28 September 2002, pp. 144-154, 2004.
- [64] Van Der Knijff, J.M., Jones, R.J.A. and Montanarella, L., Estimation du Risque d’Érosion en Italie. European Soil Bureau-Space Applications Institute, 2000.
- [65] Roose, E., Dynamique Actuelle de Sols Ferrallitiques et Ferrugineux Tropicaux d’Afrique Occidentale. Transferts Hydrologiques et Biologiques de Matières sous Végétations Naturelles ou Cultivées. Thèse Doct. Es-Sciences, Université Orléans, Orléans, France. In: Travaux et Documents ORSTOM, Paris (1981), no. 130, 1980.
- [66] Roose, E. and Sarrailh, J.M., Erodibilité de Quelques Sols Tropicaux. Vingt Années de Mesure en Parcelles d’Érosion sous Pluies Naturelles. In: Spécial Érosion. *Cahiers ORSTOM Série Pédologie*, vol. 25, pp. 7-30, 1989.

Statut nutritionnel des enfants de 6-59 mois dans les sites des déplacés internes au Nord-Kivu à l'Est de la République Démocratique du Congo

[Nutritional status of children aged 6-59 months in Internal Displaced Persons sites in North-Kivu Province, Eastern Democratic Republic of Congo]

Jean Marie Muhindo Kamukehere¹ and Pascal Nyandwi²

¹Division Provinciale de la Santé du Nord-Kivu, Goma, Nord-Kivu, RD Congo

²Coordination Provinciale du PRONANUT, Goma, Nord-Kivu, RD Congo

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

ABSTRACT: Malnutrition is a health problem among children under 5 living in Internally displaced populations camps. These children are at high risk of malnutrition because of inadequate nutrition and poor care practices, which increase their vulnerability to all forms of malnutrition. The aim of this study was to determine the prevalence of different types of malnutrition in children aged 6-59 months living in Internally Displaced Populations camp in North-Kivu Province, in the east of the Democratic Republic of Congo. This is a descriptive survey of children aged 6-59 months living in Internally Displaced populations sites selected from displaced households using two-stage cluster sampling. Anthropometric measurements and the calculation of anthropometric indices for the sampled children were carried out using the World Health Organization's 2006 growth standards. The results showed that 7.0% were emaciated, 21.4% underweight and 45.5% stunted. Children aged 24-59 months showed a high prevalence of all types of malnutrition. Males were more affected, and one of the three camps had a high prevalence of chronic malnutrition. Several of the studies cited also showed high prevalences, but this differed according to each environment. Interventions focusing on promotion, prevention and food security will need to be carried out to improve the nutritional status of internally displaced children.

KEYWORDS: prevalence, internally displaced population camps, malnutrition, children under five, anthropometric measurements, The Democratic Republic of Congo.

RESUME: La malnutrition constitue un problème de santé chez les enfants de moins de 5 ans vivants dans les camps des déplacés. Les personnes déplacés internes sont exposées au risque élevé de malnutrition à la suite d'une alimentation insuffisante et des mauvaises pratiques des soins aggravant la vulnérabilité à toutes les formes de malnutrition. Cette étude avait pour objectif de déterminer la prévalence des différents types de malnutrition chez les enfants de 6-59 mois vivants dans les camps des déplacés internes en Province du Nord-Kivu, en République Démocratique du Congo. Il s'agit d'une enquête transversale descriptive portant sur les enfants de 6-59 mois vivants dans les sites des déplacés internes sélectionnés dans les ménages des déplacés en utilisant un échantillonnage en grappes à deux degrés. Des mesures anthropométriques ainsi que le calcul des indices anthropométriques des enfants échantillonnés ont été réalisées en utilisant les normes de croissance de l'Organisation mondiale de la santé de 2006. Les résultats ont montré que 7,0% étaient émaciés, 21,4% en insuffisance pondérale et 45,5% avec retard de croissance. Les enfants de 24-59 mois ont présenté une prévalence élevée pour tous les types de malnutrition. Le sexe masculin était plus touché et un des trois camps présentait une prévalence élevée de la malnutrition chronique. Plusieurs études citées ont aussi montré des prévalences élevées, mais différentes selon chaque milieu. Des interventions focalisées sur la promotion, la prévention et la sécurité alimentaire devront être menées pour améliorer le statut nutritionnel des enfants déplacés internes.

MOTS-CLEFS: prévalence, camps des déplacés, malnutrition, enfants de moins de 5 ans, mesures anthropométriques, République Démocratique du Congo.

1 INTRODUCTION

La malnutrition constitue un problème de santé majeur chez les enfants de moins de 5 ans et particulièrement ceux vivants dans les camps des déplacés [1]. Dans le monde, environ 62,5 millions de personnes sont déplacés à l'intérieur de leurs pays. Le Haut-Commissariat des Nations Unies pour les Réfugiés (UNHCR) définit une personne déplacée à l'intérieur du pays (PDI) comme une personne qui a été contrainte de fuir son domicile mais qui n'a pas traversé de frontière internationale [2]. Les personnes déplacées internes comprennent des personnes déplacées à la suite des conflits internes et des catastrophes naturelles. Elles recherchent la sécurité partout où elles peuvent la trouver dans des familles d'accueil, dans des écoles et dans les camps internes [2–4]. Elles sont ainsi exposées au risque élevé de maladies et de malnutrition à la suite de plusieurs facteurs limitants dont l'alimentation insuffisante et les mauvaises pratiques de soins aux nourrissons et aux jeunes enfants. Cette insécurité alimentaire augmente et aggrave la vulnérabilité à toutes les formes de la malnutrition notamment la malnutrition aiguë, la malnutrition chronique et l'insuffisance pondérale, surtout chez les enfants de moins de 5 ans [5–7]. L'ampleur peut varier d'un camp à l'autre et la prévalence peut varier selon l'âge de l'enfant ainsi que selon le sexe. Souvent, la survie dans les cas des déplacés dépend en grande partie de l'assistance humanitaire et de l'aide alimentaire, la valeur de la nourriture détermine en grande partie le statut nutritionnel des enfants de moins de 5 ans [8], d'où l'importance d'évaluer périodiquement la prévalence de la malnutrition dans ce groupe d'âge.

En Afrique, sur les 35 millions des personnes déplacés à l'intérieur du continent, 32,5 millions sont la conséquence des conflits et des violences. 80% d'entre-elles sont concentrés dans cinq pays seulement: La République Démocratique du Congo, l'Éthiopie, le Nigeria, la Somalie et le Soudan [9]. La prévalence de la malnutrition chez les enfants de moins de 5 ans dans divers camps de déplacés varie entre 6% à 52% [10].

La République Démocratique du Congo figure parmi les pays comptant les plus grandes populations des déplacés internes après la Colombie et la Syrie [2]. Elle est confrontée à une crise humanitaire croissante depuis plus de trois décennies à la suite des conflits armés, spécifiquement dans la partie Est du pays. Le nombre de personnes déplacées à l'intérieur du pays n'a cessé d'augmenter. En effet, jusqu'à la fin de l'année 2023, le nombre de déplacés internes a été estimé à 6,7 millions de personnes, dont 3,8 millions de personnes nouvellement déplacés. La Province du Nord-Kivu compte en lui seul environ 1,9 millions, ce qui fait des personnes déplacées de la République Démocratique du Congo la plus grande population des déplacés interne en Afrique [11].

Les cycles de déplacement observés en République Démocratique du Congo sont souvent causés par l'activisme d'une multiplicité des groupes armés, par des tensions intercommunautaires enracinées sur des questions d'accès aux ressources naturelles et de gestion de celles-ci. Ces déplacements réduisent l'accès à des services de santé de base et menacent la sécurité alimentaire, particulièrement pour les enfants de moins de 5 ans et les femmes en âge de procréer [3]. Ainsi, en raison de ces déplacements, de nombreuses personnes souffrent des problèmes de santé. Des études ont montré que les enfants déplacés souffrent souvent de plusieurs pathologies dont la malnutrition, ce qui augmente la morbidité et la mortalité dans ce groupe vulnérable [5].

En Province du Nord-Kivu, la dernière vague de violence de l'année 2022 a poussé des dizaines de milliers de personnes à quitter leurs foyers à la recherche de la sécurité dans différentes parties de la province. La ville de Goma et ses environs ont connu un afflux des déplacés internes, certains ont trouvé refuge dans des familles d'accueil, d'autres dans des écoles et dans les églises. Un grand nombre de déplacés se trouve actuellement dans les camps des déplacés érigés dans les zones de santé de Goma, Karisimbi et Nyiragongo.

Cette étude a pour objectif de déterminer la prévalence de l'insuffisance pondérale, de la malnutrition chronique et de la malnutrition aiguë chez les enfants de 6-59 mois vivants dans les camps de déplacés internes en Province du Nord-Kivu, à l'Est de la République démocratique du Congo.

