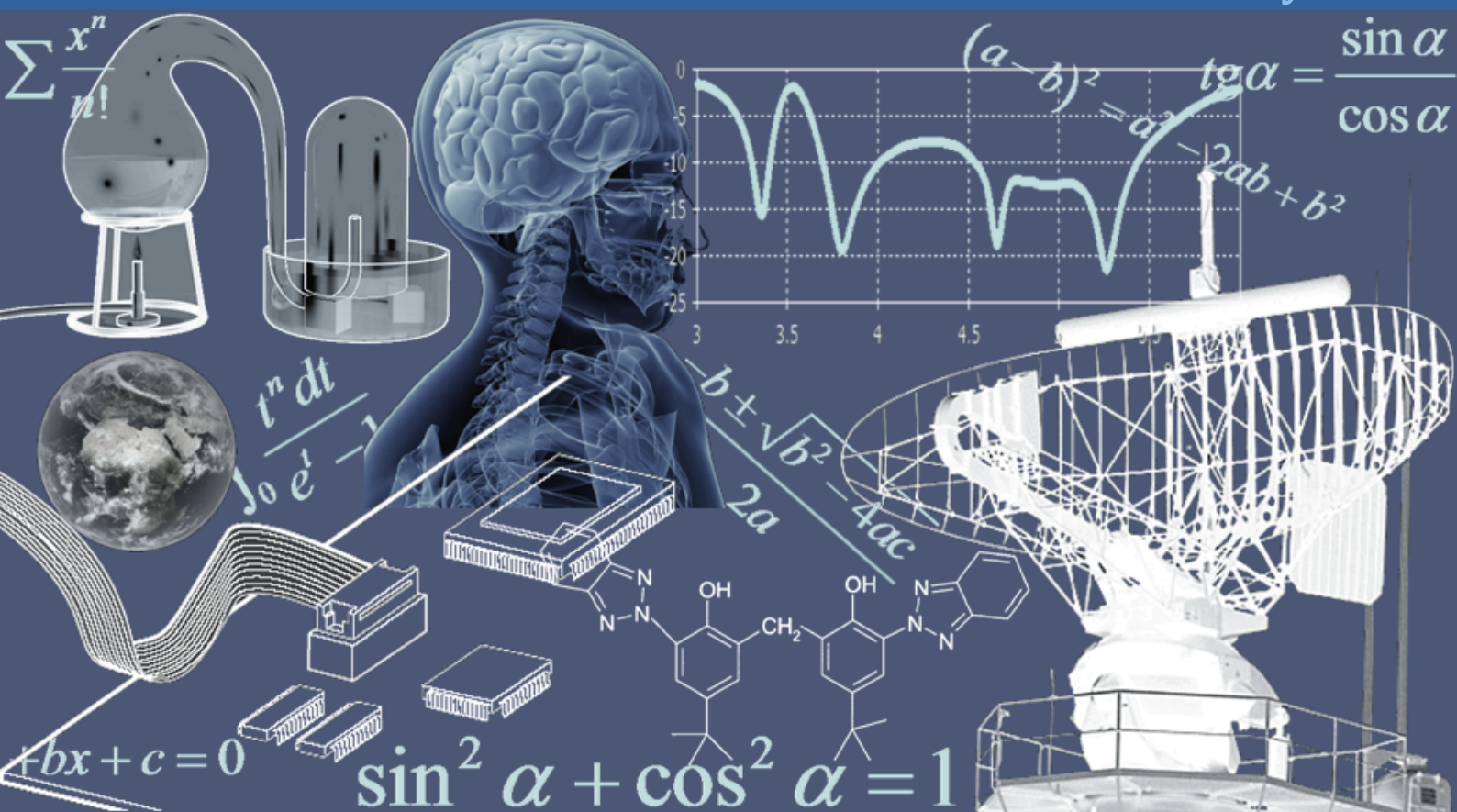


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 47 N. 4 February 2026



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

Ethnobotanical survey of wild food plants sold in the main markets of Bangui in the Central African Republic <i>WOROWOUNGA Xavier, MADIPEVO Stéphane Nazaire, Ndotar Michel, Mandago Jean Bedel, and SYMBOLI Olivia</i>	392-412
Influence des écorces des racines du Manioc (<i>Manihot esculenta</i> Crantz) sur le rendement économique <i>Bondonga Mambomba Hervé</i>	413-422
Diagnostic Qualitatif et Optimisation du système d’Alimentation en Eau Potable d’Amtiman, Province du Salamat au Tchad <i>Epolyste Adjeffa and Kaziri Adeline</i>	423-438
Gender Dynamics in Sports Governance: A Comparative Study of Volleyball and Rugby Federations in Senegal <i>Seye Amadou Anna, Ousmane Ba, and Dieng Omar</i>	439-444
Comparaison de la valeur agronomique du compost d’écumes, des cendres de boues de vidange et de l’engrais NPK sur le chou (<i>Brassica oleracea</i>) dans la zone de Sangalkam au Sénégal <i>El Hadji Mamadou SONKO, Seynabou Zeina Badji, Arfang Mafoudji SONKO, Maimouna LO, Saliou NDIAYE, and Cheikh DIOP</i>	445-458
Difficultés de compréhension de la dynamique des chromosomes chez les apprenants du cycle qualifiant et réflexion sur des solutions pédagogiques <i>Hicham Boumajane and Wissal Iraqi-Houssaini</i>	459-466
Évaluation des teneurs en alumine et en silice de la bauxite de Sangarédi et leur impact sur la qualité des produits destinés à l’export, République de Guinée <i>Ibrahima Kalil Kourouma, Alain Gbilimou, Soriba Bangoura, and Oumou Hawa Bah</i>	467-479
Étude de l’aptitude des eaux souterraines de Touba à l’irrigation <i>Ibra Kandji, Papa Babacar Diop Thioune, and Mouhamadou Masseck Fall</i>	480-489
Le budget participatif à l’épreuve des espoirs et des incertitudes de la participation dans la municipalité de Parakou <i>Rodrique Sèdjrofidé Montcho</i>	490-497
Risque et demande d’assurance par les hôtels à Goma <i>Jean Paul HABINAMWISHO LUSHEKE, Paul Senzira Nahayo, and Emmanuel Hamuli Mpangirwa</i>	498-507
Valorisation des coproduits de niébé (<i>Vigna unguiculata</i>) dans la ration alimentaire des moutons du Sahel: Cas des fanes et cosses <i>Ousseini Mahaman Malam Mouctari, Moustapha ISSOUMANE SITOU, Saidou Touré Ousseina, Abdou Ide Boubacar, and Mahamadou CHAIBOU</i>	508-517
Le pilotage de la performance globale par les systèmes de contrôle de gestion dans les grandes entreprises marocaines: Cas de la région Béni Mellal-Khénifra <i>Abdel-Ylah AMAZZAL and Mustapha BOUMESKA</i>	518-529
Evaluation of the antioxidant, hypoglycemic, and anti-hyperglycemic potential of a fermented drink made from tamarind, ginger, and turmeric in rabbits <i>Anoh E. Raïssa Inès Stéphanie, Agbo Adouko Edith, Konan Kouassi Pierre Alain, Gboqbo Moussa, and Kouakou BROU</i>	530-539
Apport de la lithostratigraphie dans la mise en évidence du contact anormal entre le socle et le bassin sédimentaire ivoirien dans la région d’Alepe (Côte d’Ivoire) <i>Kouao Assiè François, Ouattara Ismaël Ben, and Kra Akoua Clarisse</i>	540-551
Déterminants de l’adoption de l’outil informatique de contrôle de gestion au sein des petites et moyennes entreprises de la ville de Beni <i>Mumbere Sihingirwa Clovis, MATATA MAKALAMBA Patrick, and Kimbuani Mabella Gaston</i>	552-561
Assessment of production, hygiene practices, and consumption of fortified infant flour in the Sahel of Niger <i>Ismaël Mamane Laouali Oumarou, Halima Oumarou Diadie, Amadou Issoufou, Roukaya Abdou Souley, and Balla Abdourahamane</i>	562-572
Effet des adventices sur la qualité, la productivité d’un pâturage artificiel de <i>Panicum maximum</i> C1 (jacques, 1786) et la composition du régime alimentaire des bovins <i>F. P. Koutouan, Kouadja Gouagoua Severin, and G. A. Kone</i>	573-580
Effet de la densité de semis sur la rosette d’arachide (<i>Arachis hypogaea</i> L.) dans les conditions agro-	581-590

écologiques de la ville de Kenge en République Démocratique du Congo (RDC)

Blanchard Tebo Kulapa, Adrien Ndonga Malonda, Ruffin Nsielolo Kitoko, Augustin NGOMBO NZOKWANI, Gaétan KALALA BOLOKANGO, and Marcel MUENGULA MANYI

Characterization of Moringa (*Moringa oleifera* L.) farms in the urban community of Agadez 591-598

Mahamadou Moussa Dit Kalamou, Assoumane Boubacar Gouzae, Soumana Boubacar, and Maharazu Yusuf

Évaluation des caractéristiques chimiques des sols et quantification du carbone organique pour une gestion écologique et durable des écosystèmes dans les Provinces du Guéra, Batha et Hadjer Lamis au Tchad 599-608

Gaiwa Daakreo, Mbaï-Asbe Bétoubam, and Azoutane Julien

Deflection of greenhouse truss using finite element 609-617

Konan Eric Konan, Aka Stéphane Koffi, and Kouadio Michel Kouame

Séroprévalence des auto-anticorps associés aux hépatopathies auto-immunes chez les patients préalablement exposés au VHB et au VIH 618-623

Bouheria Lamiaa, Lamghari Hassan, Drissi Bourhanbour Asma, and Jalila El Bakkouri

Perceptions paysannes et adoptabilité agroécologique de deux cultures fourragères au Niger: Cas du Pennisetum purpureum et du Dolichos lablab 624-633

Soumaila Koure Abdoul Aziz, Djibo Idrissa Sidikou, Mamman Mani, and Akourki Adamou

Composition chimique, activités antioxydante et antibactérienne de l'huile essentielle d'*Hyptis spicigera* Lam. du NIGER 634-643

Bala Namata Abba, Amadou Tidjani Ilagouma, Mouhamadou Mounkaila Boureima, and Abderrahmane Romane

Regards croisés des acteurs scolaires sur l'efficacité et les limites de la politique des « caisses écoles » à Madagascar 644-654

Kamel Arêo GARBA, Nathaniel FOCKSIA DOCKSOU, and Rasmané ZALLE

Contribution to the development of a modular approach to the cross-disciplinary integration of environmental skills training modules in initial training at secondary school level and in higher education 655-660

Ahodegnon Zéphyrin Magloire Dognon

Variations spatio-saisonniers des paramètres physico-chimiques dans les eaux du lac de barrage KAN (Bouaké, Côte d'Ivoire) 661-670

Sékou Coulibaly, Soro Tieligounon Ali, Morgan Paul Magouana Anvo, Siaka Ouattara, and KOUASSI N'Gouan Cyrille

Caractérisation des espaces verts de deux villes en pleine expansion de la Côte d'Ivoire: Cas des villes de Daloa et Bouaflé (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire) 671-680

Kanga Justin KOUASSI, Kossonou Affia Sonmia Francia, Yao Bertin KOUAKOU, and Kouadio Henri KOUASSI

Performances agronomiques comparées des bio-phospho-composts sur la croissance et le rendement du riz (*Oryza sativa* L.) et du maïs (*Zea mays* L.) dans l'ouest de la Côte d'Ivoire 681-699

Boueunan Wongbe Beralex, Affi Jeanne Bonqoua-Devisme, Faustin Odi AKOTTO, and Lemonou Franck Michaël Bahan

Pensée politique du président John Pombe Magufuli: Entre populisme et panafricanisme ? 700-712

Adolphe AMANI BYENDA, Pacifique MAKUTA MWAMBUSA, and Germain NGOIE TSHIBAMBE

Relation Longueur-Masse et Facteur de Condition du killie *Epiplatys chaperi sheljuzhkoii* Poll, 1953 dans la Rivière Banco (Côte d'Ivoire) 713-722

Quanko Affoué Danielle Kouamé, Gogbé Zeré Marius, Motchié Fato Edouard, KAMELAN Tanoh Marius, and Gooré Bi Gnamien Willy Taunini

Assessing the invasive potential of *Azadirachta indica* and its effects on biodiversity in Delta of Saloum National Park, Senegal (West Africa) 723-732

Fatimata Niang, Mariama Diop, Fatou Anta Fall, Mariama Cissé, Fatoumata Diop, Hadji Abou Diallo, and Abdoulaye Samb

Les Défis majeurs liés aux Dirigeants des écoles à l'intégration des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) dans les écoles secondaires en milieu rural de Territoire de Tshilenge (RDC) 733-742

Bertrand Mulumba Kayembe, Sammy Muya Mulumba, Tshilongo Mbemba Betsaleel, Tshilumba Mpanza Jean Claude, Eddy Mpyoi Kanyinda, and Kibambe Maole Louis

Ethnobotanical survey of wild food plants sold in the main markets of Bangui in the Central African Republic

WOROWOUNGA Xavier¹, MADIPEVO Stéphane Nazaire², NDOTAR Michel³, MANDAGO Jean Bede³, and SYMBOLI Olivia¹

¹Laboratory of Analysis, Architecture and Reactivity of Natural Substances (LAARSN), Central African Republic

²Faculty of Sciences, University of Bangui, BP 908, Central African Republic

³Ecole Normale Supérieure, Central African Republic

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

ABSTRACT: The objective of this study is to understand the diversity of edible wild species sold on the markets of Bangui. To do this, ethnobotanical surveys on the marketing of these resources were carried out from September to December 2023 with 150 sellers installed in six popular markets in Bangui. In total, 86 plant species have been recorded distributed in 69 genera and 41 different families. The analysis of the results showed that the Leguminosae family is the richest (8 species); fruits (68.43%) and leaves (22.12%) are the most sold plant organs; edible fruits (45.16%) remain the most predominant category of uses; these species are mainly trees (55.83%) and are more present in forest ecosystems (52.33%). It also appears that these wild food plants were not only consumed for nutritional needs but also for the traditional treatment of 45 pathologies. These results demonstrate that there is still a high diversity of spontaneous food species in the Central African Republic. Given the dual nutritional and therapeutic interest of these resources, and also in the face of socio-economic issues and the change in food culture in urban areas, the promotion of this precious heritage is necessary and essential. Such an approach would be an opportunity both economically and nutritionally for local populations, particularly women. Also, it would be beneficial to deepen research on the phytochemistry of some spontaneous food plants with medicinal properties in order to achieve the manufacture of improved traditional medicines accessible to all.

KEYWORDS: ethnobotany, wild edible plants, marketing, Central African Republic.

1 INTRODUCTION

Wild plants have since ancient times, played a very important role in human life. they have been used for food, medicines, fiber and other purposes. In Africa in general and in the Central African Republic in particular, wild plants play a vital role in the lives of human beings, occupying a prominent place in the diet and medicine of rural populations [1]. Edible wild plants play a critical role in ensuring food and livelihood security for countless families and communities around the world [2], [3]. All of these biological resources are designated under the generic name of "Non-Wood Forest Products (NTFP) food of plant origin", harvested in the wild in various ecosystems. Many of them are successfully marketed locally, sub-regionally, regionally and even internationally. The different organs of these species (fruits, leaves, bark, stems, roots, tubers) are generally eaten raw. Some are cooked or used as condiments in the preparation of various sauces before being eaten. Wild plants in general contain vitamins, minerals, and iron but also other nutrients essential for health. In addition, they contain organic acid, carbohydrates, proteins and fiber [4], [5], [6], [7]. The most beneficial potential of wild edible plants is their nutritional and therapeutic properties. In the Central African Republic, particularly in Bangui, a diversity of wild plants is consumed and sold in urban markets. The urban population uses these plant genetic resources to diversify their diet and meet their health needs. Some of them, little known, are of great socio-cultural and socio-economic importance. In recent years, we have witnessed a renewed interest in these native species due to their contribution to food security, the household economy and the maintenance of the balance of biological diversity. However, little work has been carried out on their dual nutritional and medical interest even though better knowledge of their diversity, their plant organs used and their socio-cultural considerations is essential for a possible more effective valorization. It is within this framework that this work falls, the overall objective of which is to inventory wild food plants sold and consumed by the population of Bangui. More specifically, it was a question of determining their local taxonomy, their different

uses, the different types of habitat in which they are often harvested and then their characteristics. This article contributes to expanding knowledge on the diversity of wild food plants in the scientific field.

2 METHODOLOGY

2.1 PRESENTATION OF THE STUDY SITE

The study was carried out in the city of Bangui. The study area extends between 4020' and 4025' North latitude and 18030' and 18040'. It covers an area of 80 km². The city of Bangui has around 300,000 inhabitants. All ethnic groups are present there but the indigenous ethnic groups are Bantus. Alongside this ethnic diversity are the Muslim community and expatriate foreigners living in this city. The climate is equatorial, characterized by the alternation of two seasons (dry and rainy) distributed equally over six months each. Precipitation is quite abundant with an annual average of 1800 mm. The annual average temperature is 23.8°C. The relief is made up of hills and undulating plains with an altitude of 800 meters. The soil is of the moderately denatured ferrallitic type, red sometimes beige. The Bangui city forest is located on a steep slope of Gbazzabangui hill where the altitude is 580 m. The Bangui region is part of the northern zone of the Congolese Guinea forest as a dense humid, semi-evergreen forest with Malvales and Ulmaceae (Celtidaceae).

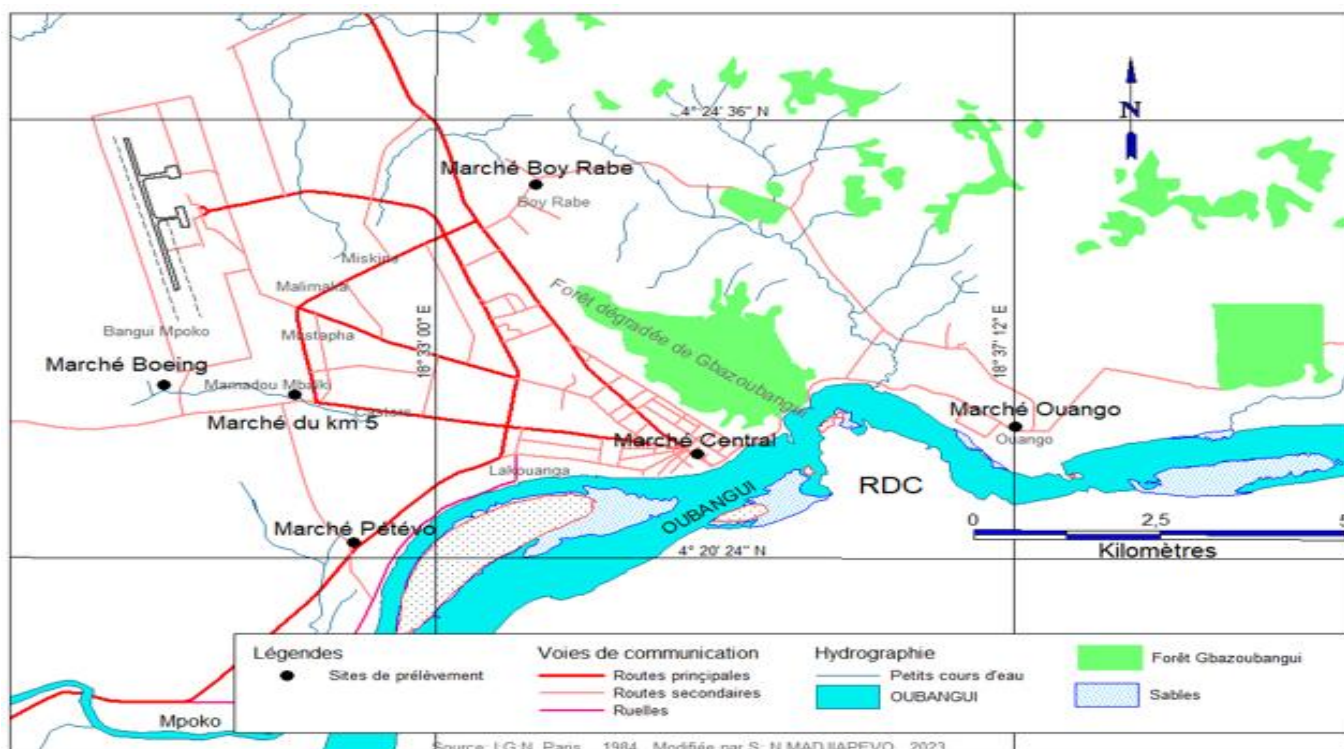


Fig. 1. Location of the main markets surveyed

2.2 TECHNICAL EQUIPMENT

This is a set of classic collection and measurement tools, namely survey sheets for interviews, plastic bags for collecting samples, cameras and for locating geographical positions (GPS), cardboard index cards, old newspapers for making herbaria.

2.3 BIOLOGICAL MATERIAL

It is made up of wild plants used for food sold on the markets of Bangui. In the context of this work, food plants refer to edible plant parts such as "fruits, leaves, stems, bark, roots, tubers", harvested in the wild and sold at home. Raw state or in transformed form. The method used was "the participatory ethnobotanical survey method" using the essential tool dialogue in the local language (sango) [8].

The survey was carried out from September to December 2023 among 150 PSA sellers installed in front of their informal stalls in Bangui markets. This made it possible on the one hand to inventory all the wild plants sold, and on the other hand to collect as much information as possible on their characteristics. The main markets visited are: Km5, Boing, Pétévo, Boy-rabe, Central and Ouango. These markets were selected as locations for investigation based on the economic importance and the abundant sale of wild edible plants. In addition, they are particularly very attractive, which makes them the most popular markets in Bangui where most urban households buy

their supplies. For each plant organ encountered, the vernacular name of the species, the different uses, the harvesting locations, availability, the market on which the organ is sold, the sample and the nature of the product concerned were mentioned. In total, 25 sellers per market were interviewed, i.e. a total of 150 people interviewed for the six markets surveyed.

However, it is important to specify that women were the most solicited during all these surveys because they have knowledge and a special interest in the management of natural resources in terms of food security and marketing. After each field mission, the samples of the organs found were packaged in plastic bags and deposited at the Laboratory of the Ecole Normale Supérieure of the University of Bangui. Photographs of the organs sold were also taken in the markets surveyed in order to assist the botanical identification work. In this same Laboratory, taxonomic identification took place through the spontaneous recognition of species and sometimes by comparison with specimens already described in botanical works [9], [10], [11].

2.4 ANALYSIS METHODS

1ST SPECIES INVENTORIED

The information collected in the field made it possible to draw up a list of wild species whose organs are edible. These species have been categorized according to botanical families, different types of use, places of harvest, periods of availability. Their characteristics were also taken into consideration in this study, to highlight the nature of sale and the status to which they belong. The presence of these plants according to the markets surveyed was also made in order to highlight common species and identify particularities. All of this data was interpreted and discussed and then avenues for valorizing these plant genetic resources were identified.

2ND DATA PROCESSING

The data collected in the field were first entered and analyzed using Excel 2010 software. The results were discussed by highlighting the dual interest of PSAs for the population of Bangui in terms of food security and health and then their characteristics.

3 RESULTS

3.1 PROFILE OF RESPONDENTS

This study was carried out among 150 PSA traders located in six popular markets in Bangui. Figure 2 summarizes the data on the profile of the respondents. Figure 2A gives the distribution of respondents by gender. It appears from this figure that women were in the majority (83.33%) compared to 16.67% for men.

Figure 2B gives the distribution of respondents according to age. This figure shows the age groups from 18 to 50 years at most with the predominance among people aged 31 - 50 years (68.67) followed respectively by people aged 18 - 30 years (18.67%) and finally 50 years at most (12.66%). Figure 2C gives the distribution of respondents according to level of education. As we can observe in this figure, the majority of PSA traders have a level of secondary education (50.67%) followed respectively by those with a level of primary education (27.33%), university (14.00 %) and finally those not in school (6%). Figure 2D gives the distribution of respondents according to their experiences in the NTFP sector. Looking at Figure 2D, it appears that respondents with experience of 2 to 10 years represent 43.33% followed respectively by those with experience of 15 to 20 years (20.67%); 11 to 14 years old (16.67%); 21 to 30 years old (12.67%); and finally those with experience of more than 31 years represent 6.66%.