2 MATERIEL ET METHODES

Il s'agit d'une enquête transversale descriptive portant sur les enfants de 6-59 mois vivants dans les sites des déplacés internes dans les périphéries de la ville de Goma, à l'Est de la République Démocratique du Congo, réalisée entre juillet et août 2023.

2.1 LIEU D'ÉTUDE

L'enquête a été menée dans trois sites des déplacés. Il s'agit des sites de Bulengo dans la zone de santé de Goma, Lushagala dans la Zone de santé de Karisimbi et Rusayo dans la Zone de santé de Nyiragongo. Ces sites des déplacés ont été érigés depuis le mois de décembre 2022 à la suite des mouvements des populations fuyant la guerre entre les rebelles du M23 et les forces armées de la République Démocratique du Congo.

Le site de Bulengo est situé dans la Zone de santé de Goma, au quartier Mugunga, dans l'aire de santé de Buhimba, à plus ou moins 15km du Centre-ville. Pendant la période de l'enquête, il comptait une population de 57961 habitants. Le site de Lushagala, situé dans la zone de santé de Karisimbi au quartier Mugunga, dans l'aire de santé de même nom, comptait une population de 20709 habitants alors que celui de Rusayo situé dans la Zone de santé de Nyiragongo, au pied du volcan Nyiragongo comptait une population de 37264

habitants. Ces différents sites ont bénéficié de l'appui des partenaires d'urgence en ce qui concerne la distribution des vivres, des non-vivres et des cliniques mobiles pour les soins médicaux.

2.2 POPULATION D'ETUDE

La population d'étude était constituée par les enfants de 6-59 mois vivants dans les camps des déplacés et présents dans les ménages au moment de l'enquête. Ont été exclus de l'enquête, les enfants dont la prise des mesures anthropométriques n'a pas été possible ou a été incomplète, soit par refus des parents, soit par absence de l'enfant au niveau du ménage lors de la visite par les enquêteurs.

2.3 METHODES D'ECHANTILLONNAGE

Nous avons réalisé un échantillonnage par grappes à deux degrés. Le premier degré était constitué par les blocs constituant un ensemble de ménages proche les uns des autres et identifiés comme constituant un bloc par le chef de camp. Le deuxième degré était constitué par le ménage. Le calcul du nombre de grappes a été réalisé en tenant compte du temps et des ménages à visiter par enquêteur. Ainsi, chaque camp concerné par l'enquête comportait 32 grappes. Dans chaque grappe les ménages à enquêter ont été calculés à l'aide du logiciel ENA for SMART version 2020 en tenant compte de la prévalence maximale estimée à 9,8% avec une précision de 3,9; un effet de grappe de 1,5. La proportion des enfants de moins de 5 ans dans les ménages était de 20,5% avec une taille moyenne du ménage de 3,6. Pour les non-répondants, nous avons considérés 4%. Après la collecte des données et l'exclusion des enfants enquêtés ne répondant pas aux critères d'inclusion, nous avons retenu 1281 enfants dont 391 à Bulengo, 437 à Lushagala et 453 à Rusayo.

2.4 COLLECTE DES DONNEES ET DEFINITION DES VARIABLES

La collecte des données a été réalisée moyennant une fiche d'enquête préalablement établie et pré-testée avant la collecte proprement dite. Elle nous a permis de collecter les données sur les caractéristiques démographiques et les mesures anthropométriques des enfants enquêtés. Avant la collecte, les enquêteurs ont été formés et envoyés sur terrain pour un pré-test afin de corriger des éventuelles insuffisances. Pour la collecte des données, l'équipe d'enquêteurs était composée de trois personnes dont deux mesureurs et un encadreur technique. Toutes les équipes ont été supervisées pour s'assurer du respect des normes de collecte des données. Les variables d'études étaient constituées des variables démographiques et des variables anthropométriques. Pour les variables démographiques, nous avons collectés concernant l'âge des enfants en mois, le sexe et le camp de résidence.

Concernant les variables anthropométriques, nous avons mesuré la taille ou la longueur des enfants en cm à l'aide d'une toise ainsi que le poids en Kg à l'aide d'une balance Salter. Les mesures ont été prises au 10ème près. Au cours de la collecte des données, les enquêteurs ont recherché les œdèmes, mesurés le périmètre brachial et d'autres signes de complication pour permettre une référence rapide afin d'une prise en charge appropriée.

Les indices anthropométriques des enfants échantillonnés ont été calculés en utilisant les médianes de référence des normes de croissance de l'Organisation mondiale de la santé de 2006 [12]. Ainsi, la malnutrition a été groupée en trois modalités qui sont la malnutrition chronique ou retard de croissance, la malnutrition aigüe ou émaciation et l'insuffisance pondérale. En rapport avec le degré de malnutrition, ont été considérés comme malnutris, les enfants présentant un indice < -2 z-score de la médiane de la population de référence. Lorsque cet indice était situé entre < -2 et ≥ -3 z-score, la malnutrition a été classée modérée. Elle a été classée sévère lorsque cet indice était < -3 z-score.

A cet effet, pour la malnutrition chronique ou retard de croissance, les enfants dont la taille par rapport à l'âge (TPA) était située entre < -2 et ≥ -3 z-score ont été classée malnutrition chronique modérée tandis que ceux dont le rapport taille pour l'âge (TPA) était < -3 z-score par rapport à la médiane de la population de référence étaient considérés comme souffrant d'un retard de croissance sévère.

Concernant la malnutrition aigüe sévère ou émaciation, les enfants dont le poids pour la taille (PPT) était situé entre < -2 et ≥ -3 z-score ont été classée malnutrition aigüe modérée tandis que ceux dont le rapport poids pour taille (PPT) était < -3 z-score par rapport à la médiane de la population de référence étaient considérés comme souffrant d'une émaciation sévère. Pour l'insuffisance pondérale, les enfants dont le poids pour âge (PPA) était situé entre < -2 et ≥ -3 z-score ont été classée insuffisance pondérale modérée, ceux dont le rapport poids pour âge (PPA) était < -3 z-score par rapport à la médiane de la population de référence ont été classés insuffisance pondérale sévère.

2.5 TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNEES

Après collecte, les données ont été saisies dans le logiciel ENA for SMART version 2020 par deux opérateurs de saisie préalablement formée à cette tâche. Cette saisie a été réalisée à double dans le but de minimiser les risques d'erreurs et les incohérences. Pour l'analyse, les données ont été exportés dans Excel, puis analysées à l'aide du logiciel SPSS version 23. Cette analyse a fait appel aux statistiques descriptives qui nous ont permis de calculer la moyenne et la proportion des différentes modalités des variables.

Ainsi, l'âge a été groupé en trois modalités de 6-11 mois, 12-23 mois et de 24-59 mois. La provenance se réfère au site dans lequel vivaient les enfants au moment de l'enquête et le sexe a été groupé en masculin et féminin. Nous avons ainsi calculé les fréquences relatives des différentes modalités, la prévalence des différents types de malnutrition selon leurs degrés modéré ou sévère ainsi que la prévalence selon les différentes caractéristiques démographiques.

2.6 CONSIDERATIONS ETHIQUES

Cette étude n'a pas été soumise à un comité d'éthique. Cependant, elle a bénéficié de l'accord du chef de Division Provinciale de la Santé ainsi que du Coordonnateur Provincial du Programme National de Nutrition (PRONANUT). Une fois les enquêteurs dans le ménage, après une brève présentation, les équipes obtenaient un consentement du chef de ménage avant la collecte des données. Afin de garantir la confidentialité, les données collectées ont été rendues anonymes et après analyse, elles ont été gardées dans les dossiers techniques accessibles seulement par le PRONANUT et les responsables de l'enquête.

Pendant l'enquête, les enfants souffrant de Malnutrition Aiguë Sévère (MAS) (P/T < -3z-score et/ou PB < 115 mm et/ou présence d'œdèmes) ont été référés immédiatement dans une Unité Nutritionnelle (UNTA ou UNTI) pour une prise en charge. Les enfants souffrant de Malnutrition Aiguë Modérée (MAM) (P/T < -2 z-score et \geq -3 z-score et/ou $115 \text{ mm} \leq \text{PB} < 125 \text{ mm}$ sans œdèmes) ont été orientés vers des Unités Nutritionnelles Supplémentaires.