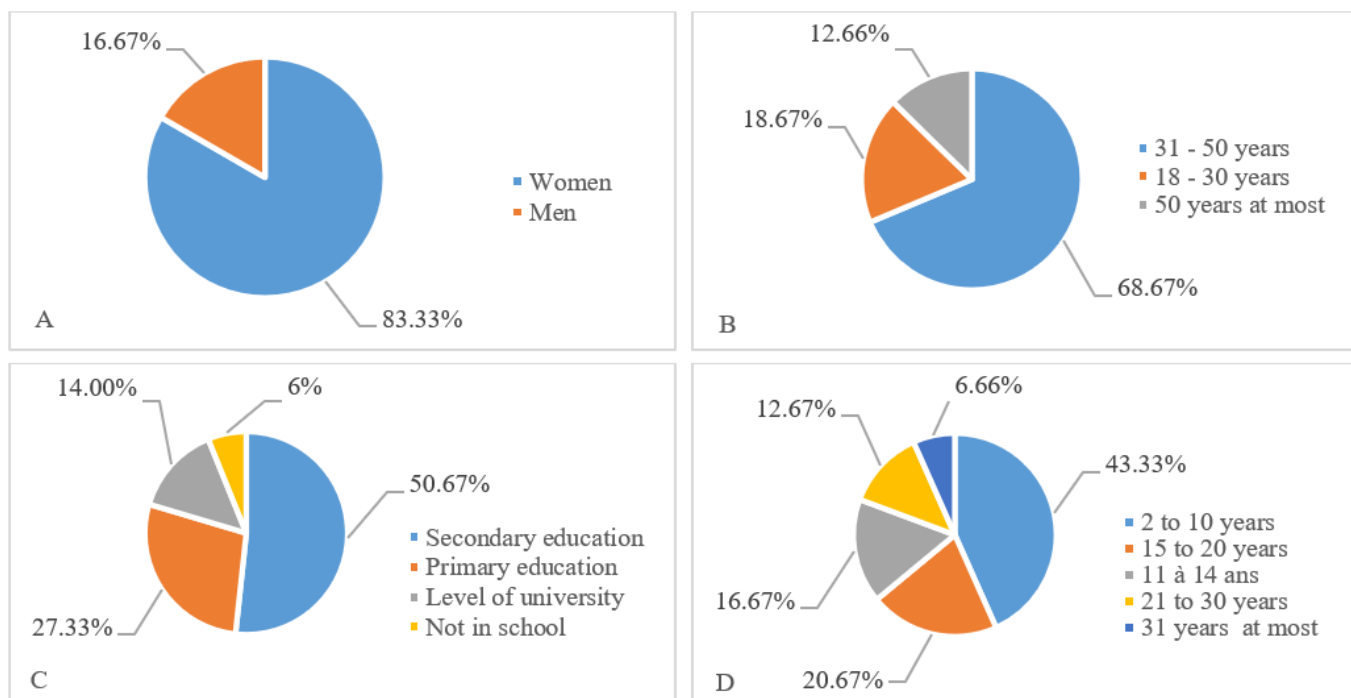


Fig. 2. Distribution of respondents according to: (A) gender, (B) age, (C) level of education, (D) experience in the NTFP sector

3.2 FORIST DIVERSITY

In total, 86 species have been inventoried, distributed in 69 genera and 41 different families. Among these species, 85 have been determined at the specific level, 01 at the generic level. Hence there is an abundance and high diversity of PSA sold in the markets of Bangui. This list is obviously not complete, but nevertheless contributes to increasing knowledge on the diversity of wild food plants in the Central African Republic. The following figure 3 shows the specific diversity of the botanical families identified.

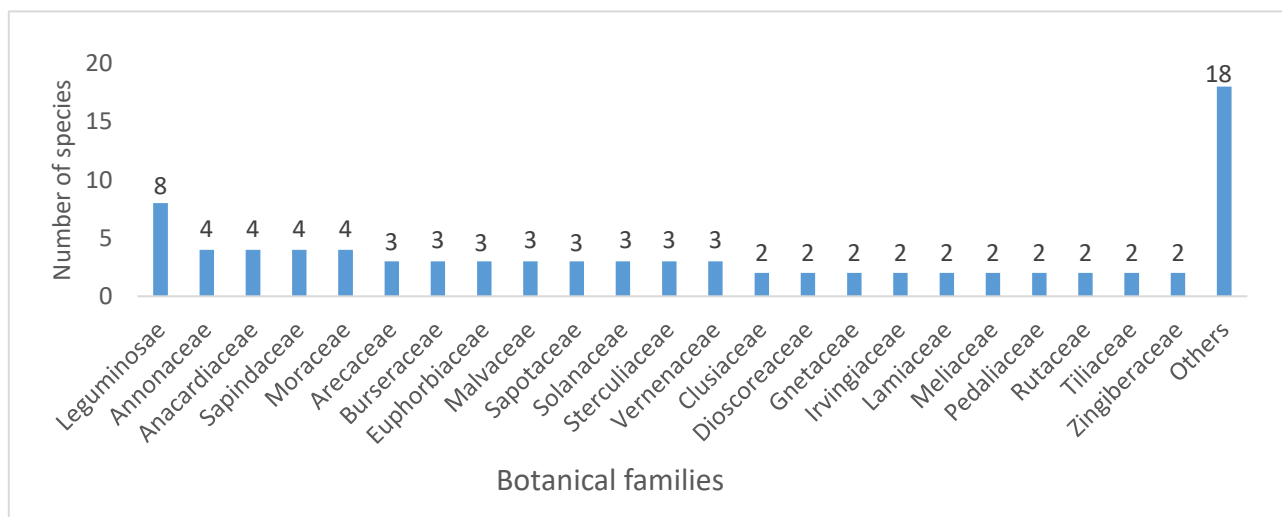


Fig. 3. Specific diversity of the botanical families recorded

It appears from this figure 3 that the Leguminosae family (Fabaceae, Caesalpiniaceae, Mimosaseae) is the richest (8 species) followed by Annonaceae, Anacardiaceae, Sapindaceae and Moraceae with 4 species each, then Arecaceae, Burseraceae, Euphorbiaceae, Malvaceae, Sapotaceae, Solanaceae, Verbenaceae and Sterculiaceae with 3 species respectively then Clusiaceae, Dioscoreaceae, Gnetaceae, Irvingiaceae, Lamiaceae, Pedaliaceae, Rutaceae, Tiliaceae, Zingiberaceae with 2 species each. The remaining 18 families are each represented by 1 species. The wild plants recorded constitute only part of the diversity of all plants consumed in the Central African Republic. These specimens are essential from both a nutritional and therapeutic point of view for the urban community of Bangui and present a certain commercial value on the markets surveyed. Table 1 which follows gives the alphabetical list of plants recorded and provides information on the organs sold, the category of uses, the morphological type and the habitat of each species.

Table 1. Botanical diversity and ecology of identified PSAs

Scientific name	Family	Vernacular names	Organs sold and partly consumed	categories of use	Habitats	Morphological types
<i>Adansonia digitata</i> L.	Bombacaceae	Guila (Issongo)	Fruits (seeds)	Oil	Savannah	Tree
<i>Aframomum citratum</i> (Pereira ex Oliv. et Hanb.) K. Shum.	Zingiberaceae	Nonga (Zandé) ; Tondo (Nzakara)	Fruits (seeds)	Edible fruit	Savannah	Grass
<i>Aframomum melegueta</i> (Rosc.K. Schum)	Zingiberaceae	Tondo (Issongo); Kopia (Banda, Gbaya); Tépa (Boffi)	Fruits (seeds)	Edible fruit	Forest, Savannah	Grass
<i>Afrostryax lepidophyllus</i> Mildbr	Styracaceae	Diémbé (Issongo) ;Yémbé (Ngbaka) ;Tendiba (Banda)	Fruits (pulp)	Condiment	Forest	Tree
<i>Allanblackia floribunda</i> Oliv.	Clusiaceae	Moboaba (Issongo) ; Mbounzo (Gbaya)	Fruits (seeds)	Oil	Forest	Tree
<i>Amaranthus spinosus</i> L.	Amaranthaceae	Gboundou (Banda) ; Lungu (Ngbandi)	Leaves	Vegetable	Fallow , field	Grass
<i>Annona senegalensis</i> Pers.	Annonaceae	Bagara (Zandé), Bagara (Banda) ; Bokoto (Nzakara), Sorè (Gbaya)	Fruits (pulp)	Edible fruit	Savannah	Shrub
<i>Anonidium mannii</i> (Oliv.)	Annonaceae	Mobeli-bombi (Ngbaka) ; Bai (Issongo)	Fruits (pulp)	Edible fruit	Forest	Tree
<i>Antidesma venosum</i> Tul.	Euporbiaceae	Zobidà (Gbaya); Dadèhu(Ngbadi)	Fruits (pulp)	Edible fruit	Forest	Tree
<i>Antrocaryon klameanum</i> Pierre	Anacardiaceae.	Manguégué (Issongo) ; Gongou (Gbaya).	Fruits (pulp)	Edible fruit	Forest, fallow	Tree
<i>Antrocaryon micraster</i> A. Chev. & Guillaumin.	Anacardiaceae	Ngogue (Issongo) ; Mboutou (Gbaya)	Fruits (pulp)	Edible fruit	Forest, fallow	Tree
<i>Balanites aegyptiaca</i> Dawe & Sprague Guin	Balanitaceae	Zama (Banda)	Fruits (pulp)	Edible fruit	Steppe	Tree
<i>Beilschmiedia anacardioides</i> (Engler & Krause) Rob. et Wilcz.	Lauraceae	Nguiriki (Mandjia) ; Nguiriki (Banda) ; Ngala (Gbaya)	Fruits (seed)	Condiment	Forest	Tree
<i>Blighia sapida</i> Koenig	Sapindaceae	Nguéré (Gbaya); Molotoko (Issongo); Gbassi (Banda)	Fruits (arille)	Edible fruit	Forest	Tree
			Fruits (seeds)	Condiment		
<i>Borassus aethiopum</i> Mart.	Arecaceae	Kozo (Banda) ; Kolongo (Ngbandji) ; Kpô (Issongo)	Fruits (pulp)	Edible fruit	Savannah	Tree
<i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.	Leguminosae		Fruits (seeds)	Vegetable	Fallow, field	Shrub
<i>Caloncoba glauca</i> P. Beau. Gilg	Flacourtiaceae	Dolo (Issongo) ; Begalo (Banda) ; Kuma (Zandé) ; Ukuru (Banda) ; Kulè (Nzakara)	Fruits (pulp)	Edible fruit	Forest	Tree
<i>Canarium schweinfurthii</i> Engl.	Burseraceae	Motoua (Issongo) Gbéni (Banda) ; Gbari (Boffi) ; Obwé (Gbaya) Mbili (Zandé); Beso (Zandé)	Fruits (pulp)	Edible fruit	Forest	Tree
<i>Capsicum frutescens</i> Linn.	Solanaceae	Doôngo (Nbaka) ; Ndogué wéé (Gbaya) ; Sambia (Ngbandi) ; Rari (Zandé) ; Lambu (Nzakara)	Fruits	Condiment	Forest, fallow, field	Shrub
<i>Carapa procera</i> DC.	Meliaceae	Pesi (Issongo) ; Ngovo (Gbaya)	Fruits (seeds)	Edible fruit	Forest	Tree
<i>Cassia occidentalis</i> L.	Leguminosae	Kenkéliba (Issongo) ; Kabodo (Ali)	Roots	Aphrodisiac	Savannah, field	Grass
<i>Cassia tora</i> L.	Leguminosae	Kotomaféré (Boffi)	Fruits (seeds)	Coffee	Savannah, field	Grass
<i>Ceratotheca sesamoides</i>	Pedaliaceae	Mbulu (Gbaya) ; Ndandé (Zandé)	Leaves	Vegetable	Fallow, field	Grass
<i>Chrysophyllum giganteum</i> A. Chev.	Sapotaceae	Moboubou (Issongo) ; Bambou (Ngbaka) ; Mboulou (Boffi)	Fruits (pulp)	Edible fruit	Forest	Tree

<i>Cnestis ferruginea</i> DC.	Connaraceae	Badani (Zandé) ; Kpenguwa (Nzakara)	Fruits (pulp)	Edible fruit	Forest, fallow	Liana
<i>Cola acuminata</i> (P. Beauv.) Schott et Endl.	Sterculiaceae	Kukuruku (Zandé) ; Kukuuku (Nzakara)	Fruits (seed)	Edible fruit	Forest	Shrub
<i>Cola nitida</i> (Vent.) Schott & Endl.	Sterculiaceae	Mologbovo (Issongo) ; Goro (Sango) ; Boma (Ngbandi)	Fruits (seed)	Edible fruit	Forest	Shrub
<i>Cola pachycarpa</i> K. Schum.	Sterculiaceae	Kinini dèdèdè (Ngbaka)	Fruits (arille)	Edible fruit	Forest	Shrub
<i>Corchorus aestuans</i> L.	Tiliaceae	Goussa (Banda) ; Déni (Nbgaka) ; Venè (Ngbandi)	Leaves	Vegetable	Fallow, field	Grass
<i>Corchorus olitorius</i> L.	Tiliaceae	Goussa (Banda) ; Morombida (Zandé) ; Kpulè (Nzakara)	Leaves	Vegetable	Fallow, field	Grass
<i>Costus afer</i> Ker gawl	Costaceae	Ndanga – ndogo (Ngbaka) ; Kpanga (Ngbandi) ; Ngonyo (Nzakara)	Stems (sap)	Condiment	Forest	Grass
<i>Coula edulis</i> (G.Dan.) H.J.Lan.	Olacaceae	Mofoufou (Issongo)	Fruits (arille)	Edible fruit	Forest	Tree
<i>Dacryodes edulis</i> (G. Don.) H. J. Lam.	Burseraceae	Molotoukoulou (Issongo).	Fruits (pulp)	Edible fruit	Forest, fallow	Tree
<i>Dacryodes macrophylla</i> H. J. Lam.	Burseraceae	Toukouou (Issongo)	Fruits (pulp)	Edible fruit	Forest, fallow	Tree
<i>Dialum guineense</i> Wil.	Leguminosae	Magainzokou (Issongo)	Fruits (pulp)	Edible fruit	Forest	Tree
<i>Dioscorea bulbifera</i> L.	Disocoreaceae	Koré (Boffi) ; Ngbakoutou (Boffi) ; Legwui (Nzakara) ; Tunga (Nzakara)	Tubers	Vegetable	Forest	Liana
<i>Dioscorea munitiflora</i> Engl.	Disocoreaceae	Bâ (Ngbaka) ; Golo (Boffi) ; Korè (Gbaya) Nzakabè (Ngbaka)	Tubers	Vegetable	Forest	Liana
<i>Dorstenia brieii</i> De Wild.	Moraceae	Nguézédé (Issongo)	Leaves	Vegetable	Forest	Shrub
<i>Dorstenia scaphigera</i> Bureau	Moraceae	Gbin (Issongo)	Leaves	Vegetable	Forest	Grass
<i>Elaeis guineensis</i> Jacq.	Arecaceae	Mbia (Nbgaka) ; Mbima (Banda) ; Mbourou (Ngbandi)	Fruits (pulp)	Condiment	Forest, fallow, field	Tree
		Lé mbia (Nbgaka) ; Mbilo (Nzakara)	Fruits (seeds)	Oil		
		Kangoya (Nbgaka)	Sap	Drink		
<i>Fagara heitzii</i> De Wild Cyuin.	Rutaceae	Mbongo (Nbgaka) ; Taki (Ngbandi)	Leaves (poudre)	Condiment	Forest	Tree
<i>Fagara macrophylla</i> (Oliv.) Engl. Var. Cyuin.	Rutaceae	Bandobé (Nbgaka) ; A – ndègè (Nzakara)	Leaves (poudre)	Condiment	Forest	Tree
<i>Ficus</i> sp.	Moraceae	Caracas (Nbgaka) ; A – kpûta (Nzakara) ; Zako (Gbaya)	Fruits (pulp)	Edible fruit	Forest	Tree
<i>Garcinia polyantha</i> Oliv.	Clusiaceae	Gbadani (Issongo) ; Ndâ (Ngbandi)	Fruits (seeds)	Edible fruit	Forest	Tree
<i>Gnetum africanum</i> Welw.	Gnetaceae	Koko (Nbgaka), Poto (Gbaya) ; Koko (Nzakara) ; Koko (Ngbandi)	Leaves	Vegetable	Forest	Liana
<i>Gnetum bucholizianum</i> Welw.	Gnetaceae	Kani (Nbgaka) ; Koko (Banda)	Leaves	Vegetable	Forest	Liana
<i>Gynandropsis ginandra</i> (L.) Briq	Capparaceae	Kini (Gbougou) ; Ngalanda (Zandé) ; Ngalanda (Nzakara) ; Sae yuma (Gbaya)	Leaves	Vegetable	Fallow, field	Grass
<i>Hibiscus acetosella</i> Welw. Exttiern.	Malvaceae	Zima (Issongo) ; Zima (Gbaya)	Leaves	Vegetable	Forest, fallow	Shrub
<i>Hibiscus asper</i> Hood	Malvaceae	Koumba (Gbaya) ; Numba (Zandé)	Leaves	Vegetable	Forest, fallow	Shrub
<i>Hibiscus surattensis</i> L.	Malvaceae	Klakanzi (Nbgaka) ; Ngbè (Ngbandi)	Leaves	Vegetable	Fallow, field	Grass
			Fruits	Juice		

<i>Hillieria latifolia</i> (Lam.) Walter	Phytolacaceae	Soumba (Boffi)	Leaves	Vegetable	Forest	Shrub
<i>Irvingia excelsa</i> Mildbr.,	Irvingiaceae	Pavo (Issongo)	Fruits (almonds)	Condiment	Forest	Tree
<i>Irvingia gabonensis</i> (Aubry – Leconte ex O' Rorke)Baill.	Irvingiaceae	Molomossombo (Issongo)	Fruits (almonds)	Condiment	Forest	Tree
<i>Khaya anthotheca</i>	Meliaceae	Dèkè (Ngbaka)	Barks	Ferment	Forest	Tree
<i>Landolphia owariensis</i> P. Beaux.	Apocynaceae	Done (Issongo) ; Ouvo (Gbaya) ;Wawala (Nzakara) ; Banga (Banda)	Fruits (seeds)	Edible fruit	Forest, Savannah	Liana
<i>Lippia adoensis</i> Hochst.	Verbenaceae	Gouwin (Gbaya) ; Nguridu (Ngbandi) ; Gbakalagba (Nzakara)	Leaves	Tea	Forest	Grass
<i>Monodora myristica</i> (Graertm.) Dunal.	Annonaceae	Nzingo (Ngbaka)	Fruits (seeds)	Condiment	Forest	Tree
<i>Myrianthus arboreus</i> P.Beauv.,	Cecropiaceae	Modiki (Issongo) ; Ouvo (Gbaya) ; Léngata (Ngbaka) ; Ngbénzo (Nzakara) ; Ngbolo (Ngbandi) ; Kogbo (Banda)	Fruits (seeds)	Edible fruit	Forest, fallow	Tree
<i>Nauclea diderrichii</i> De Wild.	Rubiaceae	Kidomeko (Issongo)	Fruits (pulp)	Edible fruit	Forest	Tree
<i>Ocimum basilicum</i> L.	Lamiaceae	Ngbanda (Ngbaka) ; Luumba (Ngbandi)	Leaves	Condiment	Forest, fallow, field	Shrub
<i>Ocimum gratissimum</i> L.	Lamiaceae	Matété (Gbaya); Tété (Ngbandi)	Leaves	Condiment	Forest, fallow, field	Shrub
<i>Pancovia harmisiana</i> Gil.	Sapindaceae	Gbézélago (Issongo) ; Ngongo (Banda)	Fruits (seeds)	Condiment	Forest	Tree
<i>Pancovia laurentii</i> (De Wild.) Gilg ex De Wild.	Sapindaceae	Gbezelago(Issongo);Ngoyo (Gbaya)	Fruits (seeds)	Edible fruit	Forest	Tree
<i>Panda oleosa</i> Pierre	Pandaceae	Ngango (Boffi) ; Payô (Aka)	Fruits (seeds)	Condiment	Forest	Tree
<i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) Benth.	Leguminosae	Dadawoua (Mandjia) ; Abeimbo (Zandé) ; Kombé (Banda)	Fruits (pulp)	Edible fruit	Savannah	Tree
			Fruits (seeds)	Condiment		
<i>Pentaclethra macrophylla</i> Benth.	Leguminosae	Gbagba (Issongo) ; Mbalanga (Ngbaka) ; Makumba (Nzakara)	Fruits (seeds)	Condiment	Forest	Tree
<i>Piper guineense</i> Schumach. &Thonn.	Piperaceae	Ketsou (Lingala) ; Nguéréto (Ngbaka) ; Gadon (Gbaya); Diyo (Banda) ; Siaka (Ngbandi) ; Mevulu (Nzakara) ; Nawada (Zandé)	Fruits	Condiment	Forest	Liana
<i>Pseudospondias microcarpa</i> (A. Rich.) Engl.	Anacardiaceae	Mossaka bouma (Issongo) ; Ngubi (Banda) ; Bobinso (Nzakara)	Fruits (pulp)	Edible fruit	Forest	Tree
<i>Raphia regalis</i>	Arecaceae	Péké (Ngbaka); Bulu (Nzakara) ; Ndègè (Gbaya)	Sap	Drink	Rainforest	Tree
<i>Ricinodendron heudelotii</i> (Baill.) Pierre et Pax.	Euphorbiaceae	Mboboko (Issongo) ; Gopo (Ngbaka)	Fruits (pulp)	Edible fruit	Forest, fallow	Tree
<i>Sesamum radiatum</i> Schum & Thom.	Pedaliaceae	Voko sindji (Ngbandji)	Fruit (seeds)	Condiment	Fallow, field	Grass
<i>Solanum nigrum</i> Muller.	Solanaceae	Ndoki (Ngbaka) ; Sisa (Ngbaka) ; Sayè (Gbaya)	Leaves	Vegetable	Fallow, field	Grass
<i>Solanum torvum</i> SW	Solanaceae	Taindo (Gbaya)	Leaves	Vegetable	Fallow, field	Shrub
<i>Spondias cytherea</i> Sonner	Anacardiaceae	Kunda (Ngbandji)	Fruits (pulp)	Edible fruit	Forest, fallow	Tree

<i>Synsepalum stipulatum</i> (Radlk) Engl.	Sapotaceae	Mosseteké (Issongo) ; Galangba (Gbaya)	Fruits (pulp)	Edible fruit	Forest	Tree
<i>Talinum triangulare</i> L.	Portulacaceae	Magblet mozewa (Ngbaka) ; Moyégbé (Issongo) ; Singo (Ngbandi)	Leaves	Vegetable	Forest, fallow	Grass
<i>Tamarindus indica</i> L.	Leguminosae	Wassa (Ngbandi) ; A – banza (Zandé) ; Banga (Nzakara)	Fruits (pulp)	Edible fruit	Savannah	Tree
<i>Tetrapleura tetraptera</i> (Schum. & Thonn.) Taub.	Leguminosae	Bassala (Issongo)	Fruits	Condiment	Forest	Tree
<i>Treculia africana</i> Decaisne	Moraceae	Poussa (Issongo) ; A – pûso (Zandé) ; Zilo (Gbaya) ; Kpusa (Ngbandi)	Fruits (seeds)	Edible fruit	Forest	Tree
<i>Uapaca guineensis</i> Müll. Arg.	Euphorbiaceae	Sewgui (Issongo) ; Donzo (Nzakara) ; Donzo (Banda)	Fruits (pulp)	Edible fruit	Forest	Tree
<i>Vitellaria paradoxa</i> C. F. Gaertn.	Sapotaceae	Balawa (sango) ; Dobozone (Gbaya)	Fruits (pulp)	Edible fruit	Savannah	Tree
			Fruits (seeds)	Oil		
<i>Vitex doniana</i> Sweet	Verbenaceae	Léngoungou (Ngbaka) ; Biri (Banda) ; Ngungu (Nzakara) ; Bungu (Ngbandi)	Fruits (pulp)	Edible fruit	Savannah	Shrub
<i>Vitex simplicifolia</i> Oliv.	Verbenaceae	Mbringo (Ngbaka) ; Bungu (Ngbandi)	Fruits (pulp)	Edible fruit	Savannah	Shrub
<i>Xylopia aetiopica</i> (Dunal) A. Rich.	Annonaceae	Mazindi (Sango) ; Nzangué (Issongo) ; Mazindi (Banda) ; Kusua (Nzakara)	Fruits	Edible fruit	Forest	Tree
<i>Zanha golungensis</i> Hiern.	Sapindaceae	Ndokéré (Gbaya) ; Abassa (Zandé)	Fruits (pulp)	Edible fruit	Forest	Tree
<i>Ziziphus mauritiana</i> Engl.	Rhamnaceae	Djabi (Peul) ; Magaria (Haoussa)	Fruits (pulp)	Edible fruit	Steppe	Shrub

3.2.1 DIVERSITIES OF PLANT ORGANS

Eight types of organs that are actually edible and sold have been identified. These are: fruits, leaves, stems, bark, root, sap, tubers and germ. The number of organs of the PSAs sold varies from 1 to 3. The palm (*Elaeis guineensis*) and the palm tree (*Borassus aethiopum*) are the taxa with the most organs sold with three products each. These two species are followed by *Blighia sapida*, *Hibiscus surattensis*, *Parkia biglobosa* *Tamarindus indica* and *Vitellaria paradoxa* with respectively 2 products each. The other remaining species are represented by one product each. Figure 4 provides information on the diversity of plant organs sold as food in Bangui markets.

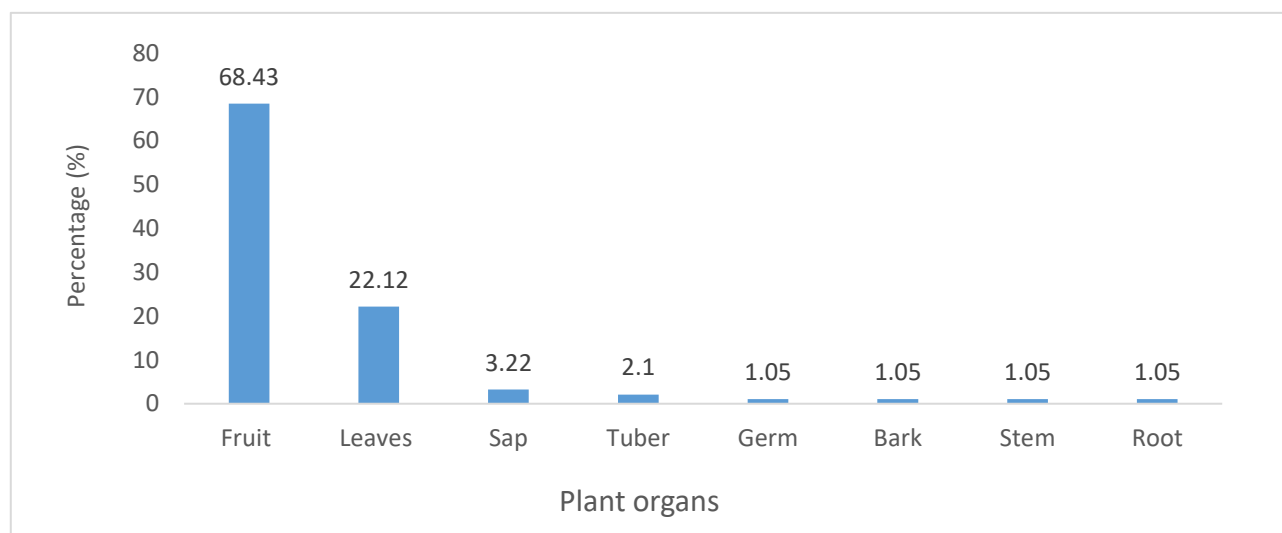


Fig. 4. Plant organs sold in Bangui markets

It appears from this figure that fruits are the most sold (68.43%), followed respectively by leaves (22.12%), then sap (3.22%), then tubers (2.10%). The other organs, namely the germ, the bark, the stem and the root are the least represented with respectively 1.05% each. Overall, the interest in fruits is explained by the fact that these plant organs are consumed in different forms. They are consumed either for their pulp, the seed, the nut, the juice or the whole fruit. As for the leaves, they are almost all used in the preparation of sauce with the exception of *Lippia adoensis* whose leaves are used to prepare tea. All the leaves are therefore cooked before being consumed.

3.2.2 CATEGORY OF USES

Figure 5 gives the categories of use of the inventoried species.

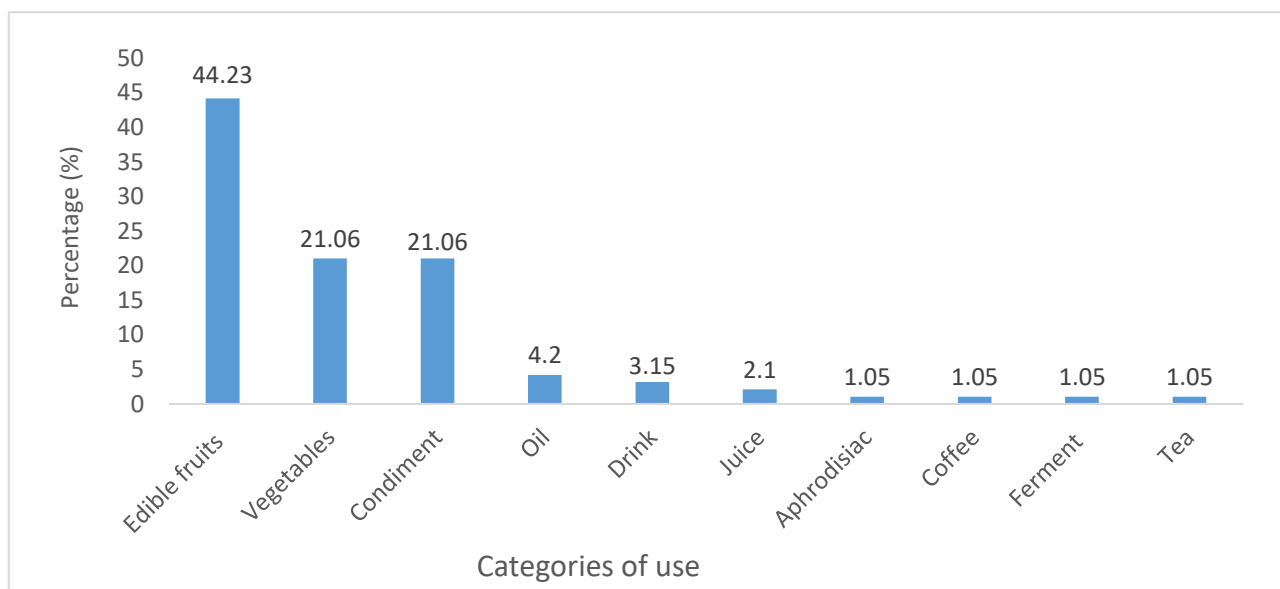


Fig. 5. Types of uses of PSAs identified

As we can observe in this figure, edible fruits (44.23%) are the most predominant, followed by vegetables and condiments with a fair centesimal proportion of 21.06% each, then oil (4.20) and the drink (3.15) then the juice (2.10). The other remaining categories, namely aphrodisiac, coffee, ferment and tea, are the least represented with respectively 1.05% each.

3.2.3 MORPHOLOGICAL TYPES

Figure 6 gives the different morphological types of the inventoried species.

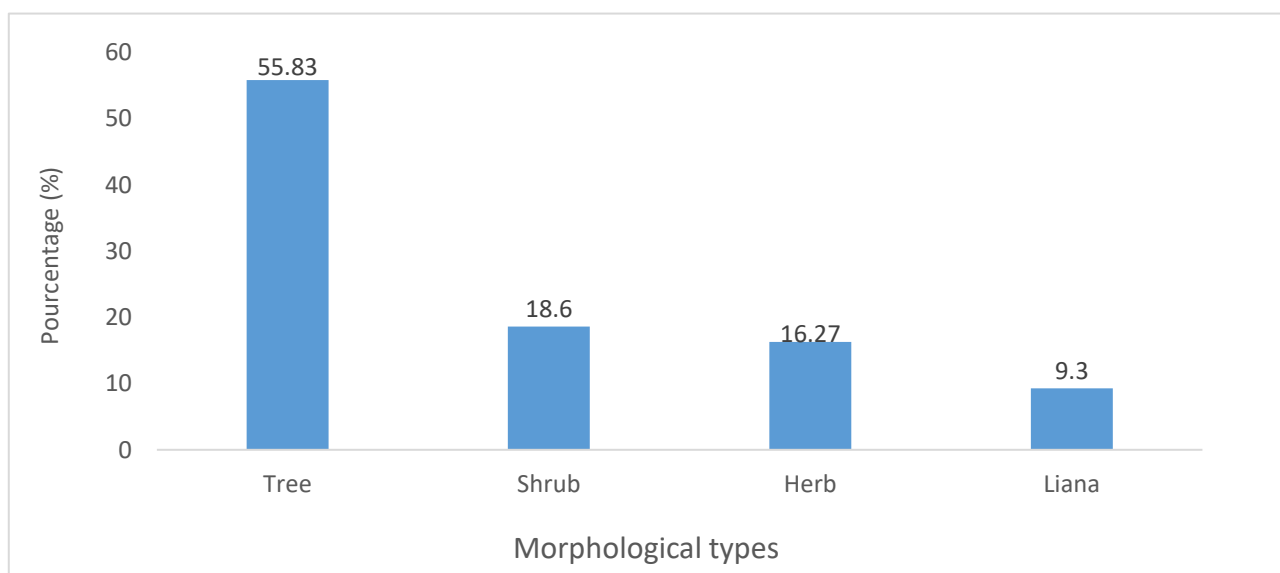


Fig. 6. Spectrum of morphological types of listed species

It appears from Figure 6 that the listed food flora consists of trees (55.83%) followed respectively by shrubs (18.60%), grass (16.27%) and lianas (9.30%). Consequently, trees produce more edible organs for the population of Bangui than other morphological types.

3.2.4 HABITATS

The different ecological environments inhabiting the inventoried species are presented in Figure 7.

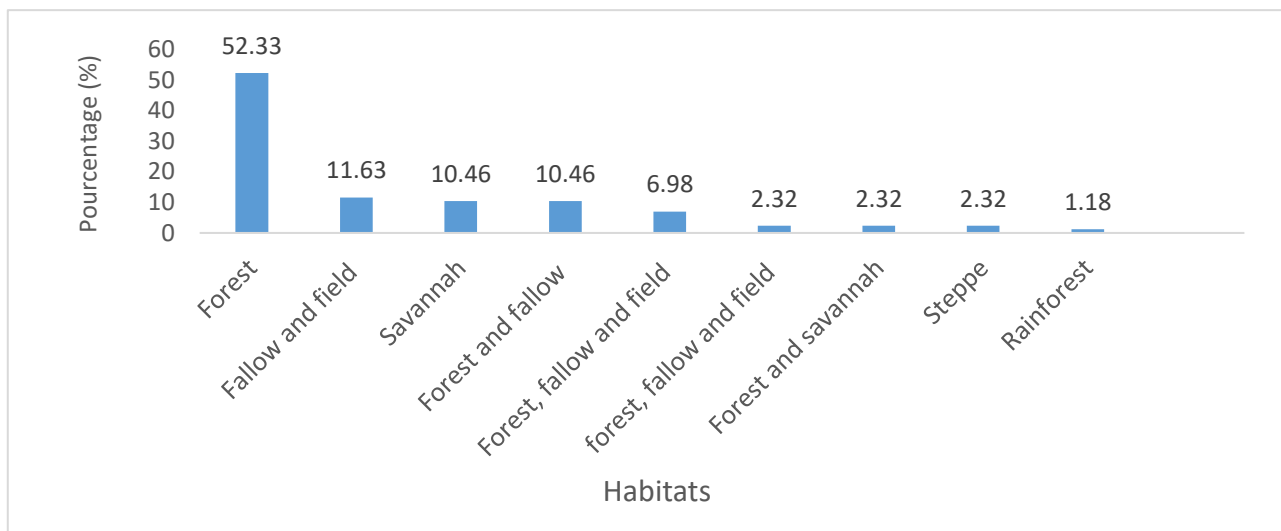


Fig. 7. Habitats of inventoried species

It appears from this figure 7 that nearly 52.33% of the inventoried species come from forest ecosystems. Fallow and field species represent 11.63%. They are followed by savannah species then those of forest and fallow with a balanced percentage of 10.46% each. These are followed by forest, fallow and field species (6.98%). Forest and savannah, savannah and field species and then steppe species are poorly represented with a balanced centesimal proportion of 2.32% each. However, only one species (1.18%) was identified as a specific rainforest species (*Raphia regalis*). Consequently, the forest supplies more PSA to the population of Bangui than other ecological environments. To this end, the forest is therefore of capital importance both from a nutritional and economic point of view for the entire Central African population, and more particularly for that of Bangui.

3.2.5 MEDICAL BENEFIT OF SOME IDENTIFIED PSA

Some inventoried species are not only food, but they are also used in traditional medicine to treat certain diseases. The medicinal value of these species is recorded in Table 2 below.

Table 2. Medicinal value of some identified PSA

N°	Species	Organs used	Diseases
1	<i>Aframomum melegueta</i>	Fruits	Piles, toux, angina, cold, malaria
2	<i>Borassus aethiopum</i>	Roots	Bronchitis, throat sickness
3	<i>Capsicum frutescens</i>	Fruits Leaves	Parasitosis, headache, enema Sprain, cold
4	<i>Carapa procera</i>	Fruits (seeds)	Cold
5	<i>Cassia occidentalis</i>	Leaves	Parasitosis, yellow fever, icterus, mycosis, hepatitis, abortion, headache, malaria, skin affections
6	<i>Ceiba pentandra</i>	Barks	Rachitis, aphrodisiac, cough, malaria, diarrhoea, tooth decay
7	<i>Corchorus olitorius</i>	Leaves	Typhoid, high blood pressure
8	<i>Fagara macrophylla</i>	Leaves	Biliara hepatitis, tiredness
9	<i>Gnetum afrcanum</i>	Leaves	Piles, high blood pressure, rate dilatation, throat sickness, nausea
10	<i>Gnetum buchozianum</i>	Leaves	Mycosis, boil, constipation, poison unit
11	<i>Hibiscus acetosella</i>	Leaves	Boil
12	<i>Hibiscus asper</i>	Fruits	Diabetes
13	<i>Hibiscus surattensis</i>	Leaves	Anemia
14	<i>Irvingia gabomensis</i>	Fruits (almonds) Barks	Brulurs Diarrhoea
15	<i>Lippia multiflora</i>	Leaves	Digestive problems, obésity, high blood pressure
16	<i>Monodra myristica</i>	Fruits (seeds)	Stomoch sickness
17	<i>Myrianthus arboreus</i>	Leaves	Dermatosis
18	<i>Ocimum basilicum</i>	Leaves	Cough, headache, parasitosis, cold, buccal affections
19	<i>Parkia biglobosa</i>	Fruits (seeds)	Constipation, yellow problems, rachitisme, icterus
20	<i>Solanum nigrum</i>	Leaves	Sick eyes, ictère, diarrhoea, throat sickness
21	<i>Talinum triangulare</i>	Leaves	Anémie, frontalier anomalie, furoncle, rachitis, asma, constipation, dermatosis
22	<i>Tamarindus indica</i>	Leaves Barks	Yellow fever, diarrhoea Asma, cough, hepatis, diabetes
23	<i>Tetrapelure tetraptera</i>	Fruits	Digestive problems, bronchitis
24	<i>Xylophia aethiopica</i>	Fruits	Asma

The results of this table 2 above show that 24 species of PSA have medicinal virtues in addition to their nutritional value. They treat 45 common illnesses. These 45 pathologies are treated mainly by the leaf which constitutes the most used plant organ. The interest in leaves finds an explanation in the fact that these organs are the seat par excellence of biosynthesis and even of the storage of secondary metabolisms responsible for the pharmaco-biological properties of the plant [12]. According to Bitsindou [13], the frequency of use of the leaves in traditional medicine is due to the ease of harvesting. The results also show that coughs and sore throats are the illnesses most treated by these 24 plant species. In addition, the PSAs treating more diseases include *Cassia occidentalis* (9 pathologies), *Talinum triangulare* (7 pathologies), *Ocimum basilicum* and *Ceiba pentandra* (6 pathologies each) and finally *Gnetum africanum* (5 pathologies).

3.2.6 ETHNOTAXONOMY

For 21 recorded species, the literal meaning of vernacular names was reported during our surveys. Vernacular names can be descriptions, uses, properties of the plant or a locality. Important information was then derived from the literal meaning of these 21 plants listed.

REFERENCE TO THERAPEUTIC USE

The species *Tetrapelure tetraptera* is locally called "Bassala" in Issongo (the thing that hunts snakes). Their strong-smelling dried fruits are used as repellents in homes and fields to chase away snakes. The leaves of *Ocimum basilicum*, the leaves of which are used in friction on conviction and headache are common, are called "Ngbanda" in Ngbaka. The leaves of *Ocimum gratissimum* provide a fragrant and very popular herbal tea; which earned it the name "Matété" in Gbaya. Likewise, the *Lippia adoensis* species, whose leaves are infused with medicinal plants to make herbal tea, is called "Ngouwin" in Gbaya. As for the species, *Cassia occidentalis* called "Kabodo", it is its

aphrodisiac property which earned it this name. The *Cola nitida* species called "Bouma" which means fatigue because its seeds consumed as an aphrodisiac fight against fatigue.

REFERENCES TO MORPHOLOGICAL CHARACTERS OF PLANTS

References to morphological characters are found for certain vernacular names of the PSA identified. The name takes into account the characteristics of the organ used. The fruit of the species *Annonidium mannii* resembles the fruits of cultivated soursop (*Annona muricata*) whose pulp is eaten raw. In this type of reference, the rapprochement of these two taxa is based on the resemblance (taxon similar to the edible fruits of the soursop tree, with a very sweet flavor). These two species have similar odors. Hence its vernacular name "Mobeli bombi" in Ngbaka.

COMBINATION OF REFERENCE TO FOOD USE AND MORPHOLOGICAL CHARACTERS

The name plant can refer to an animal but, from different angles. This is the case of *Myrianthus arboreus* which is called "modiki". The term "mo" refers to the fruits of the plant and "diki" literally means monkey.

REFERENCE TO MORPHOLOGY AND TO ECOLOGICAL CRITERIA

The fruit of *Aframamum melangueta* has the appearance of a bottle designated by the non-local "Tondo". To differentiate this species from other varieties of *Aframamum* with low acidity and light red color, we use the name "Kopia" which literally means sweet fruit of bright red color. Reference to morphology is made in certain cases. The typical example is the species, *Ficus* sp., locally called "Karacas" because of the roughness of its leaves. Likewise, *Ricinodendron heudelotii* is designated by "Mboboko" because its compound and digitate leaves are reminiscent of the fingers of the hand.

The ecology or habitat of the plant is also associated with the name of the plant. This is particularly the case for various wild fruits. The *Vitellaria paradoxa* species is widespread in the savannah. Its name "Balawa" refers to this ecology, that is to say savannah shea. The *Vitex doniana* species is found mainly in the savannah. Its name "Léngoungou" literally refers to this ecology. Likewise, *Afrostryrax lepidophyllus* is a typical forest species whose fruits serve as a food condiment in various sauces. Its local domination "Yémbé" alludes to its forest ecological environment.

OTHER TYPES OF REFERENCES

References to sociocultural concepts were also noted. Matété is the name reserved for *Ocimum basilicum* whose leaves are used to ward off evil spirits that appear at night. Likewise, the name voko sindji (*Sesamum radiatum*) comes from the fact that the use of the seeds keeps away evil spirits at night. The name *Canarium schweifurthii*, "Motuou", comes from the fact that the burned resin is often used in traditional ritual practices. There are other names referring to the qualities or properties of the plant, particularly in the case of *Tamarindus indica*, designated by "Wassa" in relation to its sweet, tangy taste of the fruits. Likewise, *Antrocaryon micraster* is called "manguengué", that is to say a fruit with a tangy and sweet taste. This would explain the use of these two fruits as edible fruits. As for the *Costus afer* species called "Ndanga- ndgo", it is the tangy flavor of the sap of its stem which has earned it this non-vernacular. *Adamsonia digitata* is locally called "Guila" because of its long lifespan.

Overall, the most used descriptive concept for local species names is the reference to sociocultural concepts. Even though the literal meaning of the vernacular names of the remaining 65 PSAs was not reported during our surveys, nevertheless these PSAs are well known by their vernacular names by the population of Bangui. This observation shows that there would be a significant loss of knowledge relating to the etymology and literal meanings of the vernacular names of most of the PSAs identified. The lack of information on the literal meaning of these vernacular names would probably be linked to ethnic mixing which leads to the loss of traditional cultural values, social diversity, and the adoption of Western lifestyles. Also, this is justified by the fact that the surveys were carried out in the Central African capital, that is to say an urban area.

3.3 CHARACTERISTICS OF WILD FOOD PLANTS SOLD IN THE MARKETS OF BANGUI

A total of 86 different species of PSAs were inventoried in six (6) main markets in Bangui. These plant species belong to 69 genera and 41 botanical families, including only one family from the Gymnosperms Branch, namely the Gnetaceae family with two species (*Gnetum africanum* and *Gnetum bucholzianum*). The remaining 84 species are an integral part of the Angiosperms Phylum with a large dominance of Dicotyledons (80 species) over Monocotyledons (4 species). The availability of these resources was impressive and it depends on the seasons. Their presence was reported almost everywhere in the markets surveyed. The results of the obtained characteristics are summarized in Table 3. They are interpreted essentially according to the status of the species, their nature for sale and their presence in the six markets investigated. It appears from this table 3 that 39 species or 45.88% are common to the six (6) markets surveyed. However, 12 PSA (*Allanblackia floribunda*, *Annonidium manni*, *Costus afer*, *Caloncoba glauca*, *Irvingia excelsa*, *Irvingia*

gabonensis, *Carapa procera*, *Khaya anotheca*, *Panda oleosa*, *Zanha golengensis*, *Synsepalum stipulatum*, *Treculia africana*) are sold specifically at the Pétévo market and one species (*Ziziphus mauritiana*) only at the Km5 market. They are completely absent in the five other markets surveyed. Consequently, their consumption remains limited. Which then justifies their rarity in the Bangui markets.

Table 3. Characteristics of the species recorded in the Bangui markets

Family	Species	Status	Nature of organs sold	Sales markets
Amaranthaceae (D)	<i>Amaranthus spinosus</i> L.	Wild	Fresh leave	Bi, B, C, K, O, P
Anacardiaceae (D)	<i>Antrocaryon klainenum</i> Pierre	Mixed	Fresh fruit	Bi, B, C, K, O, P
	<i>Antrocaryon micraster</i> A. Chev. & Guillaumin.	Mixed	Fresh fruit	Bi, B, C, K, O, P
	<i>Pseudospondias microcarpa</i> (A. Rich.) Engl.	Wild	Fresh fruit	Bi, P
	<i>Spondias cytherea</i> Sonner	Mixed	Fresh fruit	Bi, B, C, K, O, P
Annonaceae (D)	<i>Annona senegalensis</i> Pers.	Wild	Fresh fruit	Bi, B, C, K, O, P
	<i>Anonidium manii</i> (Oliv.)	Wild	Fresh fruit	P
	<i>Monodora myristica</i> (Graertm.) Dunal	Wild	Dry seed	K, P
	<i>Xylopia aetiopica</i> (Dunal) A. Rich.	Wild	Dry fruit	Bi, B, C, K, O, P
Apocynaceae (D)	<i>Landolphia owariensis</i> P. Beauv.,	Wild	Fresh fruit	Bi, B, C, K, O, P
Arecaceae (M)	<i>Borassus aethiopicum</i> Mart.	Mixed	Fresh fruit, germ cooked, drink	Bi, B, C, K, O, P
	<i>Elaeis guienensis</i> Jacq.	Mixed	Fresh fruit, oil, drink	Bi, B, C, K, O, P
	<i>Raphia regalis</i>	Wild	Drink	Bi, B, K, O, P
Balanitaceae (D)	<i>Balanites aegyptiaca</i> Dawe & Sprague Guin	Wild	Fresh fruit	Bi, B, K
Bombacaceae (D)	<i>Adansonia digitata</i> L.	Wild	Oil	Bi, B
Burseraceae (D)	<i>Canarium schweinfurthii</i> Engl.	Wild	Fresh fruit	Bi, B, C, K, O, P
	<i>Dacryodes edulis</i> (G. Don.) H. J. Lam.,	Mixed	Fresh fruit	Bi, B, C, K, O, P
	<i>Dacryodes macrophylla</i>	Mixed	Fresh fruit	Bi, B, C, K, O, P
Capparaceae (D)	<i>Gynandropsis ginandra</i> (L.) Briq	Mixed	Fresh leave	Bi, B, O
Cecropiaceae (D)	<i>Myrianthus arboreus</i> P. Beauv.	Wild	Fresh fruit	Bi, B, C, K, O, P
Clusiaceae (D)	<i>Allanblackia floribunda</i> Oliv.	Wild	Oil	P
	<i>Garcinia polyantha</i> Oliv.	Wild	Fresh seed	C, K, O, P
Connaraceae (D)	<i>Cnestis ferruginea</i> DC.	Mixed	Fresh fruit	Bi, P
Costaceae (M)	<i>Costus afer</i> Ker gawl	Wild	Fresh stem	P
Dioscoreaceae (M)	<i>Dioscorea bulbifera</i> L.	Wild	Fresh Tuber	Bi, B, K, O, P
	<i>Dioscorea munitiflora</i> Engl.	Wild	Fresh Tuber	Bi, B, K, O, P
Euporbiaceae (D)	<i>Antidesma venosum</i> Tul.	Wild	Fresh fruit	K, P
	<i>Ricinodendron heudelotii</i> (Baill.) Pierre et Pax.	Wild	Fresh fruit	C, K, O, P
	<i>Uapaca guineensis</i> Müll. Arg.	Wild	Fresh fruit	K, P
Flacourtiaceae (D)	<i>Caloncoba glauca</i> P. Beau. Gilg	Wild	Fresh fruit	P
Gnetaceae (G)	<i>Gnetum africanum</i> Welw.	Wild	Fresh leave	Bi, B, C, K, O, P
	<i>Gnetum bucholzianum</i> Welw.	Wild	Fresh leave	Bi, B, C, K, O, P
Irvingiaceae (D)	<i>Irvingia excelsa</i> Mildbr.	Wild	Dry almond	P
	<i>Irvingia gabonensis</i> (Aubry – Leconte ex O' Rorke) Baill.	Wild	Dry almond	P
Lamiaceae (D)	<i>Ocinum basilicum</i> L.	Mixed	Fresh leave	Bi, B, C, K, O, P
	<i>Ocinum gratissimum</i> L.	Mixed	Fresh leave	Bi, B, C, K, O, P
Lauraceae (D)	<i>Beilschmiedia anacardioides</i> (Engler & Krause) Rob. et Wilcz.	Wild	Fresh seed	Bi, B, C, K, O, P
Leguminosae (D)	<i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.	Mixed	Dry seed	Bi, B, K
	<i>Cassia occidentalis</i> L.	Wild	Fresh root	Bi, B, C, K, O, P
	<i>Cassia tora</i> L.	Wild	Coffee	Bi, B, C, K, O, P
	<i>Dialium guineense</i> Wil.	Wild	Fresh fruit	B, C
	<i>Parkia biglobosa</i> (Jacq.) Benth.	Wild	Fresh fruit, dry seed	Bi, B, C, K, O, P
	<i>Pentaclethra macrophylla</i> Benth.	Wild	Dry seed	B, O