3 RESULTATS

3.1 CARACTERISTIQUES DEMOGRAPHIQUES DES ENFANTS

L'âge moyen des enfants enquêtés était de 30 mois. Sur les 1281 enfants, 48,2% étaient de sexe masculin et 51,8% de sexe féminin, soit un sex ratio de 100 garçons pour 107 filles. Concernant la provenance des enfants, 30,5% étaient enquêtés dans le camp de Bulengo, 34,1% à Lushagala et 35,4% à Rusayo. Les caractéristiques démographiques des enfants enquêtés dans les camps des déplacés sont présentées dans le tableau suivant:

Tableau 1. Caractéristiques démographiques des enfants de 6-59 mois enquêtés dans les camps de déplacés de Bulengo, Lushagala et Rusayo de juillet à août 2023

Caractéristiques démographiques	Fréquence	Proportion
Age (mois)		
6-11 mois	173	13,5%
12-23 mois	295	23,0%
24-59 mois	813	63,5%
Total	1281	100,0%
Sexe		
Masculin	618	48,2%
Féminin	663	51,8%
Total	1281	100,0%
Provenance		
Bulengo	391	30,5%
Lushagala	437	34,1%
Rusayo	453	35,4%
Total	1281	100,0%

3.2 PREVALENCE DES DIFFERENTS TYPES DE MALNUTRITION.

La prévalence de la malnutrition aigüe sévère globale (émaciation) était de 7,0% alors que celle de l'insuffisance pondérale était de 21,4%. Pour la malnutrition chronique, la prévalence était élevée à 43,5%. Le tableau ci-dessous présente les différentes prévalences de la malnutrition selon les types et les degrés de la malnutrition.

Tableau 2. *Prévalence de la malnutrition des enfants de 6-59 mois enquêtés dans les camps de déplacés de Bulengo, Lushagala et Rusayo de juillet à août 2023 selon le type et le degré de malnutrition*

Types de malnutrition	Sévère		Modérée		Globale	
	n	%	n	%	n	%
Emaciation	28	2,2%	62	4,8%	90	7,0%
Insuffisance pondérale	57	4,4%	217	16,9%	274	21,4%
Malnutrition chronique	212	15,50%	346	27,0%	558	43,5%

Concernant la malnutrition selon les caractéristiques démographiques des sujets enquêtés, le tableau ci-dessous présente la prévalence selon les catégories d'âge, le sexe et les camps de provenance.

Les résultats montrent une prévalence de la malnutrition plus élevée dans la tranche d'âge de 24-59 mois pour toutes les formes de malnutrition, le sexe masculin étant plus affecté pour ce qui est de l'émaciation et de l'insuffisance pondérale. Le camp des déplacés de Rusayo présente une proportion élevée des cas de malnutrition en ce qui concerne l'insuffisance pondérale et la malnutrition chronique.

Tableau 3. *Prévalence de la malnutrition des enfants de 6-59 mois enquêtés dans les camps de déplacés de Bulengo, Lushagala et Rusayo de juillet à août 2023 selon les caractéristiques démographiques*

Caractéristiques démographiques	Emaciation		Total	%	Insuffisance pondérale		Total	%	Malnutrition chronique		Total	%
	Sévère	Modérée			Sévère	Modérée			Sévère	Modérée		
Age (mois)												
6-11 mois	4	13	17	1,3%	5	26	31	2,4%	8	29	37	2,9%
12-23 mois	9	14	23	1,8%	6	46	52	4,1%	44	74	118	9,2%
24-59 mois	15	35	50	3,9%	46	145	191	14,9%	160	243	403	31,5%
Sexe												
Masculin	20	33	53	4,1%	35	116	151	11,8%	123	166	289	22,6%
Féminin	8	29	37	2,9%	22	101	123	9,6%	89	180	269	21,0%
Provenance												
Bulengo	10	17	27	2,1%	21	64	85	6,6%	68	107	175	13,7%
Lushagala	8	21	29	2,3%	17	66	83	6,5%	63	109	172	13,4%
Rusayo	10	24	34	2,7%	19	87	106	8,3%	81	130	211	16,5%

4 DISCUSSION

Notre étude avait pour objectif de déterminer la prévalence de l'insuffisance pondérale, de la malnutrition chronique et de la malnutrition aiguë chez les enfants de 6-59 mois vivants dans les camps de déplacés internes en Province du Nord-Kivu. Les résultats de cette étude fournissent des informations nécessaires sur la prévalence des différents types de malnutrition chez les enfants des camps de déplacés internes permettant de connaître l'ampleur de la situation nutritionnelle dans les camps des déplacés et d'implémenter des interventions nécessaires de prévention et de prise en charge des cas.

Concernant les caractéristiques démographiques des enfants enquêtés dans les trois camps des déplacés internes, les résultats ont montré une moyenne d'âge de 30±14,5 mois. La tranche d'âge de 24-59 mois constituait un peu plus des trois cinquième d'enfants (63,5%). Le sexe féminin a représenté 51,8%. Trente-cinq pourcent d'enfants enquêtés vivaient dans le camp des déplacés de Rusayo.

Dans notre étude, nous avons trouvé une prévalence globale de la malnutrition aiguë sévère de 7,0%, de l'insuffisance pondérale de 21,4% et de la malnutrition chronique de 43,5%. L'ampleur de la malnutrition chronique était très inquiétante à la suite d'une prévalence élevée au-delà de 40% alors que le seuil reste élevé en ce qui concerne l'insuffisance pondérale, elle est moyenne pour l'émaciation. Cette prévalence de l'émaciation se rapproche de celle trouvée dans le camp des réfugiés dans le district de Gulu en Uganda qui était de 6,0%, tandis que celle de la malnutrition chronique était moins élevée que celle retrouvée en Uganda qui était de 52,1% [13]. Par contre, les prévalences trouvées dans les camps de déplacés du Nord-Kivu sont inférieures à celles trouvées au Nigéria qui étaient de 42% pour l'insuffisance pondérale, de 41% pour la malnutrition chronique et de 29,3% pour l'émaciation [1]. Aussi, les prévalences trouvées dans les camps des déplacés du Nord-Kivu sont plus élevées que celles trouvées à Bamenda au Cameroun [14] et par Priyanka Choudhary [7]. Dans notre étude, 71,9% d'enfants présentaient la malnutrition alors qu'à Bamenda la proportion était de 52% dont 4,8% d'enfants avec émanciation, 6,3% avec insuffisance pondérale et 22,1% de malnutrition chronique. Il en est de même dans une étude réalisée au Burkina Faso où la prévalence de la malnutrition chronique était de 45,9%, celle de l'insuffisance pondérale de 25,5% et celle de l'émanciation de 13,7% [15]. Cette différence de prévalence de la malnutrition entre les camps des déplacés du Nord-Kivu et les autres camps d'autres pays serait due au fait que les interventions de distribution des vivres aux déplacés prennent souvent du temps à être mises en place, ce

qui aggrave la situation nutritionnelle des enfants dans une province où la prévalence de la malnutrition aiguë globale varie entre 1,1% et 4,5%, celle de la malnutrition chronique était de 23% dans la zone de santé de Goma et 35,8% dans la zone de santé de Karisimbi dans la population générale [16]. Ainsi, à la vue de cette prévalence élevée, la malnutrition des enfants vivants dans les cas des déplacés devra attirer beaucoup plus d'attention des humanitaires afin d'assurer une prise en charge adéquate des enfants malnutris mais aussi de prévenir la survenue de la malnutrition chez les enfants déjà dans une situation de vulnérabilité.

Pour ce qui est de la prévalence de la malnutrition selon les caractéristiques démographiques, nous avons trouvé que la prévalence de la malnutrition était plus élevée dans la tranche d'âge de 24-59 mois. Celle de l'émaciation était de 3,9% dans cette tranche d'âge alors qu'elle était de moins de 2% dans les autres tranches d'âge. Pour l'insuffisance pondérale, la prévalence était de 14,9% pour les enfants de 24-59 mois, une proportion 3 à 4 fois plus grande que dans les tranches d'âge inférieures. Pour ce qui est de la malnutrition chronique, la prévalence dans la tranche d'âge de 24-59 mois était de 31,5% alors qu'elle était de 9,2% pour les 12-23 mois et de 2,9% pour les 6-11 mois. Nos résultats corroborent avec ceux trouvés au Burkina Faso qui ont montré une prévalence élevée dans la tranche d'âge de 36-59 mois pour toutes les formes de malnutrition, alors qu'elle était moins élevée dans les tranches d'âge inférieures [15]. Cette augmentation de la prévalence dans la tranche d'âge de 24-59 mois serait due au fait que ces enfants sont déjà sevrés dans la plupart des cas et s'alimentent sur le plat familial. Aussi, les enfants de cette tranche d'âge sont souvent laissés à d'autres enfants plus grands par leurs parents, ce qui fait qu'ils ne bénéficient plus d'une attention particulière en matière d'alimentation. Sur base de ces résultats, des interventions de lutte contre la malnutrition devraient être axées sur la promotion de la santé de l'enfant et la prévention de la malnutrition par l'amélioration de l'accès à l'eau potable, à l'assainissement de base et la sécurité alimentaire ainsi que la sensibilisation des mères aux soins nutritionnels aux enfants de moins de 5 ans. Les enfants de 2 ans et plus devront constituer une cible aussi prioritaire que les autres enfants moins âgés afin de lutter contre la survenue de la malnutrition, particulièrement pour ceux vivants dans les camps des déplacés.