	<i>Tamarindus indica</i> L.	Mixed	Dry fruit, juice	Bi, B, C, K, O, P
	<i>Tetrapleura tetraptera</i> (Schum. & Thonn.) Taub.	Wild	Dry fruit	Bi, B, C, K, O, P
Malvaceae (D)	<i>Hibiscus acetosella</i> Welw. Exttiern.	Wild	Fresh leave	Bi, B
	<i>Hibiscus asper</i> Hood	Mixed	Fresh leave	Bi, B
	<i>Hibiscus surattensis</i> L.	Mixed	Fresh leave, Dry fruit, juice	Bi, B, C, K, O, P
Meliaceae (D)	<i>Carapa procera</i> DC.	Wild	Fresh fruit	P
	<i>Khaya anthotheca</i>	Wild	Dry bark	P
Moraceae (D)	<i>Dorstenia briei</i> De Wild.	Wild	Fresh leave	B, C, P
	<i>Dorstenia scaphigera</i> Bureau	Wild	Fresh leave	B, C, P
	<i>Ficus</i> sp.	Wild	Fresh fruit	Bi, B, O
	<i>Treculia africana</i> Decaisne	Wild	Fresh fruit	P
Olacaceae (D)	<i>Coula edulis</i> (G.Dan.) H.J.Lan.	Wild	Fresh fruit	K, P
Pandaceae (D)	<i>Panda oleosa</i> Pierre	Wild	Dry seed	P
Pedaliaceae (D)	<i>Ceratotheca sesamoides</i>	Wild	Dry leave	Bi, B, K
	<i>Sesatum radiatum</i> Schum et Thom.	Wild	Dry seed	Bi, B, C, K, O, P
Phytolacaceae (D)	<i>Hillieria latifolia</i> (Lam.) Walter	Wild	Fresh leave	Bi, B, C, K, O, P
Piperaceae (D)	<i>Piper guineense</i> Schumach. & Thonn.	Wild	Fresh fruit	Bi, B, C, K, O, P
Portulacaceae (D)	<i>Talinum triangulare</i> L.	Wild	Fresh leave	Bi, P
Rhamnaceae (D)	<i>Ziziphus mauritiana</i> Engl.	Wild	Dry fruit	K
Rubiaceae (D)	<i>Nauclea diderrichii</i> De Wild.	Wild	Fresh fruit	Bi, B, C, K, O, P
Rutaceae (D)	<i>Fagara heitzii</i> De Wild Cyuin.	Wild	Dry leave (poudre)	K, P
	<i>Fagara macrophylla</i> (Oliv.) Engl. Var. Cyuin.	Wild	Dry leave (poudre)	K, P
Sapindaceae (D)	<i>Blighia sapida</i> Koenig	Wild	Fresh fruit, dry seed	K, P
	<i>Pancovia harmisiana</i> Gil.	Wild	Fresh fruit	Bi, P
	<i>Pancovia laurentii</i> (De Wild.) Gilg ex De Wild.	Wild	Fresh fruit	Bi, P
	<i>Zanha golungensis</i> Hiern.	Wild	Fresh fruit	P
Sapotaceae (D)	<i>Chrysophyllum giganteum</i> A. Chev.	Wild	Fresh fruit	Bi, B, C, K, O, P
	<i>Synsepalum stipulatum</i> (Radlk) Engl.	Wild	Fresh fruit	P
	<i>Vitellaria paradoxa</i> C. F. Gaertn.	Wild	Fresh fruit, oil	Bi, B, C, K, O, P
Solanaceae (D)	<i>Capsicum frutescens</i> Linn.	Mixed	Dry fruit	Bi, B, C, K, O, P
	<i>Solanum nigrum</i> Muller.	Mixed	Fresh leave	Bi, B, P
	<i>Solanum torvum</i> SW	Wild	Fresh leave	Bi, B,
Sterculiaceae (D)	<i>Cola acuminata</i> (P. Beauv.) Schott et Endl.	Wild	Fresh leave	Bi, B, C, K, O, P
	<i>Cola nitida</i> (Vent.) Schott & Endl.	Wild	Fresh leave	Bi, B, C, K, O, P
	<i>Cola pachycarpa</i> K. Schum.	Wild	Fresh fruit	Bi, B, C, K, O, P
Styracaceae (D)	<i>Afrostryrax lepidophyllus</i> Mildbr	Wild	Fresh fruit	C, K, P
Tiliaceae (D)	<i>Corchorus aestuans</i> L.	Mixed	Fresh leave	Bi, B, C, K, O, P
	<i>Corchorus olitorius</i> L.	Mixed	Fresh leave	Bi, B, C, K, O, P
Verbenaceae (D)	<i>Lippia adoensis</i> Hochst.	Wild	Dry leave	B, C, K, O, P
	<i>Vitex doniana</i> Sweet	Wild	Fresh fruit	Bi, B, C, K, O, P
	<i>Vitex simplicifolia</i> Oliv.	Wild	Fresh fruit	Bi, B, C, K, O, P
Zingiberaceae (M)	<i>Aframomum citratum</i> (Pereira ex Oliv. et Hanb.) K. Shum.	Wild	Fresh fruit	Bi, B, C, K, O, P
	<i>Aframomun melegueta</i> (Rosc.K. Schum)	Wild	Fresh fruit	Bi, B, K

Sales markets: Bi: Boing; B: Boy-rabe; C: Central; K: Km5 O: Ouango; P: Petevo

3.3.1 SPECIES STATUS

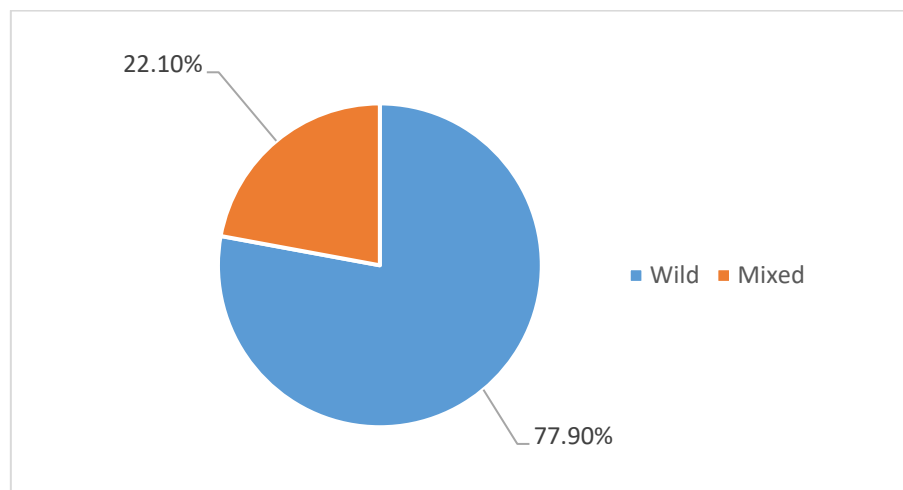


Fig. 8. Status of inventoried species

It appears from this figure 8 that 77.90% of the inventoried species are purely wild compared to 22.10% for mixed species (both wild and cultivated). Consequently, edible plants of purely wild origin still occupy a prominent place in the daily life of households in Bangui. It is important to note that, for cultural reasons, certain households living in Bangui are often attached to traditional foods and favor them more in their daily lives in order to preserve their eating customs.

3.3.2 NATURE OF ORGANS SOLD (FRESH, DRIED AND PROCESSED)

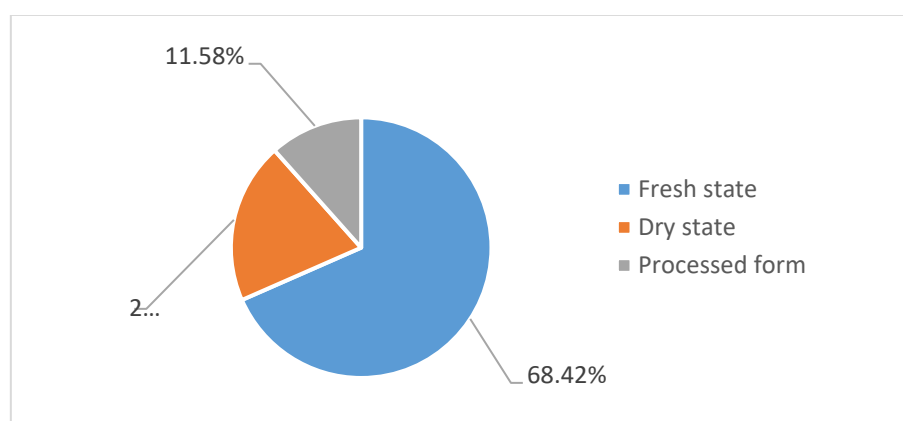


Fig. 9. the state of PSAs sold in the Bangui markets

It appears from this figure 9 that 68.42% of PSAs are sold in the fresh state, 20% in the dry state and 11.58% in processed form. Consequently, these results reveal that more than half of the taxa inventoried are sold fresh. In terms of ecology, it is much preferable to buy and consume plant organs, particularly fruits and leaves, during their production period because it is in their fresh state that they contain the most vitamins.

3.3.3 DISTRIBUTION OF SPECIES ACCORDING TO SALES MARKETS

Fig 10 gives the distribution of PSA species sold by market.

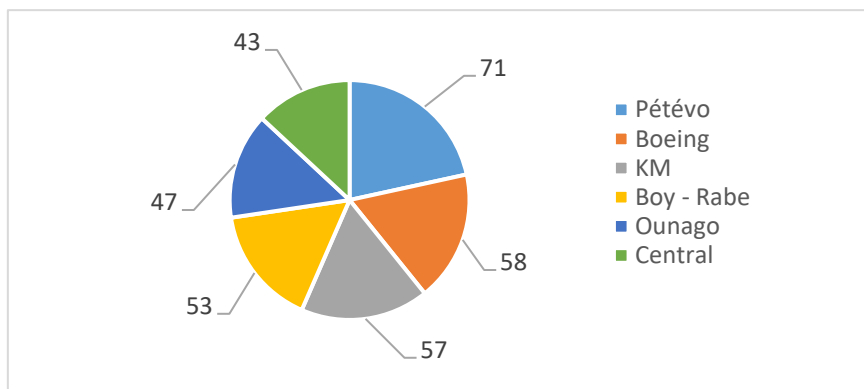


Fig. 10. Distribution of inventoried species by market

This figure reveals an impressive diversity of PSAs species sold in the six main markets of Bangui. 71 different species of PSA were identified in Pétévo followed by Boeing with fifty-eight (58), Km 5 with fifty-seven (57), Boy - rabe with fifty-three (53), Ouango with forty-seven (47) and Central with forty-three (43). Consequently, PSAs are sold more in Pétévo than in other markets surveyed. The interest given to the Pétévo market is justified by the fact that it is located at the entrance to the southwest part of the Central African capital where one can find all food NTFPs of plant origin, frequently sold in bulk. In addition, its popularity and dynamism mainly relate to the sale prices of food NTFPs, which are often low and affordable.

3.3.4 SUPPLY AREAS

The sellers surveyed stated that they source their supplies exclusively from the hinterlands because edible native plants are harvested in the wild by harvesting in their respective biotopes. On the one hand, some sellers prefer to buy various products from wholesale traders established in rural markets. Others, on the other hand, make their purchases directly near the harvesting sites or in the villages from the pickers. This latter purchasing strategy is most often done through a system of partnerships between villagers and PSA sellers. Overall, the trade of PSAs in Bangui is permanent, because this city can receive various food products from all provinces throughout the year. There is therefore less risk of out of stock. This is why an abundant diversity and a high number of PSA species were recorded and identified in the six markets surveyed.

4 DISCUSSION

In this study, women were the most solicited during our surveys (83.33%), thus revealing that the marketing of PSAs constitutes a sector largely in the hands of urban women. In addition, women are true holders of culinary knowledge and practices [14]. Various studies in Africa have revealed the same conclusion and agree on the predominance of women in NTFP sales activities [15], [16], [17], [18]. It emerges from this study that the majority of people surveyed were aged between 31 - 50 years (68.67%). Consequently, they represent an active and literate segment of the local population. Which is a valuable asset for the valorization of wild edible plants aimed at rapid social impact on vulnerable households [19]. This study also showed that the majority of people surveyed had secondary school education (50.67%). Therefore, this level of instruction is fair. This result is not at all surprising because it is justified by the fact that the survey was carried out in an urban environment, the Central African capital. This trend in the level of education of the people surveyed is considerable to the extent that sustainable management of natural resources requires a minimum level of education in order to accommodate or contribute to education relating to the management of these [20]. In addition, the level of education has a very remarkable impact in the adoption of innovations and/or in the transfer of knowledge and technologies with a view to increasing productivity in all sectors of activity and in decision-making [21]. It also emerges from this study that respondents with experience in the NTFP sales sector of 2 - 10 years are the most represented (39.33%).

From these results, all the sellers interviewed recognize that the NTFP sector is a profitable activity, which is what justifies the increase in the number of participants in the sector. Ethnically, the sellers are distributed among 16 ethnic groups belonging to different regions of the Central African Republic. This result shows that the trade in NTFPs is a multi-ethnic economic activity. Similar observations were reported by et al [8]. However, the best represented ethnic groups are the Gbaya (27), followed by Mandjia (19), Banda (17), Ngbaka (14), Mbatia (11), Ali (10), Yakoma (9) and Gbanou (7). Furthermore, this study made it possible to identify 86 species of PSAs sold in six main markets in Bangui. The abundance and great diversity of these plant species confirm the richness of the Central African flora. Similar results were obtained by

certain authors in ethnobotanical work devoted to wild food plants [22], [23]. However, it is important to note that some previous studies relating to tropical African wild food species have reported some species from our inventory.

The results in Figure 4 indicate that fruits (68.43%) and leaves (22.12%) were the best-selling plant organs. But overall, the organs that are used in the preparation of family meals are the leaves. To this end, they occupy a significant place in the diet of the population of Bangui. However, these results present some similarities with other ethnobotanical studies which have revealed similar observations [24], [23]. The importance given to fruits is due to their high nutritional value and also to the fact that their derived products (oil, paste, powder, etc.) can be preserved better. Species such as *Allanblackia floribunda*, *Elaeis guinensis*, *Vitellaria paradoxa*, *Irvingia gabonensis*, *Ricinodendron heudelothii*, *Piper guinense*, *Monodora myristica*, *Tetrapleura tetraptera*, *Afrostryax lepidophylus*, *Tamarindus indica*, *Beilschmiedia anacardioides* are sold on the Bangui markets as condiments in dried and fresh forms, in oil or in paste form. According to certain authors [25], [26], there are considerable variations in the abundance of fruits and their consumption. Their high consumption is due to their juicy pulp. For them, it is children who, in general, consume the most. Concerning the leaves, they are the most sought after and the most requested in the preparation of family meals. Most often, they serve as a vegetable base and also as a condiment in the preparation of various sauces. Overall, fruits ripen at different times and leaves are permanent on plants and are the site of photosynthesis. To this end, these two (2) plant organs can cover the nutritional needs of the population of Bangui throughout the year. According to Powell et al [27], foods from wild species contribute to the quality and diversification of the diet as well as seasonal homogeneity. They provide important nutrients and complement the basic diet throughout the year. Fruits and leaves therefore represent a mainly interesting source of food in daily life for the population of Bangui.

Regarding morphological types, Figure 6 shows that trees are more represented than other morphological types. This predominance of trees reflects the state of vegetation in the different regions of the CAR. The trees produce fruits (almonds, seeds), leaves, bark and other key products such as oils, palm kernels and highly sought-after wines. These resources make an important contribution to the diet of households living in the Central African capital. In addition, the perennial nature of tree species also guarantees the availability and use of wild plants. Hence it appears necessary to proceed with the preservation of this heritage and the forest ecosystems which host them. Also, it would be necessary to integrate them into genetic programs and modern agricultural production. Such an approach could enable their sustainable management. Regarding habitat, the results of our surveys (Figure 7) revealed that the forest is better represented than other ecological environments. This predominance of the forest confirms the superiority of forest habitats as providers of PSAs compared to other ecological environments. This is eloquent proof that the Central African forest ecosystems are very rich and still contain a diversity of PSA species. This abundant diversity of PSAs available to the CAR forest constitutes an undeniable asset for its socio-economic development. In addition to their biological importance, the forests of the CAR remain essential for local populations to the extent that they draw numerous resources from them for their subsistence. For these reasons, special attention must be given to them. It is therefore necessary not only to manage them rationally but also to conserve them sustainably for future generations.

Analysis of the results in Table 2 showed that 24 species of PSAs are also used for medicinal uses. Their medical virtues are well known by the population of Bangui. The pharmacological activity of some of them has been scientifically validated. This is particularly the case for *Aframomum melegueta*, *Ocimum basilicum* and *Ocimum gratissimum* [28], [29]. The results also showed that malaria and hypertension represent the pathologies most frequently treated with four of these 24 PSA, notably *Aframomum melegueta*, *Ceiba pentandra*, *Gnetum africanum*, *Lippia adoensis*. Two PSA (*Tamarindus indica*, *Hibiscus asper*) are cited in the treatment of diabetes. Considering all these virtues, these 24 species deserve to be the subject of cultivation trials. Also, it would be necessary to initiate their possible domestication. An experimental laboratory analysis on the phytochemistry of these species would also be beneficial in order to identify the secondary metabolites responsible for the biological activities. This could lead to the exploitation of the potential of our ethnomedical knowledge for effective public health. Likewise, such an approach could safeguard PSA for medical use and their endogenous knowledge.

Regarding local names, the vernacular names that we found during our survey correspond respectively to the 86 taxa recorded and identified. For at least 21 inventoried species, we were able to collect the meaning of the vernacular names. These latter reports mainly refer to the morphology, an animal, the ecology or habitat of the species, the use and a property of the plant. For the majority of PSA identified (64 species), the meaning of the etymology of their vernacular names could not be given despite the fact that we mainly interviewed women more. Thus, there would be a loss of knowledge relating to the local names of these PSAs. Rapid changes in social and cultural behavior, reduced contact with nature and the disappearance of natural ecosystems are the causes [30], [31]. This observation justifies both the necessity and the urgency of ethnotaxonomic studies to safeguard what still remains of local knowledge. As revealed by Bokdam and Drooers [32], the disappearance of wild plants under the influence of modernization leads to the loss of knowledge relating to their uses, their vernacular names and their etymologies. This knowledge, which has been slowly accumulated, kept and delivered from generation to generation, risks disappearing permanently. Similar to the preservation of knowledge, the latter could be the support for ethnobotanical and ethnomedical investigations for scientific research.

With regard to the 86 PSA which were the subject of the inventory, 77.90% are of purely wild origin, as shown in Figure 8. Among these, four are the subject of intense overexploitation in their natural habitat for commercial purposes. These are mainly *Beilschmiedia anacardioides*, *Gnetum africanum*, *Parkia biglobosa*, *Xylopia aethiopica*. They are even threatened with depletion in their biotope due to high demand. This is particularly the case for the leaves of *Gnetum* spp., leafy vegetables widely consumed in the CAR and which are harvested in the wild in forest ecosystems. According to Wilkie [33], the overexploitation of NTFPs constitutes a threat, not only to the survival

of forest peoples, but risks ultimately leading to an irreversible impoverishment of species and genetic diversity. Climate change also contributes to the loss of native plants [34]. For these reasons, it would be desirable to take appropriate rational exploitation measures to limit their collection from the wild. Also, it would be appropriate to promote them. Such an approach would be an opportunity both economically and nutritionally for both rural and urban populations, especially women. The results of this same figure (8) also show that 19 are mixed (both wild and cultivated). We can cite, among others, *Capsicum frutescens*, *Corchorus olitorius*, *Dacryodes edulis*, *Hibiscus surattensis*, *Ocimum gratissimum*, *Solanum nigrum*, *Spondia cytharea*, *Tamarindus indica*, which are cultivated and are the subject of interesting marketing on a local scale. This attitude shows the level of socio-economic importance and interest given to these wild plants and the concern to avoid their extinction in their natural habitat. Overall, the domestication of most of the species studied remains low and constitutes a handicap for the socio-economic development of the NTFP sector. Therefore, efforts must be made to improve knowledge of these resources, their use, their cultivation/domestication and their conservation.

The results in Figure 9 show that 68.42% of PAS, more than half of the taxa inventoried, are sold fresh. This shows that there is a problem with the conservation of these plant resources. It would then be necessary to find more effective means of preserving and processing these products in order to increase the profit linked to their consumption and sale. However, 11.58% of PSAs undergo transformations to be available on the markets. To this end, they can play an essential role in the agro-food industry for the manufacture of juices, jams, mustards, oils, pastes and drinks. Overall, it is well known that PSAs are very perishable products, the lower the selling prices on the markets. To meet the permanent demand in the Central African capital, it would be desirable to encourage their processing in large quantities with a view to facilitating their sale on a permanent and annual basis in the markets of Bangui to meet the nutritional needs of urban populations.

From all these results, we can note that there is a high number of wild edible plants sold and consumed by the Bangui population. Among these, seventeen are an integral part of regional and even international trade, particularly in Belgium and France [8]. These are *Aframomum melegueta*, *Afrotyrax lepidophyllus*, *Cajanus cajan*, *Cola nitida*, *Corchorus olitorius*, *Dacryodes edulis*, *Elaëis guinensis*, *Gnetum africanum*, *Iringia gabonensis*, *Landolphia owariensis*, *Lippia adoensis*, *Monodora myristica*, *Ocimum gratissimum*, *Ricinodendron heudelothii*, *Solanum nigrum*, *Spondia cytharea*, *Xylopiya aethiopica*. Thus, the 86 plant resources inventoried contribute to the reduction of poverty through food security, the improvement of health, the household economy, the reduction of vulnerability and the maintenance of the balance of ecosystems. Generally speaking, Dibong et al [35] stated that the exploitation of NTFPs is carried out in an anarchic manner and falls within the informal sector. According to Van Zonneveld et al [36], traditional plant diversity is under threat particularly in Africa, and measures must be taken to conserve and use these resources rationally. It would therefore be essential to preserve this precious heritage because they constitute an important genetic base for the CAR.

5 CONCLUSION

This study highlighted the commercialization of at least 86 truly edible plant species. These results demonstrate that there is still a high diversity of wild food species in the Central African flora. The sale of these plant genetic resources would be based essentially on three factors: quality, taste and their availability. Also, they have great sociocultural and nutritional value. Their purchase prices are low and offer the greatest ease of access, although they are highly perishable. These prices vary according to the seasons, the products, the quantity offered for sale, the sellers and also from one market to another and that the sale of these wild species was an activity largely dominated by women, thus contributing to the household economy and consequently the reduction of poverty in urban areas.

The analysis of the results showed that the Leguminosae family is the richest; fruits and leaves are the best-selling plant organs; edible fruits remain the most predominant category of uses; and that there are a high number of edible wild species sold in the markets of Bangui. These species are mainly trees and are more present in forest ecosystems. It also appears that these species are not only consumed for nutritional needs but also and above all for the numerous medicinal virtues. Regarding the local naming of plant species, vernacular names can be descriptions, uses, properties of the plant or a locality. However, the absence of etymology or literal meaning for certain species could be considered as evidence of the loss of cultural identity in Bangui. The results also showed that among these 86 plant species, only 19 are domesticated; more than half are sold fresh; 39 are common to the six markets surveyed, 12 are noted only at the Pétévo market and 1 specifically at the KM5 Market.

This preliminary study on the Central African PSA sector makes it possible to identify a certain number of following recommendations:

- Inventory the PSAs in order to classify them in order of importance.
- Develop, if necessary, the domestication of these resources.
- Further popularize the consumption of PSAs as local foods.
- Improve processing and conservation techniques for these products.
- Improve formal distribution and circulation networks.
- Ensure the sustainable management of these resources and the protection of the environment.
- Monitoring PSA sellers throughout the year would necessarily be important to better appreciate price fluctuations and also collect data with a view to characterizing these species floristically and structurally.
- Finally, the dynamics of vegetation, the control of bush fires, rational harvesting, the protection of seeds, the ecological preservation of forest ecosystems, the savannah and the Central African steppe are measures to consider.

REFERENCES

- [1] Madiapevo, S. N., Ndotar, M., Worowounga, X., and Mandago, J. B., 2023. Ethnobotanical survey of indigenous leafy vegetables consumed by the populations of the prefecture of Lobaye in the Central African Republic. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 40 (1): 179-192.
- [2] Ahirwar, J. R., 2015. Some Edible Plants of Bundelkhand Region of India. *Research Journal of Recent Sciences*, 4: 165-169.
- [3] Bhagat, R. B., Chambhare, M., Mate, S., Dudhale, D and Zaware, B. N., 2016. Prospective wild edible fruit plants from part of northern Western Ghats (NWG), Mulshi (MS), India. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 4 (1): 15-19.
- [4] Nyeru, A., Achaye, I., Anywar, G. U., Malinga, G. M., 2023. Inorganic nutrients and heavy metals in some wild edible plants consumed by rural communities in Northern Uganda: Implications for human health. 9: e18999).
- [5] Anywar, G., Kirimuhuzya, C., 2015. Phytochemical and antibacterial activity of crude extracts of the pod of *Aframomum angustifolium* (Sonn.) K.Schum. *Eur. J. Biol. Res.*, 5 (2): 36-41.
- [6] Anywar, G.U., Oryem-Origa, H., Kamatenesi-Mugisha, M., 2017. Proximate nutrient composition of some wild edible medicinal plants from Uganda. *Afr. J. Food Nutr. Sci.*, 17 (3): 12215-12226.
- [7] Cantwell-Jones, A., Ball, J., Collar, D., Diazgranados, M., Douglas, R., Forest, F., Hawkins, J., Howes, M.J.R., Ulian, T., Vaitla B., Pironon, S., 2022. Global plant diversity as a reservoir of micronutrients for humanity. *Global plant diversity as a reservoir of micronutrients for humanity*. *Nat. Plants*, 8 (3): 225-232.
- [8] Betti JL, Ngankoué CM, Dibong SD, Singo AE, 2016. Ethnobotanical study of spontaneous food plants sold in the markets of Yaoundé, Cameroon. *Int.J.Biol. Chem. Sci.* 10 (4): 1678 – 1693.
- [9] Souane and Paulin, 1989. *Manual of Dendrology of dense forests*. Central African Republic. Ministry of Water, Forests, Hunting, Fisheries and Tourism, 683.
- [10] Lejoly, J, IIsowski and Ndjele, M., 1988. *Catalog of vascular plants of the sub-regions of Kisangani and TSHOPO (UPPER ZAIRE)*. Monogr. 3rd ed. Trav. Lab. Bot. Syst and phyto-soc-ULB, 135.
- [11] Bélé, B. J. (1992). *Glossary of Central African dense forest species*. Ministries of Water, Forests, Fisheries and Tourism.
- [12] Nacoulma - Ouédraogo O., 1996. *Plants and traditional medicinal practices in Burkina Faso: case of the Central Plateau*. Doctoral Thesis in Natural Sciences, Biochemistry Option, University of Ougadougou (Burkina - Faso), 320.
- [13] Bitsindou M. (1986). *Survey on traditional phytotherapy in Kindamba and Odzala (Congo) and analysis of convergence of use of medicinal plants in Central Africa*. Mémoire Doc (ined.), Free University of Brussels, Belgium, 482.
- [14] Nesamvuni C, Steyn NP, Potgieter MJ., 2001. Nutritional value of wild, leafy plants consumed by the Vhavenda. *South African Journal of Science* 97 (1-2): 97-104.
- [15] Balinga, M.P. 2003. *Edible caterpillars and larvae in the forest zone of Cameroon*. Consultation Report. FAO. Rome.
- [16] Agbidye F. S., Ofuya T. I., Akindele S. O., 2009. Marketability and Nutritional Qualities of Some Edible Forest Insects in Benue State, Nigeria. *Pakistan Journal of Nutrition*, 8 (7): 917-922.
- [17] Apema R., Mozouloua, D., Madiapevo, S.N., 2010. Preliminary inventory of edible wild fruits sold in Bangui markets. 313 – 319, Royal Botanic Garden: Kew, 313 - 319.
- [18] N'Gasse, G. 2004. *Contribution of forest insects to food security*. Non-timber forest products: Working paper 1. Rome, FAO.
- [19] Hlpe., 2018. *Nutrition and food systems*. Report of the High-Level Panel on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security. Rome 12: 10.
- [20] FAO. 1999. *Non-timber forest products and income creation*. Rome: FAO, 125.
- [21] Tingu, C. & Mathunabo, A., 2019. Analysis of the socioeconomic and food situation of households in the North and South Ubangi provinces in the Democratic Republic of Congo – Rev. Mar. Sci. Agron. Vet. 7: 203–211.
- [22] Outtara N.D, Elodie Gaille, Fred W. Stauffer & ADAMA Baka Yoko., 2016. Floristic and ethnobotanical diversity of wild edible plants in the Bondoukou Department (North-East of Ivory Coast) *Journal of Applied. Biosciences* 98: 9284–9300.
- [23] Vanié– Bi Irié G., Béné Kouadio, Zouzou M., 2021. Ethnobotanical study of spontaneous edible plants in the Department of Zuénoula (Center – West of Côte d'Ivoire), 20.
- [24] Kouassi Kouamé, A., Beugré Grah, A. M., Kouassi Kouakou, N., N'Dri Yao, D., Amani, G., Gnakri, D., 2018. Biochemical characterization of juices from three wild fruit species consumed in Côte d'Ivoire «*Adansonia digitata*, *Parkia biglobosa* and *Tamarindus indica*». *Open Science Journal*, 3 (4): 1-11.
- [25] Tra Bi, F. H., 1997. *Use of plants by humans in the Classified Forests of Haut-Sassandra and Scio, Ivory Coast*. Postgraduate doctoral thesis. UFR Biosciences, Cocody-Abidjan University, Ivory Coast, 215.
- [26] Ouattara D., 1999. *Contribution to the Ethnobotanical study of the Dassioko Classified Forest (Fresco, Ivory Coast)*. D.E.A dissertation in Tropical Ecology (Option: Plant). University of Cocody – Abidjan, Ivory Coast, 93.
- [27] Powell, B., Thilsted, S.H., Ickouit z., Termote, C., Sunderland, T. and Herforth, A., 2015. Improving diets with wild and cultivated biodiversity from across the landscape, *Food security* 7: 535 – 54, doi. Org. 10./007/s12571 – 015- 0466 – 5.
- [28] Mpiana P.T., Tshibangu D.S.T., Shetonde O.M., Ngbolua K.N., 2007. In vitro antitrepanocyte activity (anti-sickle cell anaemia) of some Congolese plants. *Phytomedicine*, 14: 192-195.

- [29] Bongo N.G., Inkoto L.C., Masengo A.C., Tshiana C., Lengbiye E., Djolu R., Mutwale K., Ngombe K., Mbemba T., Tshilanda D., Mpiana P.T., Ngbolua K.N., 2017. Antisickling, antioxidant and antibacterial activities of *Aframomum albobviolaceum* (Ridley) K. Schum, *Annona senegalensis* Pers. and *Mondia whitei* (Hook. f.) Skeels. *American Journal of Laboratory Medicine*, 2: 52-59.
- [30] Ramirez, C.R., 2007. Ethnobotany and the loss traditional knowledge in 21st century, *Ethnobotany Research and Applications*, 5: 245 – 247.
- [31] Louv, R. 2006. Last child in the woods: Saving or children from nature – Deficit Disord, Algonquin Books Chapel Hill. NC, in Atato A., Wala K., Batawila K., Woegon A.Y., Akpagan K., 2010. Diversity of spontaneous woody fruit trees in Togo, *Vegetable and cereal Science and Biotechnology*, Global Science Books, pp. 1– 9.
- [32] Bokdam J. & Droogers A.F. (1975). Contribution to the ethnobotanical study of the Wagenia of Kisangani (Zaire), Wageningen, National Agronomic Institute.
- [33] Wilkie, D.S. ey Carpenter, J.F., 1999. Bushmeat hunting in the Congo Basin: an assessment of impacts and options for mitigation. *Biodiversity and Conservation*. 8: 927–955.
- [34] Assogbadjo, A.E., R. Glèlè Kakaï, F. Houtoutou Adjalla, A.F. Azihou, G.F. Vohoué, T. Kyndt and J.T.K. Codjia, 2011. Ethnic differences in use value and use pattern of the threatened multipulpose scrambling shrub (*Cesalpinia bonduc* L.) in Benin: *Jornal of medical plants Research*, 5 (9): 1549 –1557.
- [35] Dibong SD, Mpondo Mpondo E, Ngoye A, Priso R., 2011. Inventory and biodiversity of species edible wild fruits sold in the markets of Douala, Cameroon. *International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology*, 2 (3): 303-311.
- [36] Van Zonneveld M., Kindt, R., Solberg, S., N’Daniko, S., & Dawson, I.K., 2020. Diversity and conservation of traditional African vegetables. Priorities for action. *Diversity and Distribution* (<https://doi.org/10.1111/ddi.13188>).

ANNEX 1. ILLUSTRATION OF SOME PLANT ORGANS OF PSAs SOLD IN THE MARKETS OF BANGUI



Leaves of *Talinum triangulare*



Leaves of *Gnetum africanum*



Leaves of *Ocimum gratissimum*



Fruits of *Myrianthus arboreus*



Fruits of *Xylopia aethiopica*



Fruits of *Borassus aethiopum*



Ricinodendron heudelothii almonds



Irvingia gabonensis almonds



Tamarindus indica pulp



Cola nitida seeds



Parkia biglobosa mustard



Monodora myristica seeds

Influence des écorces des racines du Manioc (*Manihot esculenta* Crantz) sur le rendement économique

[Influence of Cassava Root Bark (*Manihot Esculenta* Crantz) on economic yield]

Bondonga Mambomba Hervé

National Center for Remote Sensing (CNT), RD Congo

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

ABSTRACT: A study carried out at the INERA Mvuazi research center aimed to assess the influence of peel content in fresh cassava roots in order to recommend optimal methods for selecting high-performance clones, thereby reducing post-harvest losses due to peel. The aim was also to determine the genetic variability of varieties under selection at IITA/INERA Mvuazi with regard to their peel content.

The results revealed that peels influence fresh weight of peeled roots and dry yield, with variations ranging from 20% to 25% and 18% to 27% respectively at 12 and 15 months after planting (MAP). Significant genetic variability was observed for peel content at 15 MAP, where the Rav variety showed a lower percentage of fresh peel ($17.50 \pm 0.7\%$) compared to the MVZ 2008/0330 ($267.50 \pm 10.6\%$), MVZ 2008/002 ($217.50 \pm 24.7\%$), and OBAMA ($205.00 \pm 28.2\%$) varieties. Despite these differences, dry yields remained similar for all varieties.

At 15 MAP, the ranking of varieties according to unpeeled fresh root weight changed significantly after peeling. The Rav variety achieved a fresh peeled root weight of 825.00 ± 7.0 kg per ton of unpeeled root, outperforming the OBAMA (795.00 ± 28.2 kg), MVZ 2008/022 (782.50 ± 24.7 kg), and MVZ 2008/0330 (732.50 ± 10.6 kg) varieties, the latter having the lowest weight.

In conclusion, we recommend that breeders and processors give preference to the Rav variety for the development of high-performance clones and processing into by-products, in order to minimize post-harvest losses linked to peelings.

KEYWORDS: Cassava, yield, genetic variability, peelings, varietal selection, post-harvest losses.

RESUME: Une étude menée au centre de recherche de l'INERA Mvuazi visait à évaluer l'influence de la teneur en épluchures des racines fraîches de manioc afin de recommander des méthodes optimales de sélection des clones performants, réduisant ainsi les pertes post-récolte dues aux épluchures. L'objectif était également de déterminer la variabilité génétique des variétés en sélection à l'IITA/INERA Mvuazi en ce qui concerne leur teneur en épluchures.

Les résultats ont révélé que les épluchures influencent le poids frais des racines épluchées et le rendement sec, avec des variations allant de 20 % à 25 % et de 18 % à 27 % respectivement à 12 et 15 mois après plantation (MAP). Une variabilité génétique significative a été observée pour la teneur en épluchures à 15 MAP, où la variété Rav a présenté un pourcentage d'écorces fraîches plus faible ($17,50 \pm 0,7$ %) comparé aux variétés MVZ 2008/0330 ($267,50 \pm 10,6$ %), MVZ 2008/002 ($217,50 \pm 24,7$ %), et OBAMA ($205,00 \pm 28,2$ %). Malgré ces différences, le rendement en produits secs est resté similaire pour toutes les variétés.

À 15 MAP, le classement des variétés selon le poids des racines fraîches non épluchées a changé de manière significative après épluchage. La variété Rav a atteint un poids frais de racines épluchées de $825,00 \pm 7,0$ kg par tonne de racines non épluchées, surpassant les variétés OBAMA ($795,00 \pm 28,2$ kg), MVZ 2008/022 ($782,50 \pm 24,7$ kg), et MVZ 2008/0330 ($732,50 \pm 10,6$ kg), cette dernière ayant le poids le plus faible.

En conclusion, nous recommandons aux sélectionneurs et transformateurs de privilégier la variété Rav pour le développement de clones performants et la transformation en sous-produits, afin de minimiser les pertes après récolte liées aux épluchures.

MOTS-CLEFS: Manioc, rendement, variabilité génétique, épluchures, sélection variétale, pertes post-récolte.

1 INTRODUCTION

1.1 PROBLÉMATIQUE

Le manioc (*Manihot esculenta* Crantz) est une plante amylacée largement utilisée dans l'alimentation humaine sous diverses formes traditionnelles et industrielles. Les racines tubéreuses du manioc constituent une source majeure de glucides pour de nombreuses populations, particulièrement en Afrique. Il existe une grande diversité de variétés de manioc, comprenant des variétés douces, généralement pauvres en composés cyanogéniques, et des variétés amères qui nécessitent une transformation préalable avant consommation. Cultivé dans plus de 40 pays africains, le manioc atteint une production mondiale estimée à 250 millions de tonnes (FAO, 2010).

En République Démocratique du Congo (RDC), le manioc est un aliment de base essentiel, couvrant environ les deux tiers des besoins énergétiques quotidiens de la population. Ses feuilles sont également consommées comme légume principal. Le manioc joue un rôle crucial d'aliment anti-famine dans plusieurs régions d'Afrique et peut remplacer les céréales lors des faibles récoltes. En dehors de ses utilisations alimentaires, le manioc est une matière première importante pour l'industrie, où sa farine et son amidon servent à produire des biens tels que la colle, l'alcool, les textiles, et le papier. À l'échelle mondiale, il constitue la quatrième source d'amidon, et ses feuilles offrent une précieuse source de protéines (FAO et FIDA, 2000).

Dans les recherches agronomiques et les exploitations agricoles, le rendement en racines de manioc est souvent estimé à partir du poids des racines fraîches. Cependant, le classement des variétés selon ce critère peut différer lorsqu'on évalue le rendement en produit sec, qui exclut les parties non consommables telles que les épluchures, les fibres, et l'eau. En plus de l'eau éliminée (environ 12 %) lors de la transformation, les épluchures constituent un facteur déterminant du rendement sec, particulièrement pour les produits destinés à l'alimentation humaine, où l'épluchage permet d'éliminer les glucosides cyanogéniques et d'améliorer la qualité des produits finis.

1.2 HYPOTHÈSES

1. La teneur en épluchures des racines fraîches varie selon les variétés et le moment de la récolte, influençant ainsi l'estimation réelle du rendement sec utile.
2. Le classement des variétés en fonction du rendement des racines fraîches non épluchées peut changer lorsque les racines sont épluchées, selon le moment de la récolte après plantation.

1.3 OBJECTIFS

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'influence et l'importance de la teneur en épluchures des racines fraîches de manioc pour recommander une méthode optimale de sélection des clones performants, minimisant les pertes post-récolte dues aux épluchures. Un autre objectif est d'identifier la variabilité génétique des variétés en sélection à l'IITA/INERA Mvuazi en ce qui concerne la teneur en épluchures.

1.4 INTÉRÊT DU SUJET

Les résultats de cette étude fourniront aux chercheurs et aux producteurs des informations précieuses pour le choix de variétés à haut rendement après épluchage, améliorant ainsi la productivité et la rentabilité des processus de transformation.

1.5 SUBDIVISION DU TRAVAIL

Outre l'introduction et la conclusion, ce travail se divise en trois chapitres:

- Le premier chapitre présente des généralités sur la culture du manioc.
- Le deuxième chapitre décrit le milieu expérimental, le matériel utilisé, et les méthodes appliquées.
- Le troisième chapitre expose les résultats obtenus et leur discussion.

GENERALITE SUR LE MANIOC

Le manioc (**Manihot esculenta Crantz**) est une plante originaire de l'Amérique Centrale et du Sud, notamment du bassin amazonien. Introduit en Afrique au 16ème siècle par les Portugais, il s'est répandu dans diverses régions, principalement en Afrique de l'Ouest et centrale.

ÉCOLOGIE

Le manioc s'épanouit sous des climats chauds et humides, avec des précipitations annuelles variant de **600 à 4000 mm** et des températures optimales de **25° à 29°C**. Il pousse mieux dans des sols bien drainés, sablo-argileux, avec un pH de **5,5 à 6**.

DESCRIPTION BOTANIQUE

- **Racines:** Tubéreuses, riches en féculé, mesurant jusqu'à 1 m de long.
- **Tiges:** Plante arbustive atteignant **1 à 4 m** de hauteur, avec des tiges fragiles.

PRÉPARATION DU TERRAIN

La culture du manioc nécessite des sols dégagés en forêt, souvent avec des buttes espacées d'**1 m x 1 m**. En savane, le terrain est préparé en billons ou à plat.

PLANTATION ET ENTRETIEN

Il est important de planter à temps pour maximiser le rendement. Les travaux d'entretien incluent le regarnissage, le contrôle des mauvaises herbes, la phytosanitation, et la fertilisation. Les engrais minéraux (300 à 600 kg/ha de NPK) et organiques sont recommandés.

RÉCOLTE

La récolte se fait après **9 à 12 mois** pour les variétés précoces et jusqu'à **18 mois** pour les variétés tardives.

MALADIES ET RAVAGEURS

1. **Mosaïque africaine:** Transmise par la mouche blanche (*Bemisia tabaci*), cause des déformations des feuilles.
2. **Striure brune:** Provoquée par un virus ARN, affectant tous les organes de la plante.
3. **Anthracnose:** Champignon causant des chancres et la chute des feuilles.
4. **Ravageurs:** Incluent l'acarien vert, la cochenille farineuse et la cochenille des racines.
5. **Pourriture des racines:** Liée à des champignons dans des sols mal drainés.

2 MILIEU, MATERIEL ET METHODES

2.1 MILIEU

L'étude a été réalisée au **Centre de recherche de l'INERA Mvuazi**, situé dans le **territoire de Mbanza-Ngungu**, province du **Kongo-Central**, à **207 km au sud-ouest de Kinshasa**. Le centre se trouve à une altitude de **470 m**, à **14°54' de longitude Est** et **5°21' de latitude Sud** (Crabe, 1978).

2.2 CONDITIONS CLIMATIQUES

Le climat du site, selon la classification de Köppen, appartient à la **zone AW 4**, caractérisée par une saison sèche de **130 jours** et une saison des pluies de **sept mois**, allant d'octobre à mai avec une interruption en janvier et février. Deux périodes

de pluies maximales se situent en **mars-avril** et **novembre-décembre**. La pluviométrie moyenne annuelle est de **1375 mm**, et les températures varient entre **21,5°C** et **23,5°C** (Crabe, 1978).

L'essai a été mené spécifiquement sur le **site de Mankewa**, localisé à **14°53'688" de longitude Est, 05°26'952" de latitude Sud**, et une altitude de **432 m** (Mvuazi, 2014).

2.2.1 CONDITIONS ÉDAPHIQUES

Le sol du site de Mankewa où l'essai a été installé a une texture sablo-argileuse.

2.3 MATÉRIEL

L'essai de rendement avancé de manioc a été réalisé avec **sept variétés** fournies par l'IITA/INERA Mvuazi:

- Mvz 2010/067
- Mvz 2008/0223
- Mvz 2010/061
- Mvz 2010/003
- Mvz 2010/0330
- Mvz 2010/035
- Obama et Rav

2.4 MÉTHODES

2.4.1 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

L'étude a utilisé un **dispositif en blocs complets randomisés** avec **deux répétitions**, chaque répétition contenant **sept traitements** correspondant aux sept variétés de manioc.

- Chaque unité expérimentale (parcelle) mesurait **4 m x 10 m** (40 m²).
- L'espacement entre les parcelles d'une même répétition et entre les blocs était de **1 m**.
- La superficie totale utilisée pour l'essai était de **684 m²**.

Ci-dessous, est présenté le schéma du dispositif expérimental.

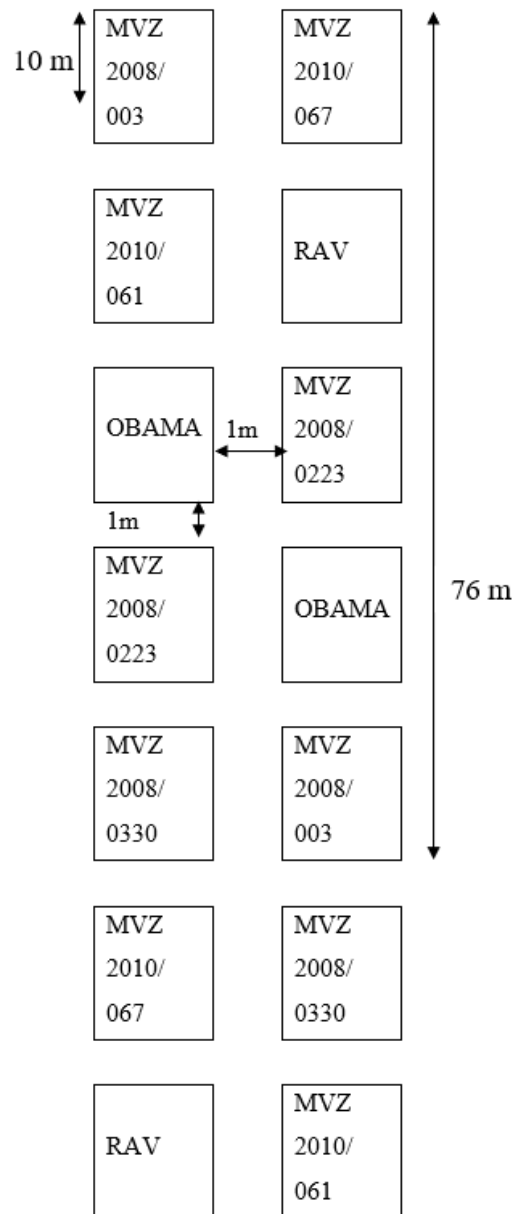


Fig. 1. Dispositif expérimental

Légende:

- T0.1: Obama →
 T0.2 : Rav → Témoins améliorés
 T2 : MVZ 2010/067
 T1 : MVZ 2008/0223
 T5 : MVZ 2010/061
 T4 : MVZ 2008/0330
 T3 : MVZ 2008/003

L'essai s'est déroulé du 21 février 2014 au 21 mai 2015, soit une durée de 15 mois. Donc 12 mois après plantation nous avons prélevé nos premières données et 15 mois après plantation nous avons prélevé les deuxièmes données.

2.4.2 HISTORIQUE DE L'ESSAI

Cet essai, établi par l'IITA/INERA Mvuazi, visait à évaluer le temps de maturité des variétés de manioc de **12 entre 24** Mois après plantation. Les informations sur l'historique de l'essai nous ont été fournies par les chercheurs responsables de l'essai.

2.4.3 PRÉPARATION DU TERRAIN

Les espèces adventices dominantes étaient *Carex spp.*, *Tithonia diversifolia*, et *Imperata cylindrica*. Les opérations comprenaient la délimitation, le défrichage, le labour et l'hersage.

2.4.4 BOUTURAGE ET SOINS CULTURAUX

Le bouturage a été effectué le **21 février 2014** avec un espacement de **1 m x 1 m**. Les soins culturaux incluaient le regarnissage et le sarclage pour maintenir des densités constantes et un champ propre.

2.4.5 RÉCOLTE

Elle a eu lieu le **21 février 2015** et le **28 mai 2015** pour les données à **12 et 15 MAP** respectivement.

2.4.6 OBSERVATIONS RÉALISÉES

Les observations ont été faites sur des échantillons de **10 kg de racines fraîches** (convertis en **1000 kg** pour faciliter les calculs):

- a) **Poids frais des épluchures:** Mesuré avec une balance.
- b) **% de teneur en écorce fraîche:** Calculé par la formule $(100 / 1000) \times \text{poids frais épluchures des racines}$.
- c) **Poids frais des racines épluchées (en kg):** hormis les épluchures, nous avons également pesé la pulpe à l'aide d'une balance pour la quantifier.
- d) **% de la matière sèche de la pulpe:** la méthode de séchage à l'étuve a été adoptée. Nous avons découpé en petits morceaux les racines épluchées, de ces morceaux nous avons prélevé deux échantillons dont un de 120 mg et un autre de 150 mg. Ces échantillons ont ensuite été séchés pendant 72 heures à l'étuve à 65 °C. Le % de la matière sèche a été calculé par la formule suivante: $(\text{poids sec} - \text{poids vide}) / (\text{poids frais} - \text{poids vide}) \times 100$. Cette méthode a été utilisée pour les échantillons à 15 MAP.
- e) **Rendement de produits sec ou rendement économique (en kg):** nous l'avons calculé suivant la formule ci-après: $\text{poids frais des racines épluchées} \times (\% \text{ de la matière sèche de la pulpe} / 100)$.

2.4.7 ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES

Les données ont été saisies avec **Microsoft Excel** et analysées avec **Statistix 8.0**. Une analyse de variance a été réalisée, suivie d'un test de différence significative (PPDS) à **5% de probabilité** pour comparer les moyennes des variétés.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats de la présente recherche concernent les poids frais des épluchures des racines, le % des écorces fraîches, le poids frais des racines épluchées, le % de la MS des pulpes et le rendement en produits secs (économique), et sont repris dans les tableaux 2 et 3 respectivement pour 12 et 15 mois après la récolte.

Tableau 1. Poids frais des épluchures des racines, % des écorces fraîches, poids frais des racines épluchées, % de la MS des pulpes, rendement en produits secs (économique) à 12 mois après plantation

Traitement	Acquisition des racines fraîches (kg)	Poids frais des épluchures des racines (kg)	% des écorces fraîches	Poids frais des racines épluchées (kg)	% de la MS des pulpes	Rendement en produits secs (économique) (kg)
OBAMA	1000	227 ± 69,3a	22,70 ± 6,9a	773,00 ±69,3 a	26,24 ± 1, b	203,20 ± 26,3b
RAV	1000	234 ± 65,1a	23,40 ± 6,5a	766,00 ±65,1a	29,41± 1,3ab	225,71 ± 29,2ab
MVZ 2008/0223	1000	237 ± 9,9a	23,70 ± 0,9a	763 ±9,9a	34,07± 0,3ab	260,01 ± 5,6ab
MVZ 2010/067	1000	202 ± 11,3a	20,20 ± 1,1a	798 ±11,3a	39,56± 1,7a	315,79 ± 18,3a
MVZ 2008/003	1000	220 ± 42,4a	22,00 ± ,2a	780 ±42,4a	31,61 ± 9,7ab	248,62 ± 89,0ab
MVZ 2008/0330	1000	249 ± 19,8a	22,20 ± 1,9a	778 ±19,8a	27,58± 1,4ab	214,71 ± 16,4ab
MVZ 2010/061	1000	249 ± 72,1a	24,90 ± 7,2a	751 ± 72,1a	32,98± 6,9ab	245,18 ± 28,3ab

Les résultats sont présentés sous forme de moyennes ± écart type des moyennes. Les valeurs suivies d'une même lettre sur la même colonne ne sont pas significativement différentes selon l'analyse statistique au seuil de probabilité de 5%.

Du Tableau des résultats à 12 MAP, il ressort:

- Qu'il n'existe pas de différence significative entre les variétés sous étude sur la teneur en épluchures des racines fraîches et sur le pourcentage des écorces fraîches.
- Pour ce qui est le poids frais des racines épluchées, aucune différence significative n'est également observée entre les variétés étudiées.
- Concernant le pourcentage de la MS des pulpes, une différence significative est constatée entre la variété MVZ 2010/067 et la variété OBAMA. La première a montré un pourcentage (39,56± 1,7) supérieur à celui de la seconde qui s'élève à 26,24 ± 1,0; mais ces deux valeurs sont équivalentes à celles de toutes les autres variétés en essai. Une tendance similaire est remarquée pour le rendement en produits secs (MVZ2010/067=315.79± 18,3, OBAMA= 203,20± 26,3). Ceci serait dû à la quantité de l'amidon et au temps de récolte.