Le sexe masculin a présenté une prévalence un peu plus élevée en ce qui concerne l'émaciation (4,1%) alors qu'elle était de 2,9% pour le sexe féminin. Il en est de même pour l'insuffisance pondérale qui est de 11,8% pour le sexe masculin et 9,6% pour le sexe féminin. Pour la malnutrition chronique, les prévalences sont très proches dans les deux sexes. Ces résultats rejoignent ceux trouvés par Bougma Sibiri au Burkina Faso qui ont montré une différence non significative de prévalence dans les deux sexes en ce qui concerne l'émaciation et l'insuffisance pondérale. Cependant, cette différence était significative en ce qui concerne la malnutrition chronique, avec le sexe masculin qui présentait une prévalence élevée [15].

En ce qui concerne les différents camps des déplacés, les prévalences de l'émaciation, de l'insuffisance pondérale et de la malnutrition chronique sont un peu plus élevées à Rusayo alors qu'elles sont les mêmes dans les camps de Bulengo et Lushagala. Il a été montré que la prévalence de la malnutrition peut varier d'un camp à l'autre. Cette situation du Nord-Kivu et particulièrement serait due au fait que les occupants des camps de Bulengo et Lushagala proviennent d'un même milieu, la zone de santé de Kirotshe, et présenteraient les mêmes caractéristiques. Cependant, les occupants de Rusayo proviennent de la partie rurale de la zone de santé de Nyiragongo, un milieu dont la situation socio-économique reste précaire. Ceci expliquerait la prévalence élevée de la malnutrition dans le camp de Rusayo comparativement aux autres camps.

5 LIMITES DE L'ETUDE

Cette étude présente certaines limites du fait de la non prise en compte de certaines interventions qui pourraient expliquer l'augmentation de la prévalence de la malnutrition dans les différents groupes d'âges. Il s'agit de l'allaitement maternel exclusif avant l'âge de 6 mois, la supplémentation en vitamine A à partir de 6 mois d'âge et le déparasitage des enfants au mebendazole pour les enfants ayant atteint l'âge de 12 mois et plus.

6 CONCLUSION

L'étude a révélé que l'état nutritionnel des enfants de étudiés est critique. De manière globale, la prévalence de l'émaciation, de l'insuffisance pondérale et de la malnutrition chronique est élevée comparativement à la population générale de la province. Il a été observé que de la malnutrition chronique présente un seuil très élevé conformément aux seuils d'alerte de l'OMS, tandis que l'insuffisance pondérale présente un seuil élevé alors que l'émaciation présente un seuil moyen. Parmi les enfants déplacés, la tranche d'âge de 24-59 mois était plus touchée par tous les types de malnutrition. Il est de même du sexe masculin pour ce qui est de l'émaciation et de l'insuffisance pondérale. Le camp de Rusayo était plus touché par l'insuffisance pondérale et le retard de croissance. Sur base de ces résultats, nous suggérons la mise en place des interventions focalisées sur les activités de promotion, de prévention chez la mère et chez l'enfant ainsi que celles visant l'amélioration de la sécurité alimentaire des ménages des personnes déplacés internes.

CONFLIT D'INTERET

« Les auteurs déclarent qu'ils n'ont pas de relation financière ni personnelle qui pouvait les avoir influencés de manière à entraîner un conflit d'intérêt ».

REFERENCES

- [1] Idowu SO, Akindolire AE, Adebayo BE, et al. Determinants of anthropometric characteristics of under-five children in internally displaced persons' camps in Abuja municipal area council, Abuja, Nigeria. *The Pan African Medical Journal*; 36. Epub ahead of print 20 August 2020. DOI: 10.11604/pamj.2020.36.313.21221.
- [2] UNHCR. What is a Refugee? Definition and meaning | USA for UNHCR, <https://www.unrefugees.org/refugee-facts/what-is-a-refugee/> (2023, accessed 13 January 2024).
- [3] Sankara S, Hama-Ba F, Kere IWZ, et al. Profil alimentaire des ménages de Personnes Déplacées Internes et hôtes dans trois (03) régions affectées par la crise sécuritaire au Burkina Faso : cas des régions du Centre-Nord, du Nord et de l'Est. *PAMJ - One Health*; 10. Epub ahead of print 28 April 2023. DOI: 10.11604/pamj-oh.2023.10.8.39076.
- [4] UNHCR. Global Report 2022. *Global Focus*, <https://reporting.unhcr.org/operational/operations/democratic-republic-congo> (2023, accessed 6 December 2023).
- [5] Kalid M, Osman F, Sulaiman M, et al. Infant and young child nutritional status and their caregivers' feeding knowledge and hygiene practices in internally displaced person camps, Somalia. *BMC Nutr* 2019; 5: 59.
- [6] Legason ID, Dricile R. Prevalence of acute malnutrition among children ages 6-59 months: Results from a baseline nutrition survey in North-Western Uganda. *Journal of Nutrition and Human Health*; 2. Epub ahead of print 2018. DOI: 10.35841/nutrition-human-health.2.1.7-12.
- [7] Choudhary P, Padhi BK, Mital AK, et al. Prevalence of stunting among under-five children in refugee and internally displaced communities: a systematic review and meta-analysis. *Front Public Health* 2023; 11: 1278343.
- [8] Bezatu Mengiste HK. Prevalence of Acute Malnutrition and its Associated Factors among Children aged 6-59 months in Mai-Aini Eritrean Refugees' Camp, Northern Ethiopia. *J Nutr Food Sci*; 05. Epub ahead of print 2014. DOI: 10.4172/2155-9600.1000336.
- [9] IDMC. Internal Displacement in Africa (2024). *IDMC - Internal Displacement Monitoring Centre*, <https://www.internal-displacement.org/regional-reports/internal-displacement-in-africa> (2024, accessed 25 December 2024).
- [10] Guerrier G, Zounoun M, Delarosa O, et al. Malnutrition and Mortality Patterns among Internally Displaced and Non-Displaced Population Living in a Camp, a Village or a Town in Eastern Chad. *PLoS ONE* 2009; 4: e8077.
- [11] UNHCR. Global Trends report 2023. *UNHCR*, <https://www.unhcr.org/global-trends-report-2023> (2024, accessed 25 December 2024).
- [12] World Health Organization, United Nations Children's Fund (UNICEF). Normes de croissance OMS et identification de la malnutrition aiguë sévère chez l'enfant : déclaration commune de l'Organisation mondiale de la Santé et du Fond des Nations Unies pour l'Enfance. 2009; 11.
- [13] Olwedo MA, Mworozzi E, Bachou H, et al. Factors associated with malnutrition among children in internally displaced person's camps, northern Uganda. *Afr Health Sci* 2008; 8: 244–252.
- [14] Akeh ML, Tendongfor N, Nchung AJ, et al. Magnitude and predictors of malnutrition among internally displaced persons' children 6 – 59 months in Bamenda Health District of Cameroon: A community-based cross-sectional study. *Nutr Health* 2022; 026010602211321.
- [15] Bougma S, Hama-Ba F, Garanet F, et al. Nutritional Status of Children under Five Years of Age among Internally Displaced Populations and Non-displaced in Burkina Faso. *JFNR* 2022; 10: 449–458.
- [16] Pronanut, PADISS. Enquêtes Nutritionnelles Zones de santé de Biena, Musienene, Manguredjipa, Masereka, Rutshuru, Kyondo, Karisimbi, Vuhovi, Goma: Rapport final. sn, Goma: Division Provinciale de la Santé du Nord-Kivu.

La digitalisation dans l'agriculture marocaine: Un levier pour allier performance économique et durabilité environnementale

[Digitalization in Moroccan agriculture: A lever to combine economic performance and environmental sustainability]

Maa Fettouma

Enseignante chercheuse, Le Laboratoire de Recherche en Management des Organisations, École supérieure de technologie de Casablanca, Université Hassan II, Casablanca, Morocco

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

ABSTRACT: Morocco's agricultural sector, which is essential to the economy, faces major challenges such as population growth and the effects of climate change. Digitalization is a promising solution to improve productivity, optimize yields, reduce environmental impact and better manage natural resources. By integrating technologies such as precision agriculture and smart irrigation, it becomes possible to maximize efficiency while reducing the ecological footprint. Training farmers in these digital tools plays a crucial role, improving the use of inputs and promoting more efficient water management. However, access to this training remains a significant barrier, especially for small farms, which often lack the resources to benefit from these innovations. This article aims to analyze how digitalization can reconcile economic performance and sustainability in the Moroccan agricultural sector, while identifying the levers to be activated to facilitate the adoption of these technologies.

KEYWORDS: agricultural sector, digital technologies, productivity, ecological footprint, training, Morocco.