D'après l'analyse statistique, les écorces chez les différents clones influencent de la même façon les poids frais des racines épluchées et le rendement en produits secs à une hauteur variant de 20 à 25 %.

Les résultats relatifs au poids frais des épluchures des racines, % des écorces fraîches, poids frais des racines épluchées, % MS de la pulpe et au rendement en produits secs (économique) à 15 mois après plantation.

Tableau 2. Poids frais des épluchures des racines, % teneur des écorces fraîches, poids frais des racines épluchées, % de la MS de la pulpe et rendement en produits secs (économique) à 15 mois après plantation

Traitement	Acquisition des racines fraîches (kg)	Poids frais des épluchures des racines (kg)	% en écorces fraîches	Poids frais des racines épluchées (kg)	% de la MS des pulpes	Rendement en produits secs (économique) (kg)
OBAMA	1000	205± 28,2 bc	20,50 ± 2,8 bc	795± 28,2 bc	44,89 ± 6,4 ab	355,97 ± 38,3 a
RAV	1000	175± 7,0 d	17,50 ± 0,7 d	825± 7,0 a	45,23 ± 0,8 ab	373,12 ± 4,1 a
MVZ 2008/022 3	1000	217,50 ± 24,7b	21,75± 2,4 b	782,50 ± 24,7 c	46,50± 1,4 ab	364,05 ± 23,2 a
MVZ 2010/067	1000	202,50 ± 3,5 bcd	20,25 ± 0,3 bcd	797,50 ± 3,5 abc	42,49 ±0,9 ab	338,91 ± 9,0 a
MVZ 2008/003	1000	182,50± 24,7 cd	18,25± 2,4 cd	817,50 ± 24,7 ab	45,14± 1,4 ab	369,23 ± 22,6 a
MVZ 2008/0330	1000	267,50 ± 10,6 a	26,75 ± 1,0 a	732,50± 10,6 d	50,09 ±2,8 a	367,06 ± 25,8 a
MVZ 2010/061	1000	202,50 ± 10,6 bcd	20,25 ± 1,0 bcd	797,50 ± 10,6 abc	41,68 ± 3,7 b	332,24 ± 25,7 a

Les résultats sont présentés sous forme de moyennes ± écart type des moyennes. Les valeurs suivies d'une même lettre sur la même colonne ne sont pas significativement différentes selon l'analyse statistique au seuil de probabilité de 5%.

Le tableau ci-dessus montre des différences significatives entre les variétés pour la plus part de paramètres observés, et rapporte que:

- Concernant le poids frais des épluchures des racines, celui de la variété MVZ 2008/0330 (267,50 ±10,6) est plus élevé que ceux d'autres clones qui se sont tous comportés de la même manière, sauf une autre différence constatée pour la variété Rav qui se révèle inférieure (17,50±0,7) aux variétés MVZ/2008/0223 (217,50±24,7) et OBAMA (205,00±28,2). Une même tendance est observée pour le pourcentage en écorces fraîches. Ceci serait dû à l'épaisseur de l'écorce et de la quantité de l'eau contenu dans les épluchures.
- La variété Rav enregistre un poids frais (825,00 ±7,0) des racines épluchées supérieure aux variétés MVZ/2008/0330 (732.50±10,6), MVZ/2008/0223 (782.50 c±24,7) et OBAMA (795,00±28,2), mais égale aux restes des variétés qui sont à leur tour équivalentes entre-elles. Le poids frais des racines épluchées le plus faible est obtenu avec la variété MVZ/2008/0330 (732.50±10,6)
- La variété MVZ 2008/0330 contient un pourcentage (50,09±2,8) de la MS des pulpes supérieur à celui de la variété MVZ 2010/061 s'élevant à 41,68±3,7; mais qui sont tous deux équivalents à ceux d'autres clones. Cette différence serait due à la quantité de l'amidon et le temps de récoltes.
- Quant au rendement en produits secs, aucune différence significative n'est observée entre toutes les variétés sous étude.

Les écorces du manioc ont influencé, suivant les variétés, les poids frais des racines épluchées et toutes de la même façon, le rendement sec à une hauteur qui varie de 18% à 27 %. La variété RAV avec des écorces fines dont le pourcentage en épluchures est de 17,5a donné 82,5 % de pulpes après épluchage contre 73,3% pour la variété MVZ/2008/0330 dont les épluchures sont assez épaisses représentant ainsi 26,7%.

Cette étude a examiné l'impact des écorces des racines de manioc sur le rendement en produits transformés afin d'identifier des clones à faible perte post-récolte et d'évaluer la variabilité génétique des variétés en sélection à l'IITA/INERA Mvuazi. Les résultats clés sont:

- Les écorces influencent le poids des racines épluchées et le rendement sec, avec des variations allant de **20 % à 25 % à 12 MAP** et de **18 % à 27 % à 15 MAP**.
- Une variabilité génétique significative pour la teneur en épluchures a été observée à 15 MAP. La variété **Rav** présente la plus faible teneur en écorces ($17,50 \pm 0,7 \%$) par rapport à **MVZ 2008/0330 ($267,50 \pm 10,6 \%$)**, **MVZ/2008/002 ($217,50 \pm 24,7 \%$)**, et **OBAMA ($205,00 \pm 28,2 \%$)**. Toutefois, toutes les variétés ont un rendement économique similaire.
- À 15 MAP, la variété **Rav** a le meilleur poids des racines épluchées ($825,00 \pm 7,0$ kg sur 1000 kg), surpassant les variétés **OBAMA ($795,00 \pm 28,2$ kg)**, **MVZ/2008/022 ($782,50 \pm 24,7$ kg)**, et **MVZ/2008/0330 ($732,50 \pm 10,6$ kg)**.

4 CONCLUSION

La présente étude, conduite au Centre de recherche de l'INERA Mvuazi, s'est attachée à analyser l'influence des écorces des racines de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) sur le rendement économique, dans une perspective d'amélioration de la sélection variétale et de réduction des pertes post-récolte. En mettant l'accent sur la teneur en épluchures, ce travail apporte un éclairage complémentaire aux approches classiques d'évaluation du rendement, souvent limitées au poids des racines fraîches non épluchées.

Les résultats obtenus démontrent clairement que la proportion des écorces constitue un facteur déterminant du rendement réel utilisable, aussi bien en termes de poids des racines épluchées que de rendement en matière sèche. À 12 mois après plantation, les pertes liées aux épluchures varient entre 20 et 25 %, tandis qu'à 15 mois après plantation, elles s'échelonnent entre 18 et 27 %, selon les variétés étudiées. Ces variations soulignent l'importance du stade de récolte et confirment que l'estimation du rendement économique ne peut se limiter au seul poids brut des racines.

L'étude a également mis en évidence une variabilité génétique significative entre les variétés, particulièrement marquée à 15 mois après plantation. Certaines variétés présentent des écorces plus épaisses et une proportion élevée d'épluchures, ce qui se traduit par une réduction notable du poids des racines épluchées. À l'inverse, la variété Rav se distingue par une faible teneur en écorces, une proportion élevée de pulpe après épluchage et, par conséquent, un rendement économique supérieur en termes de racines utilisables. Ce résultat met en évidence que le classement des variétés selon le rendement en racines fraîches non épluchées peut être profondément modifié après épluchage, remettant en question certaines pratiques de sélection basées uniquement sur le rendement brut.

Par ailleurs, bien que des différences significatives aient été observées pour la teneur en écorces, le poids des racines épluchées et le pourcentage de matière sèche, le rendement final en produits secs est resté globalement comparable entre les variétés. Cette observation suggère que la quantité d'amidon, la teneur en eau et le moment de la récolte interagissent avec la structure des racines pour déterminer le rendement final. Toutefois, du point de vue des transformateurs et des producteurs, la quantité de pulpe obtenue après épluchage demeure un critère essentiel, car elle conditionne directement la rentabilité des opérations de transformation et la réduction des déchets.

En définitive, cette étude souligne la nécessité d'intégrer la teneur en épluchures comme un critère clé dans les programmes de sélection variétale du manioc. La prise en compte de ce paramètre permettrait d'orienter la sélection vers des clones à haut rendement économique réel, mieux adaptés aux besoins des producteurs et des transformateurs. À cet égard, la variété Rav apparaît comme un matériel végétal particulièrement prometteur pour le développement de clones performants et pour la transformation agroalimentaire, en raison de ses faibles pertes post-récolte liées aux épluchures.

Enfin, les résultats obtenus ouvrent des perspectives pour des recherches futures, notamment l'évaluation de la relation entre la structure anatomique des écorces, la teneur en amidon et la qualité technologique des produits transformés. De telles investigations contribueraient à renforcer durablement la productivité et la compétitivité de la filière manioc, tout en répondant aux enjeux de sécurité alimentaire et de valorisation des ressources agricoles locales.

RECOMMANDATION

La variété **Rav** est privilégiée pour la sélection et la transformation de manioc afin de réduire les pertes dues aux épluchures.

REFERENCES

- [1] Anonyme, (2006): Mémento de l'agronome. Ministère des affaires étrangères, CIRAD-GRET, 1698pp.
- [2] Anonyme, 2009: Sévérité et incidence des symptômes racinaires de la striure brune du manioc.
- [3] Briant ET Johns, 1940: Cassava investigations in Zanzibar. *east African Agricultural journal* 5: pp 404-412.
- [4] CRABBE: Recueil d'instrument climatologique. INERA YANGAMBI: pp 7-15.
- [5] Edward, 1974: Mineral nutrition of cassava and adaptation to fertility conditions: pp 1-5.
- [6] FAO (Food and agriculture organization), 1985. FAO production yearbook 1985: 105pp, pp 55-65.
- [7] FAO (Food and agriculture organization) et FIDA (Food international de Développement Agricole), 2000: L'économie du manioc dans le monde: faits, tendances et perspectives, FAO, Rome, 235 pp, p130-137.
- [8] Fargette et Farget, 1990: Résumé sur l'épidémiologie du virus de la mosaïque africaine du manioc, Rapport annuel orstom, Abidjan Cote d'Ivoire, p1-6.
- [9] Fargette D., 1987: Epidémiologie de la mosaïque africaine du manioc en Cote d'Ivoire, Thèse ORSTOM, Paris, 243 pp.
- [10] Fauguet C., Thouvenel J-C. et Fargette D., 1980: la mosaïque Africaine du manioc et son contrôle.
- [11] FAO, 2010: Production manioc, 38pp, p1-3.
- [12] Hillocks et Thresh J.M., 2000: Les viroses de la mosaïque et de la striure brune du manioc en Afrique, un guide comparatif des symptômes et de l'étiologie, p 1-7.
- [13] IITA, 1996: Annual report 1999, Ibadan, Nigeria.
- [14] IITA, 2000: The assessment of cassava and dieases in Kinshasa and Bas-Congo edition, ibandan: 21 pp.
- [15] Mahungu Nzolameso, 2008: Formation sur l'importance de la culture de manioc: 40pp, p 1-10.
- [16] Mombambo, 2012: Cour de phytotechnie spéciale Ir 1 Université Kongo. 106pp, p 25-35.
- [17] N'zue boni 2005: Bien cultiver le manioc en cote d'ivoire, 25 pp, p15 -20.
- [18] PRONAM, 1984: Rapport annuel. Ministère de l'Agriculture et du Développement rural: p 12-26.
- [19] Romain H. Raemaeke, 2001: Agriculture en Afrique tropicale et son contrôle. DGCI. Bruxelles 1634 p.
- [20] Sylvestre et Arradeaus, 1984: Le manioc: éd Maisonneuve et la rose, paris Ve: 10-140 pp.
- [21] STOREY ET NICHOLS, 1938: Studies on the manioc of cassava. *Annals of applied biology*.
- [22] Sequeira et Harison, 1982: La mosaïque Africaine de manioc et sont contrôle. *Ann.App.Biol.* 101: 33-43.
- [23] Google, 201: Généralités sur le manioc.
- [24] Google, 2014: Anthracnose du manioc (PDF).
- [25] Google 2014: Importance de la transformation de manioc.

Diagnostic Qualitatif et Optimisation du système d'Alimentation en Eau Potable d'Amtiman, Province du Salamat au Tchad

[Qualitative Diagnosis and Optimization of the Drinking Water Supply System of Amtiman, Salamat Province in Chad]

Epolyte Adjeffa¹ and Kaziri Adeline²

¹Département de Géographie, Ecole Normale Supérieure de N'Djamena, Chad

²Département de SVT, Ecole Normale Supérieure de N'Djamena, Chad

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

ABSTRACT: This study aims to assess the current state of the drinking water supply system in the city of Amtiman, evaluating both its performance indicators and the quality of the distributed water. Following this assessment, a technical proposal is presented, along with a cost estimate for optimization to ensure a continuous drinking water supply to the city's residents. To this end:

The Epanet software was used to model the network.

The reservoir, performance indicators, and population estimate were determined using an analytical method. The results obtained show that it is necessary to (i) construct an additional 300m³ elevated reinforced concrete reservoir to serve the estimated 69,706 inhabitants in 2044, (ii) extend the water distribution network to 14,816 km, for a total of 20,347 km, and (iii) drill 6 new boreholes capable of pumping at least 40m³/h each, connected by a 140mm diameter HDPE supply pipeline. The total cost of the rehabilitation amounts to 975,798,050 FCFA.

KEYWORDS: Amtiman, water, diagnosis, optimization, Epanet.

RESUME: L'étude a pour but de faire un état de lieu du système d'alimentation en eau potable de la ville d'Amtiman aussi bien dans l'évaluation de ses indicateurs des performances, que la qualité d'eau distribuée. A l'issue de ce diagnostic, une proposition technique est faite suivi d'une estimation du coût de l'optimisation afin de garantir un service continu dans la distribution de l'eau potable aux populations de ladite ville. Pour cela:

Le logiciel Epanet a servi à la modélisation du réseau.

Le réservoir, les indicateurs de performances et l'estimation de la population ont été déterminés par la méthode analytique. Les résultats obtenus montrent qu'il faut (i) un réservoir surélevé de 300m³ en béton armé supplémentaires pour desservir les 69 706 habitants estimés en 2044 (ii) étendre le réseau de distribution de l'eau à 14.816 kml soit un total de 20,347kml et (iii) réaliser 6 forages nouveaux pouvant pomper au moins un débit de 40m³/h chacun, reliés par une conduite d'adduction en PEHD de diamètre 140mm. Le coût total de la réhabilitation s'élève à 975 798 050 FCFA.

MOTS-CLEFS: Amtiman, eau, diagnostic, optimisation, Epanet.

1 INTRODUCTION

L'eau douce est une denrée qui devient de plus en plus rare dans beaucoup de régions du monde, notamment en Afrique subsaharienne [1]. Cette denrée qui ne représente que 2.8% du volume total de l'eau de la planète contre 97.2% pour l'eau salée [2] subit une forte pression pour la satisfaction des besoins de la population. La pression sur les ressources en eau douce va encore augmenter avec la forte croissance démographique, la nécessaire croissance de la production agroalimentaire, le développement

industriel et l’amélioration des conditions de vie de la population [3]. Selon [4], l’Homme doit disposer d’une eau de qualité et de 40ml/kg du poids/j pour s’hydrater, éliminer les déchets et véhiculer les nutriments dans les organes.

Le Tchad dispose de ressources en eau abondantes qui contribuent à l’économie du pays mais sont affectées par les effets anthropiques et climatiques. La disponibilité et l’exploitabilité des ressources, principalement souterraines, varient fortement à travers le pays, compliquant la mobilisation de l’eau dans les régions de socle à l’est et au nord. L’agriculture est le plus gros utilisateur (près de 80%) et les prélèvements sont inférieurs à 5% du potentiel de ressources renouvelables. Toutefois, sous l’effet des changements climatiques, le pays est susceptible de connaître un déclin persistant de la pluviométrie, associé à des épisodes plus fréquents et plus sévères d’inondations et de sécheresses, accroissant la vulnérabilité de l’agriculture et de l’élevage qui sont la source de revenus de 80% de la population. L’urbanisation conjuguée à une absence d’assainissement adéquat conduit par ailleurs à une contamination bactériologique des nappes superficielles utilisées par de nombreux puits et forages privés.

Malgré des efforts marqués d’équipement en points d’eau et en adductions d’eau potable depuis 2003, le Tchad n’a pas atteint son objectif du millénaire pour le développement (60% de la population ayant accès à l’eau potable en 2015) et se situe très en-deçà de la moyenne de l’Afrique sub-saharienne, selon [5]. Le taux d’accès à une source d’eau améliorée est de 55,7% en 2017. Plus de la moitié des ménages n’ont accès qu’à un service de base. Seulement 25% de la population urbaine bénéficie de branchements domiciliaires mais qui ne répondent pas aux critères d’un service géré en toute sécurité, qu’il s’agisse de la qualité de l’eau fournie ou de la continuité du service. La ville de Amtiman, située dans la province du Chari-Baguirmi est alimentée par une muni AEP réalisée en 2002 et gérée par une Association des usagers de l’eau. Du constat du terrain, le système n’arrive plus à fournir un service d’eau continu de qualité pour la satisfaction des besoins en eau de la ville. D’où l’objectif global assigné à cette étude, contribué à l’amélioration des conditions de vie de la population locale par l’accès à l’eau potable fournie par un service continu et de qualité.

De manière spécifique, il s’agit de:

1. Faire un état de lieu du système d’AEP actuel;
2. Evaluer les indicateurs des performances;
3. Faire des propositions techniques et estimer le coût de l’optimisation.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1.1 MATÉRIEL

2.1.2 LOCALISATION DE LA VILLE D’AMTIMAN

Amtiman est le chef-lieu de la Province du Salamat, elle est située au Sud-Est du Tchad entre 9° et 12° parallèle Nord et le 20° méridien Est.

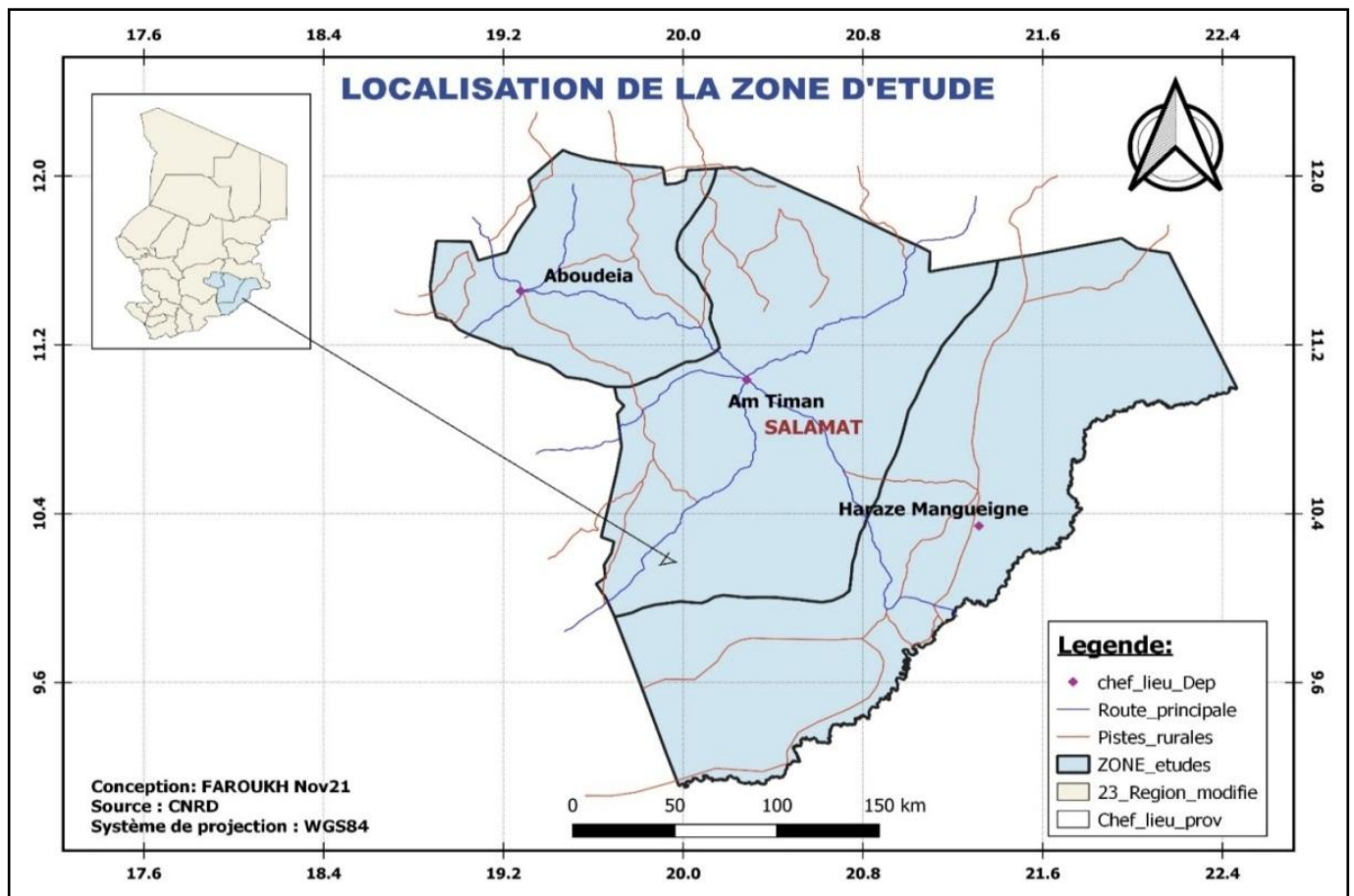


Fig. 1. Localisation de la ville d'Am Timan

2.1.2.1 TRAITEMENT DES DONNÉES

Après la collecte, le traitement des données a utilisé le tableur Excel 2019 pour la saisie et la correction des données. Le logiciel EPANET a été utilisé pour la simulation des réseaux sous-pressions, le calcul le débit de chaque tuyau, la pression dans les nœuds, le niveau de l'eau dans les réservoirs, le dimensionnement des zones de fonctionnement déficitaire et enfin le dimensionnement de l'extension du réseau de distribution. L'identification des nœuds s'est fait sous Google earth avant leur exportation sous le Global Mapper afin de déterminer les cotes. Enfin la réalisation des cartes est faite sous le logiciel QGIS 2.16 alors que le plan de masse et les détails des ouvrages sont dessinés sous Auto CAD. Le procédé de tracé en plan du réseau a consisté à la prise des coordonnées géographiques des nœuds à l'aide du GPS de marque Garmin 64 puis leur exportation sous le logiciel QGIS afin d'être convertis en données vectorielles (SHP). Les nœuds sont reliés par des droites et convertis en KLM pour être exporter vers google earth. L'Export de KLM de QGIS vers Google earth est fait grâce à la connexion.

2.1.3 MÉTHODES

L'étude a croisé quatre méthodes (i) l'état de lieu du système d'AEP (ii) l'évaluation des indicateurs des performances (iii) l'analyse de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau distribuée et (iv) une proposition technique suivi de l'estimation du coût de l'optimisation.

2.1.3.1 ETAT DES LIEUX DU SYSTEME D'AEP A L'INSTALLATION

Toutes les composantes du Système d'AEP de la ville d'Am Timan ont été inspectées et des photographies des lieux est faite suivi d'un narratif, le tout présenté sous forme des résultats.

2.1.3.2 DETERMINATION DES INDICATEUR DE PERFORMANCE DU SYSTEME

RENDEMENT DU RESEAU DE DISTRIBUTION (R)

Le réseau de distribution peut occasionner d’énormes pertes par sa nature et ses points faibles que sont les branchements et les nœuds. Le rendement d’un réseau de distribution est la mesure d’écart entre le volume entrant dans le réseau et le volume consommé ou facturé. Il se calcule par la formule suivante:

$$R = \frac{Vf}{Vd}$$

Vf: volume facturé; Vd: volume distribué

Tableau 1. Appréciation du rendement primaire

50% à 60%	Mauvais
60% à 70%	Médiocre
70% à 75%	Moyen
75% à 80%	Bon
80% à 85%	Très bon
85% à 90%	Excellent

INDICE LINEAIRE DE CONSOMMATION (ILC)

L’indice linéaire de consommation (ILc) est le rapport entre le volume consommé et la longueur du réseau de distribution. Il se calcule comme suit:

$$ILc = \frac{Vd}{Lr}$$

ILc: Indice linéaire de consommation

Vd: volume distribué

Lr: longueur du réseau

Il est important dans la qualification d’un réseau le tableau N°2 caractérise cet indicateur.

Tableau 2. Classification des réseaux

Type de réseau	Indice de consommation	
	(m3/j/km)	(m3/h/km)
Réseau de type rural	lc<10	lc<0,417
Réseau de type intermédiaire	10<lc <30	0,417 <lc < 1,25
Réseau de type urbain	lc>30	lc>1,25

INDICE LINEAIRE DE PERTE (ILP)

L’indice linéaire de perte (ILP) est un facteur traduisant soit l’état soit la qualité de mise en œuvre du réseau. Il permet d’avoir une idée de pertes d’eau par kilomètre. Il est calculé de la façon suivante:

$$ILp = \frac{Vp}{Ld \times 365}$$

Ilp: indice linéaire de perte;

Vp: volume perdue;

Ld: longueur de distribution

Tableau 3. Valeurs de référence de l'ILP

Indice de perte (m3/j/km)	Rural	Intermédiaire	Urbain
	< 25 abonnés/km	< 50 abonnés/km	> 50 abonnés/km
Bon	< 1,5	ILP < 3	ILP < 7
Acceptable	1,5 < ILP < 2,5	3 < ILP < 5	7 < ILP < 10
Mediocre	2,5 < ILP < 4	5 < ILP < 8	10 < ILP < 15
Mauvais	> 4	ILP > 8	ILP > 15

INDICE DE CONSOMMATION PAR HABITANTS (ICH)

Cet indice permet de savoir si l'eau est utilisée à bon escient ou gaspillée. Il est déterminé en faisant le rapport entre le volume total comptabilisé chez les abonnés et le nombre d'habitants de la période. Il est obtenu par la formule suivante:

$$ICH = \frac{Vc}{P}$$

ICH: Indice de consommation par habitant;

Vc: Volume comptabilisé;

P: population ou nombres d'habitants

2.1.4 ANALYSE AU LABORATOIRE

ANALYSE DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES

Trois échantillons d'eau ont été prélevés dans trois bornes fontaines de la ville. Certains paramètres tels que le potentiel d'hydrogène (pH), la Température, la conductivité électrique ont été mesurés in situ. Les échantillons prélevés ont été conservés dans une glacière et acheminés le même jour du prélèvement au Laboratoire Nationale des Eaux (LNE), branche de Mongo pour analyse. Les paramètres chimiques analysés sont d'une part, les ions Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻ et HCO₃⁻ dosés suivant la méthode volumétrique et d'autre part, les ions Na⁺ et K⁺ qui sont déterminés par la méthode spectrométrique utilisant le spectrophotomètre à flamme. Enfin les éléments tels que le Fer total, les ions SO₄²⁻, NH₄⁺ et NO₃⁻ sont déterminés par le spectrophotomètre DR2800. L'analyse de ces paramètres vise à déterminer la concentration de ces éléments dans l'eau de consommation puis à se prononcer sur le risque d'une contamination chimique.

ANALYSE DES PARAMÈTRES MICROBIOLOGIQUES

L'analyse bactériologique a été effectuée en janvier 2024. Trois échantillons ont été prélevés et analysés au laboratoire Nationales des eaux (LNE), branche de Mongo. L'analyse a porté sur les germes indicateurs de la pollution tels que: les Coliformes totaux, les Entérocoques fécaux, les Escherichia coli et les flores aérobies totales. Le procédé d'analyse a été basé sur l'ensemencement sur des milieux des cultures, chromocult (gélose) pour les coliformes totaux, fécaux et Escherichia coli et le milieu P pour les flores aérobies totales. Les échantillons ont été préalablement filtrés sur une membrane avant leur ensemencement sur les milieux de culture respectifs. La durée d'incubation varie de 24 à 48 heures, à une température de 37°C pour les coliformes totaux et de 44°C pour les coliformes fécaux. Elle est de 24 heures sous la température de 37°C pour les flores aérobies totales.

2.1.4.1 ESTIMATION DE LA POPULATION A DESSERVIR

L'estimation de la population actuelle et future de la ville de Amtiman est calculée par la formule: **Pf = P0 (1+ T) ⁿ** ou **Pf**: Population future; **T=3,6%**: le taux d'accroissement (**source: INSEED**); **n**: le nombre d'année (n = 2044 – 2024 = 20 ans); **P0**: Population à l'année de référence (**20 943 habitants, source: INSEED**);

2.1.4.2 ESTIMATION DES BESOINS EN EAU

L'estimation des besoins en eau s'est basée sur la norme de l'OMS qui fixe des dotations en fonctions des secteurs consommateurs.

Tableau 4. Normes OMS 2015

Pour le nettoyage des rues et l'arrosage des jardins	3 à 5 l/j/m ²
Pour les ménages ou usages domestiques	60L/jour /habitants
Hôpitaux	300 à 600l/jour /lit
Pour les administrations	100 à 200 l/jour/employé
Pour les Ecoles Primaires	10 à 20 l/jour/élève
Pour les Lycées	20 à 30 l/jour/élève
Pour les Facultés et Foyers Universitaires	100 à 200l/jour/étudiant

- BESOINS DOMESTIQUE: de 60 l/j/hbts (Selon le SDEA).
- BESOINS PUBLICS: 10% de la consommation domestique moyenne journalière
- BESOINS DIVERS: 5% de consommation domestique moyenne journalière

Tableau 5. Estimation des besoins en eau, de la population de la ville

DESIGNATIONS	UNITE	FORMULE
POPULATION	Habitant	$PF = P_0(1+T)^n$
BESOIN DE PRODUCTION JOURNALIERE(Qmoyj)	m ³ /j	$Q_{moyj} = 34362 * 60 / 1000$
BESOIN JOURNALIER MAXIMAL (Qmax)	m ³ /j	$Q_{maxj} = 2061.72 * 1.3$
DEBIT MOYEN HORAIRE	m ³ /h	$Q_{moyh} = Q_{maxj} / 24$
DEBIT DE POINTE HORAIRE	m ³ /h	$Q_{maxh} = 1.37 * 111.68$
BESOIN DES SERVICES DIVERS	m ³ /h	$BSD = 153 * 5\%$
BESOIN DES SERVICES PUBLICS	m ³ /h	$BSE = 10\% * 153$
PERTE DÛ AU RENDEMENT DU RESEAU	m ³ /h	$Pertes = x * 10\%$
BESOIN DU JOUR DE POINTE TOTAL	m ³ /h	$BJPT = BPJ * Cps$
COEF DE PERTE HORAIRE	Unité	
DEBITS DE 2 FORAGES	m ³ /h	32
NOMBRE D'HEURE DE POMPAGE PAR JOUR	Unité	120/32
NOMBRE DE FORAGES	m ³ /h	$NF = QI / QF$ NF : nombre des forages QI : débit d'eau transite depuis le forage de piquage jusqu'à la station de traitement (m ³ /j); QF : débit de forage (m ³ /j)

2.1.4.3 CALCUL DE LA CAPACITE DU RESERVOIR

Le réservoir doit avoir une capacité suffisante. Cette dernière doit prendre en compte la variation de débit entrant (DV+) et le débit sortant (DV). Pour estimer la capacité du réservoir, il ya la méthode graphique qui tient compte de la courbe de la consommation totale déduite à partir des coefficients de variations horaires et aussi de la courbe d'apport de débits, ou par la méthode analytique qui englobe les débits d'apport et les débits consommés.

Pour ce projet la méthode analytique a été utilisé pour déduire la capacité du réservoir à partir des résidus entre les débits d'apports cumulés et les débits consommés pour chaque heure de la journée et sans oublier la réserve d'incendie:

- Volume d'apport: $Q_{app} = Q_{maxj} / 24$ (m³)
- Volume consommé: $Q_{cons} = Q_{app} * K_h * 24 / 100$

Avec K_h = coefficient horaire.

Le volume du réservoir total est donné par la relation suivante

$$V_r (m^3) = | V_{+max} | + | V_{-max} | + V_i (m^3)$$

V_r = Volume total du réservoir

V^*_{max} = différence du réserve positive maximale: $V^* = V_{app cum} - V_{cons cum}$

V_{-max} = différence de la réserve négative maximale: $V^- = V_{app cum} - V_{app cum}$

V_i = réserve d'incendie. (On prend 120m³)

Tableau 6. Détermination du volume de réservoir d'extension à l'horizon 2044

Q _{maxj} =5437,07m ³ /j	Coef. Kh(‰)	Volume d'eau en m ³		Volumés cumulés		ΔV (m ³)	
		Apport	Consom	Apport	Consom	V+	V-
0-1	3	226,54	163,11	226,5	163,11	63,43	
0-2	3,2	226,54	173,99	453,1	337,10	115,98	
0-3	2,5	226,54	135,93	679,6	473,03	206,59	
0-4	2,6	226,54	141,36	906,2	614,39	291,77	
0-5	3,5	226,54	190,30	1132,7	804,69	328,01	
0-6	4,1	226,54	222,92	1359,2	1027,61	331,63	
0-7	4,5	226,54	244,67	1585,8	1272,27	313,51	
0-8	4,9	226,54	266,42	1812,3	1538,69	273,63	
0-9	4,9	226,54	266,42	2038,9	1805,11	233,75	
0-10	4,6	226,54	250,11	2265,4	2055,21	210,19	
0-11	4,8	226,54	260,98	2491,9	2316,19	175,75	
0-12	4,7	226,54	255,54	2718,5	2571,73	146,75	
0-13	4,4	226,54	239,23	2945,0	2810,97	134,05	
13-14	4,1	226,54	222,92	3171,6	3033,89	137,67	
14-15	4,2	226,54	228,36	3398,1	3262,24	135,86	
15-16	4,4	226,54	239,23	3624,6	3501,47	123,17	
16-17	4,3	226,54	233,79	3851,2	3735,27	115,91	
17-18	4,1	226,54	222,92	4077,7	3958,19	119,53	
18-19	4,5	226,54	244,67	4304,3	4202,86	101,40	
19-20	4,5	226,54	244,67	4530,8	4447,52	83,28	
20-21	4,5	226,54	244,67	4757,3	4692,19	65,15	
21-22	4,8	226,54	260,98	4983,9	4953,17	30,71	
22-23	4,6	226,54	250,11	5210,4	5203,28	7,14	
23-24	4,3	226,54	233,79	5437,0	5437,07		-0,11

Le tableau N°6 donne la valeur de la différence du volume de la réserve positive maximale **273.63m³** et le volume de la réserve négative maximale **0**.

DIMENSIONNEMENT DU RESERVOIR

Le réservoir étant de forme circulaire, les dimensions principales seront déterminées à partir de la relation suivante:

LE VOLUME: V_r

$$Vr = S \times h$$

$$V = \frac{\pi D^2}{4} * h \cong D = \sqrt{\frac{4 * V}{\pi * h}}$$

S= surface de base du réservoir

V: volume du réservoir (m³)

D: diamètre du réservoir (m)

h: hauteur d'eau dans le réservoir

Pour la hauteur d'eau « h » du réservoir peut être variée entre (3 et 6) m au château d'eau moins de 5000 m³, et pour les grand ouvrage cette hauteur peut atteindre 7 à 8 m.

DIAMÈTRE DU RÉSERVOIR

$$D = \sqrt{\frac{4 * V}{\pi * 4}}$$

Dans notre cas nous prenons une hauteur de la tranche d'eau dans le réservoir h = 5 m

Vr=400m³

Donc: D = (4X400/3.14X4)^½= 11.29 m

HAUTEUR TOTALE DE LA CUVE

$$H = H_2 + H_1$$

Pour déterminer H₁ et H₂ nous passons d'après les formules de FONLLADOSA:

H1: Hauteur libre du niveau de l'eau jusqu'à la base de la ceinture supérieure

H2: Hauteur d'eau utile

DIMENSIONNEMENT DE CONDUITE D'ADUCTION PAR REFOULEMENT

Le diamètre d'une canalisation se fait en tenant compte des paramètres hydrauliques suivants (Débit, vitesse et perte de charge). La conduite de refoulement de notre réseau calculé par les formules Bresse tout en respectant les Conditions de Flamant:

$$V \leq 0.6 + D \text{ (m)}$$

$$D_{ec} = K\sqrt{Q} \text{ (relation de Bresse)}$$

K: Un coefficient de Bresse compris entre 1.1 et 1.3 (**On prend K=1.3**)

Q: débit transite du point de piquage jusqu'au réservoir de stockage

$$Q = 40 \text{ m}^3/\text{h} = 0.0111 \text{ m}^3/\text{s}$$

D_{ec} = diamètre économique

CHOIX DU TYPE DE POMPE ET GROUPE ELECTROGENE

Le choix de la pompe se fait grâce à un catalogue des pompes fournis par le constructeur en fonction de débit, de la hauteur manométrique total et le rendement de la pompe.

HAUTEUR MANOMETRIQUE TOTALE

La hauteur manométrique totale représente la somme de la hauteur géométrique (Hg), et des pertes de charge totale:

$$H_{mt} = H_g + \sum \Delta H$$

Hg: Différence de niveau entre le plan d'aspiration et le plan de refoulement (m)

∑ΔH: Somme des pertes de charge linéaires et singulières (m) La hauteur géométrique sera calculée de la manière suivante:

$$H_g = ND + H_{SC} + H_{CE}$$

PUISSANCE UTILE OU HYDRAULIQUE DE LA POMPE

C'est la puissance transmise au fluide par la pompe, elle est donnée par la formule suivante:

$$P_u = g H_{mt} Q$$

P_u : Puissance hydraulique de la pompe en (**kwatt**).

H_{mt} : hauteur manométrique totale en (**m**).

Q : débit refoulé par la pompe en (**m³/s**).

g : accélération de la pesanteur (**9.81m/s²**)

PUISSANCE ABSORBÉE DE LA POMPE

C'est la puissance nécessaire à l'entraînement mécanique de la pompe. Elle est déterminée par la formule suivante:

$$P_{ab} = \frac{g * H_{mt} * Q}{\eta} = \frac{P_u}{\eta}$$

P_{ab} : puissance absorbée par la pompe (Kwatt);

g : Accélération de la pesanteur (m/s²);

η : rendement de la station de pompage (compris entre 70 à 80%) on prend $\eta = 0,75$.

ENERGIE CONSOMMÉE PAR LA POMPE

Elle est exprimée par la formule suivante:

$$E = P_{ab} \times T \times 365$$

E : Energie consommée par la pompe en Kwatt.h

P_{ab} : puissance absorbée de la pompe en Kwatt.

T : nombres d'heures de pompage par jour (dans notre étude **t=6h**).

LES FRAIS D'EXPLOITATION

Le frais d'exploitation est égal:

$$F_{exp} = e \times E$$

e : prix d'un Kwatt.h (Fcfa/Kwh) fixé par la SNE, $e=85$ Fcfa/Kwatt.h

E : énergie consommée par la pompe (Kwatt.h)

LES FRAIS D'AMORTISSEMENT

Le prix de l'amortissement de la conduite est déterminé par la formule suivante:

$$F_{am} = P_u \times L \times A$$

P_u : Prix unitaire de la conduite (Fcfa/ml); Pour notre conduite d'adduction de refoulement de DN: 140 mm P_u est égale 25 000 FCFA

L : Longueur de la conduite en m pour notre conduite de refoulement $L = 50m$

A : L'Amortissement annuel (Annuité) de la conduite est estimé à 8 % ($n=20$ ans) **BILAN TOTAL**

Pour faire le bilan complet d'une adduction, le bilan c'est la somme des frais d'amortissement et d'exploitations.

$$B = F_{am} + F_{exp}$$

2.1.4.4 DETERMINATION DE LA PUISSANCE APPARENTE DU GROUPE

La puissance apparente du groupe sera calculée par la formule suivante:

$$P_{ap} = \frac{P_m (Kw)}{\cos \varphi}$$

P_{ap} = puissance apparente (réelle) électrique en sortie du groupe électrogène (en kVA)

P_m = puissance absorbé électrique en sortie du groupe électrogène (en Kw)

Cosphi = facteur de puissance (généralement compris entre 0.8 et 1) On prend dans notre cas 0.9

PUISSANCE DU GROUPE

La puissance du groupe sera le double de la puissance consommée par le moteur de la pompe: $P=2 * P_{ap}$, pour l'utilisation de la pompe doseuse, une majoration de 20% de cette puissance est nécessaire.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 RESULTAT DE L'ETAT DE LIEU DU SYSTEME ACTUEL



Photo1. Forage en panne



Photo 2. Groupe électrogène en panne



Photo 3. Réservoir fissuré

Tableau 7. Etats des Equipements

N°	Désignations des Composantes	Capacité	Marque	Remarques
1	Château conique en BA, hauteur sous cuve de 15m	500m ³	BA	Problème d'étanchéité par endroit
2	02 Groupes électrogènes	15 KVA	SDMO	L'un des groupes est en arrêt, l'autre de mauvais état
3	Pompe immergée	7,5kva	Franklin	En bon état
5	Dispositif de chloration			Absent
6	1 forage	16m ³ /h		Profondeur du forage : 88m; NS : 58,80m; Diamètre forage : Ø200mm
7	Réseau de distribution	Total linéaire : 4 981ml	PVC	Ramifié avec comme conduite principale constitué en PVC de 90mm ;
8	10 Bornes fontaines			Six sont en arrêt par manque des accessoires

Tableau 8. Résultats des paramètres chimiques, physiques et bactériologiques

Résultats des paramètres chimiques												
Nomde l'échantillon	Cations en mg/l							Anions en mg/l				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Fe	Mn	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻
BF1	110.4	15.0	3.1	13.6	1.03	0.01	0.25	353.8	14.0	19.0	19.5	1.7
BF2	109.2	15.2	3.1	13.3	1.03	0.02	0.26	353.4	14.0	19.2	20.6	1.8
BF3	110.4	15.1	3.3	13.5	1.05	0.01	0.27	355.0	1420	20.0	20.6	1.7
Normes /OMS	≤200	≤50	≤ 12	≤200	≤1.5	≤0.3	≤ 1.5	Aucune mention	≤ 250	≤250	≤50	≤1.5
Résultats des paramètres physiques												
	T°C	CE (mg/l)	PH	Turb (NTU)								
BF1	29,6	1762,00	7,1±0,5	2.41								
BF2	31,2	1762,1	7,1±0,5	2,4								
BF3	31	1762,00	7,01± 0,5	2.4								
Normes /OMS		2500	6,5 ≤ pH ≤ 8,5	5								
Résultats des paramètres bactériologiques												
	E. Coli	C.T	E.F	F.A..T								
BF1 (UFC/100 ml)	0	0	0	0								
BF2 (UFC/100 ml)	0	0	0	0								
BF3 (UFC/100 ml)	0	0	0	0								
Normes/OMS	Ne doivent être retrouvés dans une prise d'essai de 100 ml d'échantillon analysé											

NB: E.coli= Echerichia Coli; C.T=coliformes totaux; E.F=Entérocoques fécaux; F.A.T=Flora aérobie totale

3.2 RESULTATS D’ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES ET BACTERIOLOGIQUES

L’analyse des paramètres physiques des eaux échantillonnées montre que les températures de zone d’étude varient entre 29°C à 31.2°C avec une moyenne arithmétique de 30,6°C. Elles varient de manière cohérente avec les températures moyennes mensuelles de l’air mesurées à la station de Mongo (30 à 41°C). Les valeurs du pH mesurées sont homogènes sur l’ensemble des eaux échantillonnées et conformes aux normes nationales des eaux de consommation. Les valeurs des conductivités électriques sont les mêmes sur l’ensemble de la zone d’étude toutefois, elles restent élevées cela peut probablement s’expliquer par la forte minéralisation de l’eau et l’évaporation au regard des fortes températures enregistrées dans la zone. L’analyse des éléments chimiques présente globalement des concentrations normales au regard de la norme nationale. Il en est de même pour les paramètres bactériologiques. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par [6] dans la ville de mongo voisine.

On note concentration anormale du fluor (1.8mg/l) contre la norme de l’OMS qui est de 1.5mg/l. Selon [7], le fluor en excès peut s’accumuler dans les dents et les os, induisant une fluorose. A l’image des autres produits chimiques, le fluor et les fluorures ont à la fois des effets bénéfiques et toxiques qui ont des implications importantes en santé publique. Si l’on a pu constater qu’une dose optimale continue de 1 mg de fluor par litre d’eau de boisson est bénéfique pour la prévention des caries, l’exposition prolongée à des quantités plus importantes peut avoir des effets nocifs sur l’email et les os [8].

Les dents définitives qui apparaissent au cours de périodes d’apports fluorés importants, peuvent être fortement atteintes. Les effets indésirables connus d’une exposition excessive au fluor (provenant de l’eau de boisson ou d’une combinaison de sources) peuvent aller de la fluorose dentaire légère à la fluorose osseuse débilitante [9]. Les principales manifestations cliniques sont la fluorose dentaire et la fluorose squelettique [10], [11].

3.3 RESULTAT DE TRACE EN PLAN DU RESEAU EXISTANT ET PROJETES

Le tracé de l’ancien réseau de la ville de Amtiman et la représentation des nœuds hydrauliques représentés par la figure N° 2 s’est fait sous Google earth

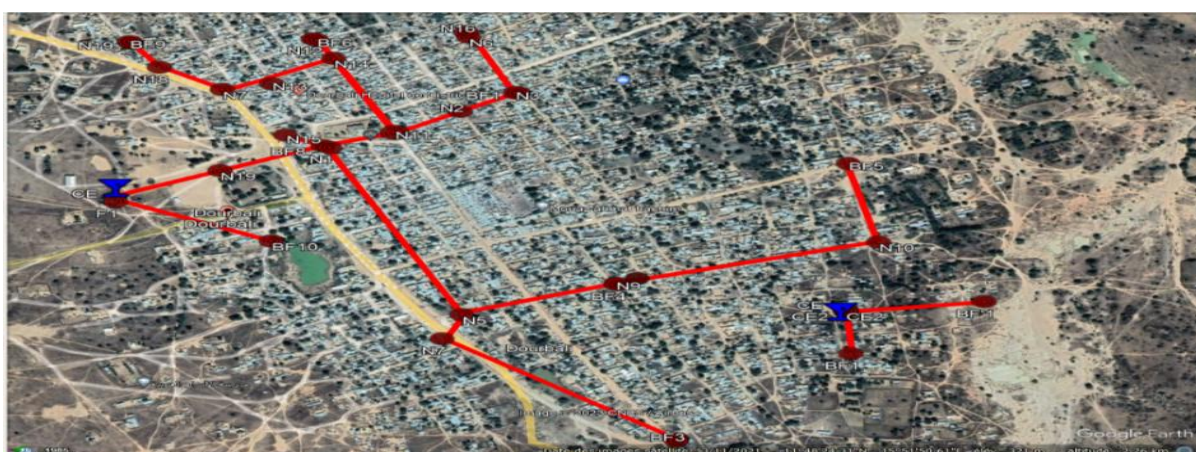


Fig. 2. Tracé du réseau existant extraite de Google earth

A Partir de l’ancien réseau, les projections ont été faites en lien avec l’extension de la ville. Tout cela est représenté par la figure N° 3.

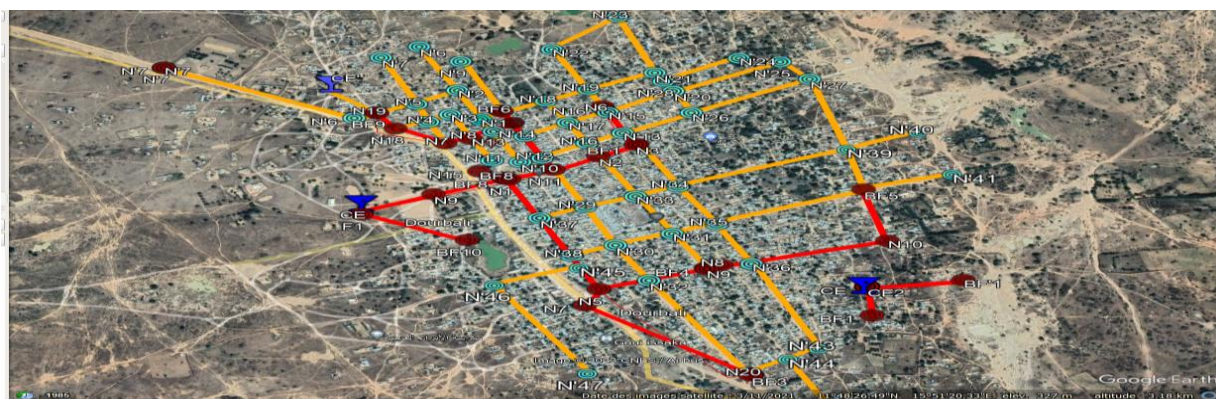


Fig. 3. Tracé du réseau existant et projeté extraite de Google earth

3.4 RESULTATS DE LA SIMULATION DU RESEAU DE DISTRIBUTION

La simulation du réseau comme représenté par la figure N° 4, fournit toutes les informations sur les conduites et les nœuds mise en place dans l'ensemble du réseau de distribution. Le résultat positif de simulation fournit un rapport complet sur les arcs et les nœuds du réseau. Il a permis de corriger certaines conduites existantes qui étaient sous-dimensionnées.

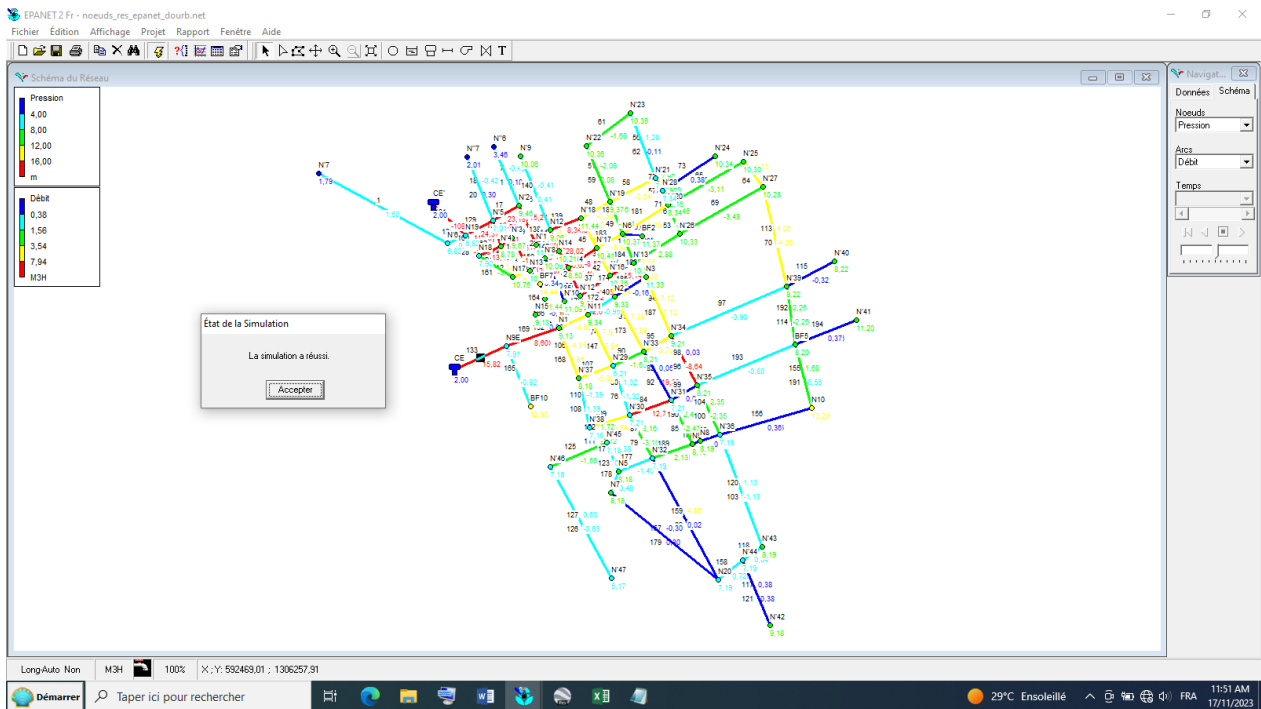


Fig. 4. Simulation

Après la projection en lien avec l'extension de la ville d'Amptiman, la simulation sous Epanet a permis d'adopter la conduite de diamètre 90mm en PVC pour le réseau étendu de 4 981ml. Le tableau N° 9 indique les longueurs des tronçons obtenus avec les diamètres correspondants.