RESUME: Le secteur agricole marocain, essentiel à l'économie, fait face à des défis majeurs tels que la croissance démographique et les effets du changement climatique. La digitalisation se présente comme une solution prometteuse pour améliorer la productivité, optimiser les rendements, réduire l'impact environnemental et mieux gérer les ressources naturelles. En intégrant des technologies telles que l'agriculture de précision et l'irrigation intelligente, il devient possible de maximiser l'efficacité tout en réduisant l'empreinte écologique. La formation des agriculteurs à ces outils numériques joue un rôle crucial, en améliorant l'utilisation des intrants et en favorisant une gestion plus efficace de l'eau. Toutefois, l'accès à cette formation demeure une barrière importante, en particulier pour les petites exploitations, qui manquent souvent des ressources nécessaires pour bénéficier de ces innovations. Cet article a pour objectif d'analyser comment la digitalisation peut concilier performance économique et durabilité dans le secteur agricole marocain, tout en identifiant les leviers à activer pour faciliter l'adoption de ces technologies.

MOTS-CLEFS: secteur agricole, technologies numériques, productivité, empreinte écologique, formation, Maroc.

1 INTRODUCTION

Le secteur agricole occupe une place stratégique dans l'économie marocaine, représentant environ 12% du PIB et employant près de 40% de la population active. Toutefois, il fait face à des défis croissants liés à la pression démographique, à la variabilité climatique et à une utilisation inefficace des ressources naturelles. Dans ce contexte, la digitalisation émerge

comme une solution prometteuse pour transformer le secteur agricole et relever ces défis tout en favorisant une agriculture plus productive, durable et inclusive.

La digitalisation, par le biais des technologies telles que l'agriculture de précision, les plateformes numériques de gestion des exploitations et l'utilisation de capteurs intelligents, permet d'optimiser les intrants agricoles, d'améliorer les rendements et de réduire l'impact environnemental des pratiques agricoles traditionnelles. Par ailleurs, ces technologies peuvent renforcer l'inclusion sociale en favorisant l'accès des petits exploitants et des agriculteurs ruraux aux outils innovants, aux financements et aux marchés.

Au Maroc, des initiatives telles que le Plan Maroc Vert et Génération Green 2020-2030 encouragent l'adoption des technologies numériques dans le secteur agricole, mais leur impact réel sur la performance économique, la durabilité environnementale et l'inclusion sociale reste encore peu exploré. Cette lacune dans la littérature justifie la nécessité d'étudier les effets concrets de la digitalisation agricole dans le contexte marocain.

Ainsi, cet article propose de répondre à la problématique suivante: **Dans quelle mesure la digitalisation du secteur agricole marocain peut-elle concilier performance économique et durabilité environnementale des exploitations agricoles ?**

Cette problématique engendre plusieurs questions cruciales qui requièrent une analyse détaillée, à savoir:

Question 1: Dans quelle mesure l'adoption de technologies numériques contribue-t-elle à l'amélioration des rendements agricoles, et quel impact cela a-t-il sur la rentabilité économique des exploitations agricoles au Maroc ?

Question 2: Comment l'adoption des technologies numériques dans le secteur agricole marocain permet-elle une gestion plus efficace des ressources naturelles, et quel effet cela a-t-il sur la réduction de l'empreinte écologique des exploitations agricoles ?

Question 3: En quoi la formation des agriculteurs à l'utilisation des technologies numériques influence-t-elle la compétitivité des exploitations agricoles ?

Pour y répondre, une analyse économique sera menée afin de quantifier les impacts des initiatives de digitalisation sur les principaux indicateurs de performance économique et durabilité. Cette étude vise non seulement à fournir des insights aux décideurs publics et aux acteurs du secteur agricole, mais également à enrichir la littérature scientifique sur la transformation numérique de l'agriculture au Maroc.

2 LA DIGITALISATION DU SECTEUR AGRICOLE

La digitalisation agricole désigne l'intégration des technologies numériques dans les pratiques et processus du secteur agricole afin d'en améliorer l'efficacité, la rentabilité et la durabilité. Comme le soulignent Wolfert et al. (2017), cette transition repose sur l'utilisation de dispositifs et outils technologiques permettant de collecter, d'analyser et d'interpréter des données, dans le but d'optimiser la gestion des exploitations agricoles et des ressources naturelles. Cette transformation numérique constitue une véritable révolution pour le secteur agricole, en réorientant les pratiques traditionnelles vers des systèmes plus modernes. Elle tire parti des avancées technologiques pour favoriser une gestion durable des ressources et renforcer la résilience face aux défis climatiques, économiques et sociaux

2.1 ÉVOLUTION DE L'AGRICULTURE NUMÉRIQUE AU MAROC

L'agriculture numérique s'impose progressivement comme une réponse incontournable aux défis mondiaux auxquels est confronté le secteur agricole, notamment l'augmentation de la demande alimentaire, les contraintes climatiques et la nécessité de préserver les ressources naturelles. À l'échelle mondiale, cette transformation repose sur l'intégration de technologies avancées telles que l'agriculture de précision, les capteurs connectés, les drones, les systèmes d'information géographique (SIG) et l'intelligence artificielle. Selon Liakos, K. G., et al (2018), ces innovations permettent non seulement d'optimiser la productivité agricole, mais également de réduire les coûts de production et les impacts environnementaux, notamment les émissions de gaz à effet de serre et la surexploitation des sols.

Au Maroc, bien que le secteur agricole représente une part significative du PIB et de l'emploi, l'adoption des technologies numériques reste à un stade émergent. La digitalisation agricole dans le pays a été amorcée grâce à des initiatives telles que le Plan Maroc Vert (2008-2020) et la nouvelle stratégie agricole Génération Green 2020-2030, qui visent à moderniser le secteur et à renforcer sa résilience face aux défis climatiques. Ces stratégies intègrent progressivement des outils numériques pour améliorer la gestion des ressources hydriques, optimiser les rendements et renforcer la compétitivité des exploitations agricoles.

Cependant, comme le soulignent Jabir, B., & Nouredine, F. (2020), l'intégration des technologies numériques au Maroc se heurte à plusieurs obstacles structurels. Parmi ces défis figurent l'insuffisance des infrastructures numériques, en particulier dans les zones rurales éloignées, et le faible niveau de formation des agriculteurs à l'utilisation de ces outils. Les petites exploitations agricoles, qui constituent la majorité du secteur au Maroc, manquent souvent des ressources financières et techniques nécessaires pour adopter pleinement ces innovations.

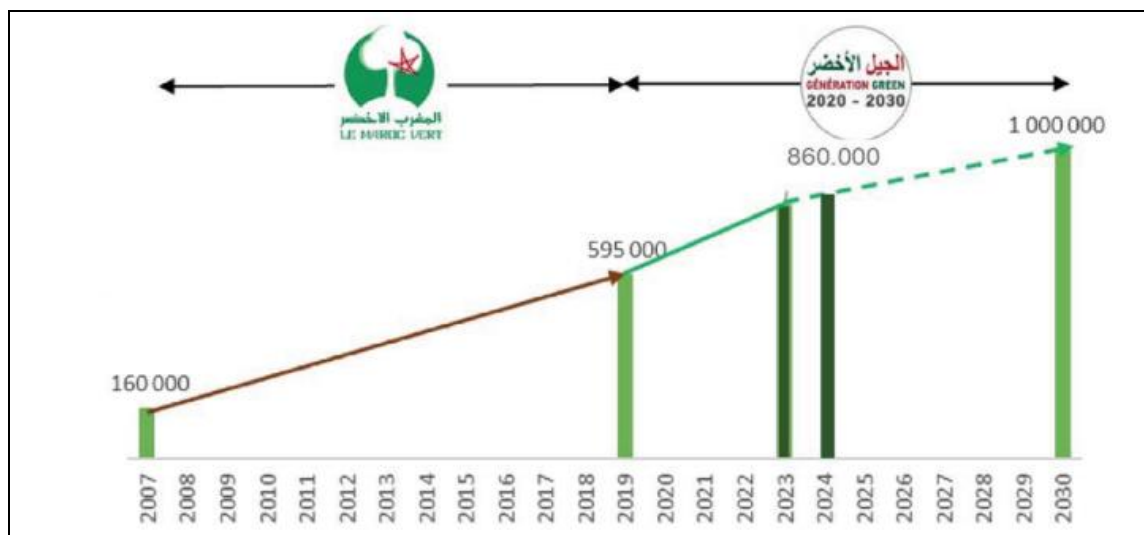


Fig. 1. Evolution des superficies équipées en irrigation localisée

Source: Ministère de l'Agriculture, de la pêche Maritime, du développement Rural et des Eaux et Forêts, (2024)

Malgré ces limites, des progrès sont observés grâce à des projets pilotes et des partenariats public-privé. Par exemple, des initiatives axées sur l'irrigation goutte-à-goutte connectée et la gestion intelligente des cultures ont permis d'améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau dans certaines régions. En outre, le développement de plateformes numériques pour la traçabilité des produits agricoles et l'accès aux marchés montre une volonté croissante de digitalisation, bien qu'elle reste inégale entre les différentes régions. Ainsi, l'agriculture numérique au Maroc, bien qu'encore en phase de transition, présente un potentiel significatif pour transformer le secteur agricole en renforçant sa durabilité et sa compétitivité. Une adoption plus large nécessitera néanmoins des investissements dans les infrastructures numériques, la formation des agriculteurs et des politiques publiques favorisant l'accès équitable à ces technologies.

2.2 TYPOLOGIE DE TECHNOLOGIES AGRICOLES ET LEURS APPLICATIONS

L'agriculture de précision, telle que définie par Bongiovanni et al. (2004), repose sur l'utilisation de technologies avancées pour collecter et analyser des données spécifiques sur des parcelles agricoles. Elle permet aux agriculteurs d'ajuster leurs pratiques de gestion des ressources de manière plus ciblée et optimale. Cette approche technologique, combinée à l'évolution des capteurs, des drones et de l'intelligence artificielle, a transformé les pratiques agricoles traditionnelles en solutions innovantes. L'agriculture de précision favorise une optimisation des intrants (engrais, pesticides, eau), tout en augmentant les rendements agricoles et en minimisant les impacts environnementaux, notamment la dégradation des sols et les émissions de gaz à effet de serre.

En ce qui concerne les Systèmes d'Information Géographique (SIG), ils jouent un rôle central dans cette transformation en permettant la collecte et l'analyse de données géospatiales, ce qui favorise une gestion des terres agricoles à la fois précise et durable. Raihan, A., et al. (2023) démontrent que les SIG facilitent une gestion plus efficace des ressources naturelles, notamment à travers une planification stratégique prenant en compte les caractéristiques physiques des sols, les ressources hydriques disponibles et les exigences spécifiques des cultures. En outre, ces systèmes améliorent la gestion de l'irrigation en identifiant les zones nécessitant un arrosage ciblé, ce qui permet de réduire la consommation d'eau tout en maintenant une productivité élevée.

Dans le même cadre, les plateformes numériques se révèlent indispensables pour la gestion intégrée des exploitations agricoles. Liakos, K. G., et al. (2018) soulignent que ces outils numériques, alimentés par des données en temps réel, offrent

aux agriculteurs des analyses approfondies sur la performance des parcelles. Ces plateformes ne se limitent pas à la production, mais intègrent également des fonctionnalités telles que la traçabilité des produits agricoles et l'accès à des informations actualisées sur les tendances du marché. En combinant ces outils à des solutions mobiles et à l'internet des objets (IoT), les agriculteurs sont désormais en mesure de prendre des décisions plus éclairées, renforçant ainsi la résilience de leurs exploitations face aux défis économiques et climatiques.

Enfin, l'analyse des données agricoles joue un rôle pivot dans l'optimisation des performances globales des exploitations. Selon Liu et al. (2020), l'intégration de modèles basés sur les données permet de prédire les rendements des cultures avec une précision accrue, d'identifier rapidement les maladies et les ravageurs, et d'améliorer les cycles de culture en fonction des conditions environnementales. Par ailleurs, l'utilisation des big data combinée à des modèles prédictifs facilite la gestion des risques climatiques. Par exemple, les systèmes d'irrigation intelligents, soutenus par des données en temps réel, réduisent non seulement la consommation d'eau, mais assurent également une gestion plus efficace des cultures en adaptant l'irrigation aux besoins spécifiques des plantes. Ces avancées montrent à quel point les technologies numériques et analytiques transforment l'agriculture en une activité plus durable et productive.

3 DIGITALISATION: CLE DE LA SURVIE DES EXPLOITATIONS AGRICOLES

La digitalisation agricole constitue un levier de modernisation pour les exploitations agricoles, leur permettant de concilier performance économique et respect de l'environnement. Elle représente une véritable révolution pour le secteur, en réorientant les pratiques traditionnelles vers des systèmes plus modernes et optimisés. En s'appuyant sur les avancées technologiques, elle favorise une gestion durable des ressources tout en renforçant la résilience face aux défis climatiques, économiques et sociaux.

3.1 LA PERFORMANCE ÉCONOMIQUE DANS LE SECTEUR AGRICOLE

La performance économique dans le secteur agricole se réfère à l'efficacité avec laquelle les exploitations agricoles génèrent des rendements et des revenus à partir des ressources disponibles. Selon Gollin (2014), la performance agricole peut être mesurée à travers des indicateurs tels que la productivité des terres, le rendement des cultures et les revenus nets des agriculteurs. Une augmentation de ces indicateurs témoigne d'une gestion efficace des ressources agricoles et de la capacité des exploitations à maximiser leurs profits.

Selon Liu, Y., et al. (2018), les technologies numériques offrent des solutions telles que les capteurs, les drones, et l'agriculture de précision, permettant une gestion fine et optimisée des intrants comme l'eau, les engrais et les produits phytosanitaires. Ces technologies permettent aux exploitants agricoles de surveiller et d'ajuster leurs pratiques agricoles en temps réel, augmentant ainsi la productivité tout en réduisant les gaspillages.

Dans le même cadre, l'usage des capteurs pour l'irrigation de précision illustre bien cet impact. Zhang et al. (2019) expliquent que l'irrigation de précision permet une gestion plus rationnelle de l'eau, une ressource essentielle mais souvent rare dans les régions arides comme le Maroc. Ces systèmes intelligents permettent de délivrer de l'eau précisément aux zones qui en ont besoin, évitant ainsi le gaspillage et réduisant les coûts tout en maintenant de bons rendements.

Également, l'introduction des drones dans l'agriculture permet un suivi en temps réel des cultures, ce qui permet une détection précoce des maladies, des stress hydriques ou des besoins spécifiques des plantes. Ce suivi précis permet aux agriculteurs de prendre des décisions basées sur des données tangibles plutôt que sur des conjectures, améliorant ainsi la rentabilité et la durabilité de leurs exploitations Zhang, C., et al. (2020).

À ce stade d'analyse, la digitalisation révolutionne la performance économique des exploitations agricoles en intégrant des technologies qui permettent une gestion plus précise des ressources, une augmentation des rendements et une réduction des coûts de production. Plusieurs facteurs influencent la performance agricole. D'une part, l'accès à des infrastructures essentielles, telles que l'eau pour l'irrigation et les systèmes de transport, est déterminant pour assurer une production agricole compétitive. D'autre part, la formation des agriculteurs et l'accès au financement jouent un rôle crucial dans l'amélioration de la performance globale du secteur. Dans ce cadre, Munyua, H. W., et al. (2023) soulignent que la disponibilité d'un financement approprié permet aux exploitants d'investir dans des technologies modernes et dans l'amélioration de leurs pratiques de gestion.

3.2 LA DURABILITE ENVIRONNEMENTALE DANS LE SECTEUR AGRICOLE

La durabilité environnementale dans le secteur agricole implique la gestion des ressources naturelles de manière à répondre aux besoins actuels sans compromettre les capacités des générations futures à satisfaire leurs propres besoins. Cela inclut la gestion de l'eau, des sols, la réduction des émissions de gaz à effet de serre, et la préservation de la biodiversité. Selon Pretty, J. (2017), les pratiques agricoles durables se concentrent sur la gestion de ces ressources de manière optimale pour éviter l'épuisement des sols et la pollution des nappes phréatiques.

L'agriculture de précision représente une réponse innovante aux défis environnementaux. Selon Tiwari, R., et al. (2018), cette technologie permet une gestion optimisée de l'irrigation, des engrais et des produits chimiques, en fonction des besoins spécifiques des cultures et des conditions du sol. Cela réduit les pertes d'eau, minimise l'usage des fertilisants et pesticides, et préserve ainsi l'environnement tout en maintenant des niveaux de production agricoles élevés. En ce qui concerne, l'usage des capteurs en temps réel pour suivre les niveaux d'humidité du sol et la météo permet aux exploitants de prendre des décisions informées sur l'irrigation, la fertilisation et le traitement des cultures, réduisant ainsi l'empreinte écologique de l'agriculture. Pazienza, P., et al. (2020), montrent que cette technologie est particulièrement efficace pour réduire la consommation d'eau et l'utilisation d'intrants chimiques, ce qui en fait un levier essentiel pour la durabilité environnementale des exploitations agricoles.

Malgré les avantages potentiels de la digitalisation pour la durabilité environnementale, plusieurs défis existent pour son adoption dans les zones rurales marocaines. Le manque d'infrastructures adéquates (telles que la connectivité Internet dans les zones reculées), le coût des technologies et le besoin en formation des agriculteurs sont des obstacles majeurs à l'intégration de ces technologies dans les pratiques agricoles quotidiennes Lionboui, H., et al. (2022). En effet, bien que les technologies numériques offrent un potentiel important pour améliorer la gestion durable des ressources agricoles, leur adoption reste limitée par l'infrastructure, la sensibilisation et la capacité des exploitants à investir dans ces technologies.

4 ÉTUDE EMPIRIQUE

Cette étude repose sur les réponses fournies par les agriculteurs interrogés dans la région de Fes-Meknès entre le 01/05/2024 et le 30/09/2024 à l'aide d'un questionnaire administré sur place.

- 45 agriculteurs exploitent des surfaces inférieures à 5 hectares (petites exploitations).
- 45 agriculteurs exploitent des surfaces supérieures à 5 hectares (moyennes et grandes exploitations).

Cela représente un total de 90 agriculteurs interrogés. Les agriculteurs contactés qui n'ont pas souhaité participer ou qui ont fourni des réponses incomplètes n'ont pas été intégrés dans l'analyse des résultats

4.1 CARACTÉRISTIQUES DES AGRICULTEURS INTERROGÉS

Pour bien présenter les caractéristiques des agriculteurs étudiés, il est indispensable de commencer par les classer en fonction de leur âge, niveau d'éducation et type d'exploitation agricole. Il est également essentiel de mettre en lumière leur mode de gestion (familial, coopératif ou commercial), ainsi que leur niveau d'adoption des outils numériques et leur accès aux ressources hydriques. Enfin, une attention particulière est accordée à leurs perceptions vis-à-vis de la digitalisation et de son impact sur la durabilité environnementale.

- Les agriculteurs de notre échantillon se répartissent en trois tranches d'âge: (25%) ont entre 18 et 30 ans, (50%) entre 31 et 50 ans, et (25%) ont plus de 50 ans.
- En termes de niveau d'éducation, (40%) n'ont pas dépassé le niveau primaire, (35%) ont un niveau secondaire, et (25%) disposent d'une formation supérieure ou technique
- Concernant les types d'exploitation, (40%) des agriculteurs pratiquent des cultures céréalières, (30%) sont engagés dans l'arboriculture (oliviers, agrumes, etc.), et (30%) se consacrent à l'élevage.
- Les modes de gestion sont majoritairement familiaux (65%), suivis des coopératives (20%) et des exploitations commerciales structurées (15%).

4.2 ANALYSE DES RÉSULTATS

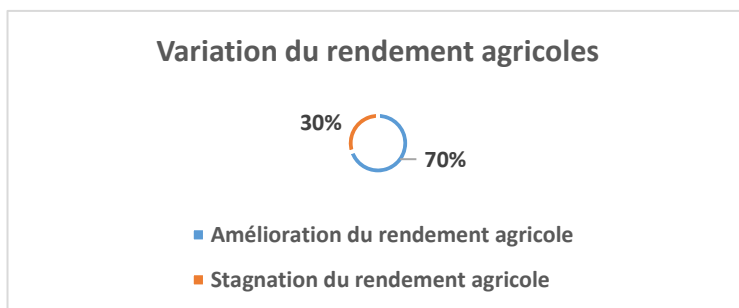
▪ Le Rendement Agricole

La croissance des rendements agricoles représente un indicateur clé pour évaluer l'impact des technologies numériques sur la productivité des exploitations agricoles. L'adoption de technologies innovantes telles que les capteurs intelligents, les

drones et les logiciels de gestion des cultures a permis une amélioration significative des rendements pour de nombreux agriculteurs. En moyenne, les exploitations utilisant ces outils ont observé une augmentation des rendements, mesurée en tonnes par hectare. Environ 70 % des agriculteurs ayant intégré ces technologies dans leurs pratiques ont rapporté des gains notables en termes de rendement. Ces résultats montrent le potentiel des technologies numériques pour transformer la production agricole et accroître l'efficacité.

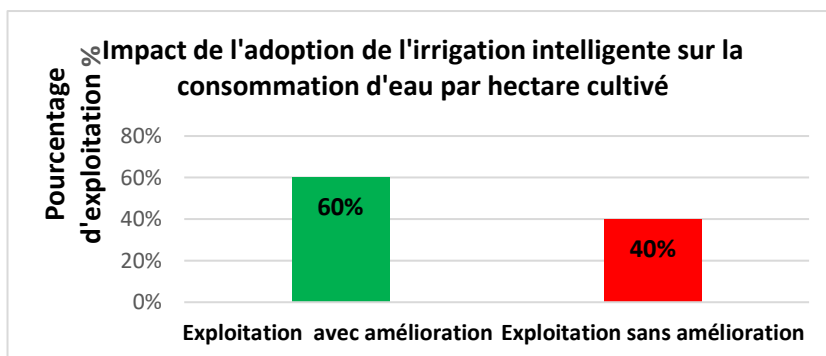
Cependant, il convient de noter que 30 % des agriculteurs n'ont pas constaté d'amélioration significative. Cette disparité peut être attribuée à plusieurs facteurs, dont l'absence d'une adoption adéquate des technologies, des obstacles liés à la formation, ou encore des contraintes spécifiques aux conditions locales. Les exploitations de petite taille sont particulièrement touchées par ces défis. En effet, elles rencontrent des difficultés accrues pour accéder à ces technologies en raison de ressources limitées, d'un manque de formation spécialisée et d'un soutien technique insuffisant. Ces exploitations, souvent caractérisées par un faible niveau de capital et une gestion plus fragile, sont moins à même de tirer pleinement parti des outils numériques.

Il est donc impératif que ces exploitations bénéficient d'un soutien renforcé, tant sur le plan financier que technique. Les institutions agricoles et les organismes publics jouent un rôle crucial dans cette dynamique en facilitant l'accès aux technologies, en proposant des programmes de formation adaptés et en offrant des aides financières. En parallèle, des efforts de sensibilisation à l'importance de la digitalisation doivent être entrepris pour montrer aux petits exploitants les bénéfices tangibles de l'adoption des technologies numériques.



▪ **La gestion des ressources naturelles**

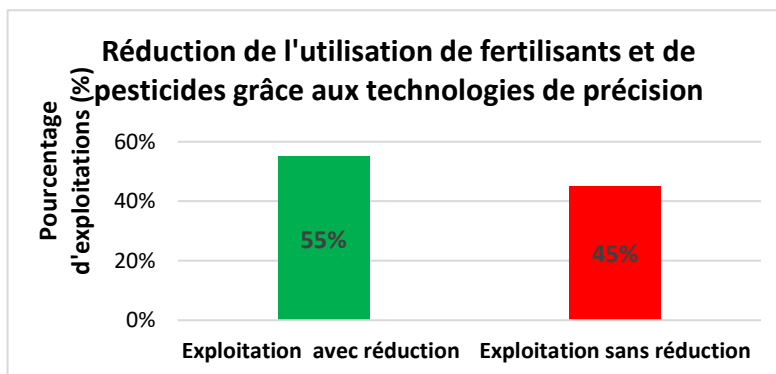
La gestion des ressources naturelles notamment de l'eau, est essentielle pour les exploitations agricoles, en particulier celles qui adoptent des technologies d'agriculture de précision. Environ 60 % des exploitations agricoles ayant intégré des technologies telles que l'irrigation intelligente et l'utilisation de capteurs pour la gestion des ressources en eau ont observé une réduction significative de leur consommation d'eau par hectare cultivé. Toutefois, 40 % des exploitations n'ont pas constaté d'amélioration notable. Ce sont principalement les petites exploitations qui rencontrent des difficultés d'adoption, en raison de l'accès limité aux technologies et du manque de formation spécialisée. Il est donc crucial que ces exploitations bénéficient d'un soutien technique et financier renforcé, ainsi que d'une meilleure sensibilisation aux avantages de l'agriculture de précision pour améliorer leur efficacité en matière de gestion des ressources en eau et, par conséquent, réduire leur empreinte écologique.



▪ **L'utilisation de fertilisants et de pesticides**

L'utilisation de fertilisants et de pesticides est un aspect important de la durabilité environnementale des exploitations agricoles. Les technologies d'agriculture de précision, telles que l'irrigation intelligente et les capteurs pour la gestion des ressources en eau, peuvent influencer directement la quantité de fertilisants et de pesticides utilisés. En optimisant l'irrigation

et en fournissant des données précises sur les besoins des cultures, ces technologies permettent aux exploitations de réduire l'utilisation excessive d'intrants chimiques en appliquant les fertilisants et pesticides de manière plus ciblée et efficace. Environ 55 % des exploitations ayant adopté ces technologies ont observé une réduction notable de l'utilisation de fertilisants et de pesticides par hectare cultivé. Cependant, 45 % des exploitations n'ont pas observé de changement significatif, souvent en raison de l'accès limité aux technologies ou d'un manque de formation. Il est donc essentiel que ces exploitations bénéficient de soutiens techniques et financiers renforcés, ainsi que d'une meilleure sensibilisation aux avantages de l'agriculture de précision, afin d'optimiser l'utilisation des fertilisants et des pesticides et de réduire leur empreinte écologique.



4.3 LIEN ENTRE LA FORMATION DES AGRICULTEURS ET LA PART DE MARCHÉ

La formation des agriculteurs à l'utilisation des technologies numériques représente un levier clé pour améliorer leur part de marché. À mesure que le secteur agricole se numérise, la maîtrise des outils numériques permet aux exploitants de mieux gérer leurs ressources, de réduire les coûts de production, d'optimiser l'utilisation de l'eau et des intrants, et de maximiser l'efficacité de leurs opérations.

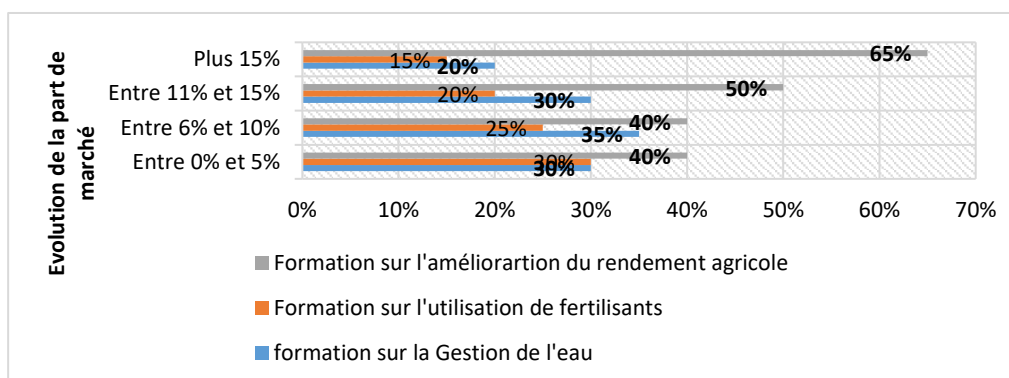


Fig. 2. Variation de la part de Marché en fonction des formations agricoles

Les résultats présentés montrent une variation des priorités de formation selon la part de marché des exploitants agricoles. Trois types de formations ont été étudiés: la gestion de l'eau, l'utilisation de fertilisants et l'amélioration du rendement agricole. L'analyse des pourcentages met en lumière une tendance croissante à privilégier les formations sur l'amélioration des rendements agricoles chez les exploitants ayant une part de marché plus élevée.

Les exploitants agricoles ayant une part de marché entre 0% et 5% adoptent une approche équilibrée dans leurs choix de formation, avec 30% d'entre eux s'orientant vers la gestion de l'eau et l'utilisation de fertilisants, tandis que 40% privilégient la formation sur l'amélioration du rendement agricole. Cette légère priorité accordée à l'amélioration des rendements traduit leur volonté de compenser leur position limitée sur le marché.

Pour les exploitants agricoles ayant une part de marché entre 6% et 10%, la gestion de l'eau devient une priorité avec 35%, traduisant une attention accrue à l'efficacité hydrique face aux contraintes climatiques et économiques. La formation sur l'utilisation de fertilisants diminue à 25%, tandis que la formation sur l'amélioration du rendement agricole reste stable à 40%, confirmant son rôle central dans leur stratégie de compétitivité. L'optimisation des ressources hydriques apparaît ainsi comme un levier essentiel pour améliorer les performances tout en maîtrisant les coûts.

Pour les exploitants agricoles ayant une part de marché entre 11% et 15%, la formation sur l'amélioration du rendement agricole atteint 50%, en faisant une priorité claire pour cette catégorie. En parallèle, les formations sur la gestion de l'eau et l'utilisation de fertilisants diminuent respectivement à 30% et 20%, marquant un recentrage stratégique sur la productivité. Cette orientation traduit la volonté de ces exploitants de consolider leur position concurrentielle en maximisant les rendements agricoles, un facteur clé pour maintenir leur croissance. Bien que les enjeux liés à l'eau et aux fertilisants restent présents, ils deviennent secondaires face à la nécessité d'augmenter la production.

Enfin, pour les exploitants agricoles ayant une part de marché supérieure à 15%, la formation sur l'amélioration du rendement agricole domine largement avec 65%, tandis que les formations sur la gestion de l'eau et l'utilisation de fertilisants chutent respectivement à 20% et 15%. Ce choix stratégique témoigne d'une volonté d'augmenter la production.

5 CONCLUSION

La formation des agriculteurs à l'utilisation des technologies numériques ne se limite pas uniquement à l'amélioration des rendements, elle a également un impact significatif sur la gestion des ressources naturelles, notamment l'eau, ainsi que sur l'utilisation des intrants tels que les fertilisants et les pesticides. L'adoption de l'irrigation intelligente et de logiciels de gestion des cultures permet de réguler l'irrigation en fonction de la quantité d'eau présente dans le sol et des prévisions météorologiques, évitant ainsi le gaspillage d'eau. En formant les agriculteurs à l'utilisation de ces outils, ils peuvent ajuster les cycles d'irrigation pour les rendre plus adaptés à chaque culture et à chaque phase de croissance. De plus, les logiciels de gestion des cultures fournissent des données précises qui permettent une application ciblée des fertilisants et des pesticides, réduisant ainsi leur utilisation par hectare.

Cependant, l'accès à la formation reste une barrière importante, surtout pour les petites exploitations. L'absence de ressources financières et la difficulté d'accès aux formations spécialisées freinent l'adoption des technologies numériques. Pour répondre à ces défis, il est essentiel que les politiques publiques et les initiatives privées se concentrent sur l'élargissement de l'accès à des programmes de formation adaptés, en particulier pour les petites exploitations rurales. Des partenariats avec des institutions éducatives, des associations agricoles et des entreprises de technologie peuvent également faciliter la diffusion de la formation aux technologies numériques, contribuant ainsi à l'amélioration de la productivité agricole et à la compétitivité des exploitations agricoles.

Cette étude présente plusieurs limites. Premièrement, l'évaluation de l'impact des formations sur l'adoption des technologies numériques repose sur la disponibilité des données recueillies spécifiquement dans la région Fès-Meknès, ce qui peut limiter la généralisation des résultats à d'autres zones. Deuxièmement, les effets à long terme de ces formations sur la durabilité des exploitations agricoles n'ont pas pu être mesurés dans cette étude, nécessitant des recherches supplémentaires pour évaluer leur impact à plus long terme.

REFERENCES

- [1] R. Bongiovanni and J. Lowenberg-Deboer, «Precision agriculture and sustainability,» *Precision Agriculture*, vol. 5, no. 4, pp. 389–406, 2004.
- [2] D. Gollin, «Agricultural productivity differences across countries,» *American Economic Review*, vol. 104, no. 5, pp. 165–170, 2014.
- [3] B. Jabir and F. Nouredine, «Digital agriculture in Morocco, opportunities and challenges,» *EFITA 2019 Proceedings*, 2020.
- [4] K. G. Liakos, et al., «Machine learning in agriculture: A review,» *Biosystems Engineering*, vol. 164, pp. 105–120, 2018.
- [5] K. G. Liakos, et al., «Machine learning in agriculture: A review,» *Sensors*, vol. 18, no. 8, pp. 2674, 2018.
- [6] H. Lionboui, et al., «Digitalization and agricultural development: Evidence from Morocco,» *Food Security and Climate-Smart Food Systems*, pp. 321–338, 2022.
- [7] W. Liu, et al., «Big data applications in agriculture: Current status and future perspectives,» *Agricultural Systems*, vol. 182, pp. 102839, 2020.
- [8] Y. Liu, et al., «Smart agriculture: Applications of drones and IoT technologies in agriculture,» *Agricultural Systems*, vol. 163, pp. 1–9, 2018.
- [9] H. W. Munyua, et al., «Digital technologies adoption and economic benefits in agriculture,» *Sustainability*, vol. 16, no. 11, pp. 4431, 2023.
- [10] P. Paziienza, et al., «Agricultural precision technologies and sustainable development,» in *Sustainable Agriculture Reviews*, Springer, pp. 159–186, 2020.
- [11] J. Pretty, «The sustainable intensification of agriculture: An overview,» *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 225, pp. 1–14, 2017.

- [12] A. Raihan, et al., «A systematic review of geographic information systems (GIS) in agriculture for evidence-based decision making and sustainability,» *Global Sustainability Research*, vol. 3, no. 1, pp. 1–24, 2023.
- [13] R. Tiwari, M. K. Tiwari, and P. Soni, «Impact of big data analytics in agriculture: A review,» *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, vol. 9, no. 3, pp. 1–6, 2018.
- [14] S. Wolfert, et al., «Big data in smart farming – A review,» *Agricultural Systems*, vol. 153, pp. 69–80, 2017.
- [15] C. Zhang, et al., «Application of drone-based technologies for precision agriculture: A review,» *Field Crops Research*, vol. 248, pp. 107–119, 2020.
- [16] H. Zhang, et al., «Internet of Things (IoT) applications in agriculture: A survey,» *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 156, pp. 30–39, 2019.