Tableau 9. Conduite de distribution du réseau étendu

Tronçons	Longueur (m)	Diamètre unique en PVC de 90 mm
CE -N9E	194	90
BF10-N9E	265,95	90
N9E-N1	250	90
N1-N11	138	90
N11-N2	150	90
N2-N3	138	90
N3-N6	256	90
N11-N14	294	90
N14-N12	144	90
N14-N13	132	90
N1-N15	85	90
N13-N17	110	90
N17-N18	226	90
N18-N19	110	90
N1-N5	650	90
N5-N7	78	90
N7-N20	553	90
N5-N9	305	90

N9-N8	32	90
BF2-N6	70,59	90
N10-BF5	287,69	90
N8-N10	512	90
Total (ml)	4 981	

3.5 RESULTAT DES INDICES DE PERFORMANCE DU SYSTEME

Les résultats des indicateurs de performance du système d'alimentation en eau d'Amtiman sont consignés dans le tableau N°10

Tableau 10. Résultats des indicateurs de performance

Désignation	Valeur obtenue	Observations	Date
ICH	6l/hab./j	Très faible	2024
ILP	11, 56	Médiocre	2024
ILC	38,55 m ³ /j/km	Réseau de type urbain	2024
R	69%	réseau médiocre	2024

Les indicateurs de performance renseignent sur l'état de fonctionnement d'un système d'alimentation en potable. Selon [12], la qualité d'un reau de distribution dépend de son rendement, entre 60% - 70%, le réseau est **médiocre** et nécessite une optimisation.

3.6 RESULTATS DE L'ESTIMATION DES BESOINS EN EAU, DES POPULATIONS ET DES ÉQUIPEMENTS

L'estimation des besoins en eau, des populations et des équipements sont consignés dans le tableau N°10

Tableau 11. Résultat de l'estimation des BE, des population et des équipements

Désignation	Unité	2024	2044
Population	nb	34 362	69 706
Consommation spécifique (Cs)	L/j	60	60
Besoin de production journalière (Qmoyj)	m ³ /j	2 061.72	4182.36
Besoin journalier maximal (Qmax)	m ³ /j	2 680.24	5 437.07
DEBIT REFOULE	m ³ /j	668.48m ³	668.48m ³
NOMBRE D'HEURE DE POMPAGE PAR JOUR	Unité	6	6
Nombre de forage	unité	7	7
Hauteur manométrique	m	67.48m	
Volume du réservoir(300)	m ³	300	
PUISSANCE DU GROUPE	KVA	24	24

BUDGET D'OPTIMISATION

Les détails du budget pour la réhabilitation de l'AEP d'Amtiman sont consignés dans le tableau N°12.

Tableau 12. Détail du budget de réhabilitation de l'AEP d'Amtiman

N°	Désignation	Unité	Quantité	AEP DE AMTIMAN	
				Prix Unitaire	Prix Total (PT)
1	Préparation, Mobilisation, amenée et installation de l'ensemble de moyens humains et matériels nécessaires et repli en fin des travaux	FF	1	20 000 000	20 000 000
2	Etude d'exécution de l'AEP (levés topographiques altimétriques et planimétriques, et hydrauliques)	FF	1	6 000 000	6 000 000
3	Exécution complète de six forages de 12" avec équipement d'une profondeur de 100ml	U	6	12 000 000	72000000

	Construction d'un local et équipement chloration (pompe doseuse, bac de dosage y compris tous les accessoires)	U	1	15 000 000	15 000 000
4	Construction d'un château en BA d'une capacité de 300m ³ avec une hauteur de 12 m y compris la fourniture et pose des robinetteries et accessoires de raccordement	U	1	270 000 000	270 000 000
	Construction de borne fontaine en béton armé comprenant la pose de conduite en acier Galva et autres accessoires (compteurs, robinets)	U	15	2 750 000	41 250 000
5	Réhabilitation de bornes fontaines existants (remise en état des toitures y comprise la fourniture et pose des robinetteries et accessoires divers)	U	10	1 100 000	11 000 000
6	Construction des regards en BA de dimension 1,00mx1,00m*0,8m pour équipements (vannes d'arrêt, ventouse)	U	40	250 000	10 000 000
7	Aménagement de tête de forage avec construction d'un local de 9m ² y compris le coffret de la commande et les pièces de recharges de la tête de forage suivant le plan	U	6	2 500 000	15000000
8	Construction d'un local de 30m ² servant de magasin	U	1	7 000 000	7000000
9	Fourniture et pose de la conduite d'adduction enterré en PEHD DN 140 entre la tête de pompe et le château	ml	55	11 500	632500
10	Fourniture et pose de la conduite de distribution enterré en PEHD DN 200 y compris tous les suggestions	ml	1 034	14 500	812000
11	Fourniture et pose de la conduite de distribution enterré en PEHD DN 160 y compris tous le suggestion	ml	541	12 000	6492000
12	Fourniture et pose de la conduite de distribution enterré en PEHD DN 125 , y compris tous le suggestion	ml	1010	12 500	12625000
13	Fourniture et pose de la conduite de distribution enterré en PEHD DN 110 , y compris tous le suggestion	ml	7104	13 000	92352000
14	Fourniture et pose de la conduite de distribution enterré en PEHD DN 90, y compris tous le suggestion	ml	3254	11 000	35794000
15	Fourniture et pose de la conduite de distribution enterré en PEHD DN 63, y compris tous le suggestion	ml	2688	17 500	47040000
16	Fourniture et pose de la conduite de distribution enterré en PEHD DN 50, y compris tous le suggestion	ml	2055	10 000	20550000
17	Branchement particulier en tuyau galva et robinet de puisage	U	30	280 000	8400000
18	Construction d'un local abri groupe de 50m ²	U	1	12 000 000	12000000
19	Construction d'un local gardien de 20m ²	U	1	6 000 000	6000000
20	Construction d'une clôture en grillage sur fondation en B,A (longrine) avec des poteaux métalliques distant de 3m sur des semelles isolés en B,A	ml	200	23 000	4600000
21	Fourniture et pose d'un portail métallique en barreau de 3m de large	U	1	250 000	250000
22	Fourniture et pose deux groupes électrogènes de 50 KVA chacun, y compris coffret de commande	U	4	9 000 000	36000000
23	Fourniture d'une caisse a outil complet pour l'entretien courant de groupe électrogène	lot	1	3 000 000	3000000
24	Fourniture de stock de :	lot	1	1 500 000	1 500 000
	1000 litres de gasoil				
	100 litres d'huile de vidange				
	10 filtres à air ; 10 filtres a gasoil et 10 filtres à huile				
25	Fourniture et pose de robinet vanne d'isolement DN 34	U	1	230 000	230000
26	Fourniture et pose de robinet vanne d'isolement DN 42,6	U	1	215 000	215000
27	Fourniture et pose de robinet vanne d'isolement DN 53,6	U	1	200 000	200000
28	Fourniture et pose de robinet vanne d'isolement DN 79,2	U	1	185 000	185000
29	Formation des deux personnes pour la gestion du château (démarrage de la pompe immergé et groupe électrogène, entretien courant de groupe électrogène	FF	1	1 000 000	1 000 000
30	TOTAL EN HT FCFA				757 127 500

31	TVA 18%				136 282 950
32	TOTAL NET TTC				893 410 450

Soit un budget total estimé à huit cent quatre-vingt-treize millions quatre cent dix mille quatre cent cinquante franc CFA (893 410 450FCFA) toute taxe comprise.

4 CONCLUSION GENERALE

L’objectif de l’était de faire un état des lieux du système d’alimentation en eau potable de la ville d’Amtiman et proposer une optimisation. Pour cela les logiciels Epanet, QGIS3.18 et Google earth ont été mis en contribution.

Les résultats des indicateurs de performance montrent que le système d’AEP de la ville d’amtiman est complètement médiocre avec un rendement de 69%. En plus de sa médiocrité, il ne desserve pas toute la ville qui s’est agrandi au fil du temps. l’Etude a proposé une extension du réseau de distribution à 14.816 kml.

La simulation a permis de redimensionner le système tout en corrigeant les conduites qui étaient tantôt vétustes et tantôt sous dimensionner. Pour la satisfaction des besoins en eau de toute la ville à l’horizon du projet en 2044, un réservoir supplémentaire de 300m³ en béton armé a été proposé. Le coût global de l’optimisation est estimé à neuf cent soixante-quinze millions sept cent quatre-vingt-dix-huit mille cinquante franc CFA (975 798 050 FCFA) toute taxe comprise.

REFERENCES

- [1] PAQUEROT S., 2005. Eau douce-la nécessaire refondation du droit international, presse de l’université de Québec (ISBN: 2-7605-1323-8).
- [2] OMM AND UNESCO 1997. *Y aura-t-il de l’eau sur la terre*, OMM Nr857. ONU (1992). Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, *New York: Nations Unies*.
- [3] BARON C., 2009. L’eau en Afrique: disponibilité et accès. *Revue Futuribles N°359 WHO/UNICEF Joint Monitoring Program – Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene (2019 update)*.
- [4] ANAN, 2004: Atelier de sensibilisation et d’éducation sur l’importance physiologique de l’eau par l’Agence Nationale pour l’alimentation et la nutrition.
- [5] JMP, 2019: Programme conjoint de suivi de l’OMS et de l’UNICEF sur le taux d’accès à l’eau potable et Assainissement au Tchad.
- [6] KABO Moussa Gado, 2022: Caractérisation des ressources en eau souterraine dans la zone du socle cristallin: cas de la ville de Mongo.
- [7] Larry E. Johnson, MD, PhD, University of Arkansas for Medical Sciences. Vérifié/Révisé juil. 2024.
- [8] Lai PY, Seow WK, Tudehope DI, Rogers Y. Enamel hypoplasia and dental caries in very low birth weight children: a case controlled, longitudinal study. *Pediatr Dent* 1997; 19: 42–9.
- [9] Locker D, Lawrence H, Jokovic A. Benefits and risks of water fluoridation: an update of the 1996 federal-provincial sub-committee report. Toronto, ON: University of Toronto. Faculty of Dentistry. Community Dental Health Services Research Unit; 1999.
- [10] Sun, D.J., An, D., 2018. Prevention and treatment of coal-burning type of endemic fluorosis caused by coal combustion in China. *People’s Health Press, Beijing*.
- [11] Hendryx, M., Zullig, K.J., Luo, J., 2020. Impacts of coal use on health. *Annu. Rev. Public Health* 41, 397–415.
- [12] Weber.F, 2001: Leadership and organization Development-emerald.com

Gender Dynamics in Sports Governance: A Comparative Study of Volleyball and Rugby Federations in Senegal

Seye Amadou Anna¹, Ba Ousmane¹, and Dieng Omar²

¹Laboratoire des sciences et techniques des activités physiques et sportives-jeunesse et loisirs (STAPS-JL, INSEPS, UCAD),
Dakar, Senegal

²Laboratoire C3S EA 4660, Université Bourgogne Franche-Comté (UBFC), Senegal

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

ABSTRACT: Women's participation in sports governance remains a major issue in Senegal and, more broadly, in Africa. Although legislative and symbolic advances (notably the 2010 parity law) have led to some progress, their actual presence in decision-making positions remains limited. This article offers a cross-analysis of two cases: the Senegalese Volleyball Federation, often cited as a relative model of openness, and the Senegalese Rugby Federation, where resistance is more pronounced. We clarified and strengthened the methodological protocol, justified the comparative choice of the two federations, and introduced more measurable empirical data to support the analyses. Drawing on semi-structured interviews and field observations, we highlight the organizational and socio-cultural obstacles faced by women leaders, as well as the strategies they develop, such as female solidarity, alternative leadership styles, and mentoring. The study reveals contrasting results, supported by specific comparative examples, which provide a clearer understanding of the mechanisms through which gender relations are reproduced or transformed. It also shows that the strategic use of digital media can serve as a potential lever to enhance the visibility and legitimacy of women in sports governance. In addition, the comparative analysis indicates that the disciplinary context and the historical trajectories of federations strongly influence women's access to decision-making positions and their capacity to bring about lasting change.

KEYWORDS: sports governance, women's leadership, gender, federation.

1 INTRODUCTION

In many African contexts, sport functions both as a space for identity affirmation and as a site where gender relations are reproduced, a dynamic already emphasized in the works of Saouter (2000) and Duret & Augustini (2010). Long perceived as a domain reserved for men, it remains shaped by gendered power dynamics that influence the distribution of roles, the recognition of skills, and access to positions of responsibility, reflecting what Bourdieu (1998) describes as the naturalization of masculine domination within social fields. In Senegal, a pioneer in political gender parity with the 2010 parity law, women's participation in sports governance reveals the paradoxes of this institutional progress. While female athletes have gained increased visibility on both the national and international stage, their presence in governing bodies remains marginal, often symbolic, and insufficiently recognized, echoing Touré's (2018) observations on persistent structural inequalities in Senegalese sport. This imbalance becomes particularly clear when comparing different sports disciplines. Some federations, such as volleyball, appear more open to women's inclusion in decision-making structures, whereas others, like rugby, remain marked by a culture of virility and a persistently male-dominated environment, in line with Connell's (2009) concept of hegemonic masculinity and the cultural reproduction of "appropriate" gender roles. Within this contrasting landscape, the processes of sport professionalization, the increasing influence of international funding agencies, and the rise of women's leadership initiatives offer new opportunities while also creating new challenges for female leaders, dynamics explored at the African level in studies such as Adjepong (2021) and Moola & Hargreaves (2014). These developments invite a rethinking of sports governance not only as a formal space of power but also as a setting in which social norms, identities, and individual trajectories

are negotiated, consistent with Goffman's (1977) interactionist perspective. These contrasts reflect the diversity of gender dynamics within the Senegalese sports sphere and raise several key questions: how do women establish themselves in spaces historically dominated by men? What strategies do they adopt to resist symbolic domination, legitimize their roles, and subtly transform power relations within sports organizations?

2 THEORETICAL FRAMEWORK AND METHODOLOGY

This study draws on three complementary sociological perspectives to analyze gender dynamics in Senegalese sports governance.

2.1 THEORETICAL FRAMEWORK

2.1.1 MALE DOMINATION (BOURDIEU, 1998)

The concept of male domination developed by Bourdieu (1998) helps illuminate how the masculine is naturalized as the norm within sports institutions. This perspective enables an interpretation of interviews and observations that shows how gendered habitus continues to shape role distribution within federations: strategic positions remain predominantly occupied by men, while women are frequently assigned peripheral or symbolic functions, even within the FSVB, which has historically been more open. The logic of male domination is also reflected in the institutional recognition and legitimacy accorded to different profiles, demonstrating that the visibility or engagement of women is not in itself sufficient to challenge established hierarchies.

2.1.2 HEGEMONIC MASCULINITY (CONNELL, 2009)

Second, the perspective of hegemonic masculinity proposed by Connell (2009) enables an analysis of the governance styles and organizational practices observed during meetings and in the allocation of tasks. The interviews show that the FSR maintains a highly hierarchical model in which authority is expressed through control of speech, the imposition of decisions, and the regulation of interactions. At the FSVB, women benefit from a somewhat more participatory environment, yet hegemonic masculinity remains evident in strategic decision-making and in the control of symbolic and technical resources. Thus, the expression of hegemonic masculinity varies according to each federation's disciplinary culture and historical development, directly influencing women's access to leadership positions and their legitimacy once in those roles.

2.1.3 INTERACTIONISM AND THE STAGING OF GENDER (GOFFMAN, 1977)

Finally, Goffman's (1977) interactionist approach sheds light on the "staging of gender" in everyday interactions. Observations and interviews reveal that women must constantly negotiate their visibility and legitimacy: they are frequently interrupted, assigned logistical or administrative tasks, and required to demonstrate their competence during meetings or on digital platforms. These practices illustrate how gender is performed and regulated in daily interactions, exposing subtle mechanisms of domination and selective inclusion. Women nonetheless manage to construct alternative spaces of legitimacy through their leadership styles, mentoring practices, and strategic use of digital media, thereby partially circumventing the implicit rules shaped by gendered habitus and hegemonic masculinity. By combining these three perspectives, the theoretical framework allows for an analysis of gender dynamics at multiple levels: structural (Bourdieu), organizational and cultural (Connell), and interactional and symbolic (Goffman). This integrated approach provides a robust analytical lens for interpreting the interview and observation data collected in the FSVB and the FSR, identifying both the obstacles to women's participation and the strategies of emancipation and resilience developed by women leaders.

2.2 METHODOLOGY

The methodology adopted relies on a qualitative approach combining documentary analysis, digital content observation, and semi-structured interviews. The documentary material derives from historical archives, institutional reports, and traditional media sources, while the digital analysis is based on a corpus of publications from platforms such as YouTube, TikTok, Facebook, and specialized Senegalese sports news sites. This combination aims to capture the evolution of institutional discourses, contemporary media practices, and modes of reception within sports communities. A set of fifteen semi-structured interviews, conducted between February and July 2024, forms a central empirical basis for understanding the internal dynamics of the federations and the actors involved in sports governance in Senegal. Eight participants were members of the Senegalese Volleyball Federation (FSVB), and seven were members of the Senegalese Rugby Federation (FSR). All interviewees were

selected according to a minimum responsibility criterion, requiring that they had held a position on an executive board, a federal commission, or a technical staff for at least one season. The access strategy relied on purposive sampling, complemented by snowball sampling to identify key actors who were difficult to reach through institutional channels. This approach made it possible to gather a variety of perspectives on evolving practices, digital uses, internal resistance, and innovation processes. The analysis of interviews and digital content was conducted using a socio-semiotic approach designed to identify shifts in narrative modes, logics of spectacularization, the construction of sports authority figures, and emerging forms of community participation. Triangulation across historical sources, digital traces, and interview discourse strengthened the validity of the results by cross-referencing different observational scales. This plural methodology is especially suited to understanding how digital platforms act as agents of transformation within federations, sports communities, and cultural practices.

3 RESULTS AND ANALYSIS

The analysis of the collected materials shows that digital media constitute only one dimension of a broader transformation of Senegalese sport, in which visibility dynamics, governance models, and role distributions remain strongly shaped by gender relations. The combined perspectives of Bourdieu, Connell, and Goffman illuminate these transformations from a sociological standpoint, demonstrating that digitalization does not neutralize existing power structures but rather reconfigures them in ways specific to each federation. These findings align with studies in other African sport contexts, where digital innovations tend to reinforce established symbolic structures rather than disrupt them (Adjepong 2020; Saavedra 2019).

3.1 SENEGALESE VOLLEYBALL FEDERATION

The interviews conducted within the FSVB highlight an internal evolution marked by the gradual professionalization of digital communication and an increase in the visibility of federal activities. Several executives note that this transition has allowed the federation to expand its fan base and strengthen its institutional image. However, the analysis of narratives shows that this evolution is accompanied by a subtle reproduction of the patterns of male domination described by Bourdieu: strategic decision-making positions, including those related to digital image management, remain predominantly occupied by men, while women are often assigned tasks deemed “natural,” such as administrative work, coordination, or internal communication. Comparable phenomena have been observed in other Sub-Saharan African federations, where women’s access to digital communication roles is frequently framed as an extension of stereotypical “care” or “support” functions (Mwisukha & Mabagala 2021). This gendered division of responsibilities reflects the persistence of a gendered habitus shaping perceptions of legitimate skills and their institutional recognition. It also illustrates how “symbolic violence” operates in routine professional practices, making unequal divisions of labor appear normal and legitimate (Bourdieu & Wacquant 1992).

3.2 SENEGALESE RUGBY FEDERATION

In the FSR, this dynamic manifests differently. The interviews describe an organization marked by the concentration of power among a few male figures, reinforcing the hegemonic model of masculinity conceptualized by Connell. Respondents depict meetings dominated by vertical communication, where authority is expressed through physical presence, vocal power, or the ability to impose one’s viewpoint. This resonates with international research on rugby, where leadership is often associated with bodily capital and forms of virility (Liston 2006; Anderson & McCormack 2010). This style of governance contrasts with the more collegial, yet still masculinized, model observed in the FSVB, and demonstrates that hegemonic masculinity takes different forms depending on the sporting culture of each discipline. Digital practices do not constitute a rupture in this context: they are often appropriated by the same dominant actors or regarded as secondary tasks informally delegated to members perceived as less central to the decision-making hierarchy. This reflects a broader organizational trend in which digital work is undervalued and often feminized, despite its strategic relevance (Dart 2014; Freelon 2020).

3.3 STAGING OF GENDER AND DIGITAL USES

The observations and testimonies collected also support the use of Goffman’s interactionist approach. In both federations, the “staging of gender” appears in daily interactions: frequent interruptions when women speak, condescending attitudes, and the implicit assignment of logistical or relational tasks rather than strategic responsibilities. This aligns with research showing that micro-interactions play a central role in reproducing gender inequalities within sport institutions (Claringbould & Knoppers 2012). Several interviewees mentioned the need to “prove themselves” more strongly, particularly during meetings or in digital workspaces where decisions and comments are publicly visible. Digital environments thus become spaces of exhibition that amplify gendered performance, reinforcing certain implicit expectations while paradoxically offering opportunities to challenge

them. The analysis of digital content reinforces these patterns. At the FSVB, media coverage most often highlights men’s teams, whose videos receive greater visibility, whereas women’s performances are shared less frequently or in less elaborate formats. This tendency reflects widely documented gendered asymmetries in sports media, even on digital platforms ostensibly designed to democratize representation (Cooky, Messner & Musto 2015; Toffoletti & Thorpe 2018). Finally, the interviews reveal that fan communities play an ambivalent role. On the one hand, they reinforce certain forms of domination by privileging narratives centered on virility and male performance; on the other, they can support a redistribution of visibility, particularly when individual initiatives, often led by women or young volunteers, gain traction on social networks. This broader participation reconfigures spaces of legitimacy while exposing actors to new forms of public scrutiny that may either reinforce or destabilize established hierarchies. Such ambivalence is common in participatory digital cultures in sport (Hutchins & Rowe 2012; Highfield 2016).

3.4 COMPARATIVE ANALYSIS: FSVB Vs FSR

The table below summarizes the main differences between the two federations studied:

Table 1. Key Differences in Women’s Participation and Governance Between FSVB and FSR

Dimensions	Fédération Sénégalaise de Volleyball (FSVB)	Senegalese Rugby Federation (FSR)
Women's place	Relatively more open	More marginal, very masculine
Institutional presence	Some women leaders in the commissions	Very low presence
Governance style	More participatory, horizontal	Hierarchical, authoritarian
Resistance encountered	Softened by the female history of sport	Very strong, based on stereotype
Perspectives	Potential for greater parity	Persistent Blocks

This comparison highlights the importance of disciplinary context. Whereas volleyball, historically played by women, offers certain “breaches,” rugby remains more tightly constrained by masculine logics.

4 DISCUSSION

The results of this study highlight complex gender and power dynamics within Senegalese sports federations, dynamics that cannot be fully understood without reference to the theoretical frameworks mobilized. The Bourdieusian perspective helps explain the persistence of male domination in federal structures: gendered habitus continues to shape the distribution of roles, legitimize certain profiles, and naturalize men’s presence in decision-making positions. This aligns with research demonstrating that sport remains one of the most enduring sites of gendered symbolic domination worldwide (Hargreaves 1994; Clément 2020). Thus, despite the relative openness of the FSVB or the growing use of digital media, women are often still assigned to peripheral functions, illustrating that digital visibility alone is insufficient to transform structural hierarchies. Connell’s concept of hegemonic masculinity also sheds light on the differences observed between federations. The FSR appears as a highly hierarchical space, where male governance is expressed in speech, task distribution, and organizational practices. The FSVB, although more open and participatory, is not entirely exempt from these dynamics: strategic decisions remain largely controlled by men, and women must continuously negotiate their legitimacy. Such negotiations echo Connell and Messerschmidt’s (2005) argument that hegemonic masculinity is constantly reconstructed within localized institutional contexts. These observations underscore that hegemonic masculinity is not uniform but shaped by disciplinary history, federal culture, and institutional opportunities. Analyzing everyday interactions through Goffman’s lens helps reveal the subtle mechanisms through which gender is enacted daily. The interruptions, looks, and implicit task assignments observed in meetings and on digital platforms show that women must simultaneously manage the visibility and social acceptability of their actions. This mirrors findings in sport leadership literature showing that women face heightened scrutiny and greater accountability pressures (Shaw & Hoerber 2003; Burton 2015). Digital spaces thus become both vectors of legitimation and arenas where symbolic power relations are replayed, illustrating the ambivalent nature of technologies: they expand opportunities while exposing users to existing forms of judgment and resistance. The discussion also highlights the importance of women’s individual and collective strategies. Mentoring, women’s networks, and intergenerational solidarity emerge as essential levers for circumventing institutional barriers and gaining access to decision-making spheres. Studies in South Africa, Kenya, and Ghana similarly emphasize the role of informal female alliances in creating pathways to leadership within male-dominated sport institutions (Agergaard & Tiesler 2014; Banda 2020). These practices constitute a form of alternative social capital, enabling women to build legitimacy that interacts with, yet does not replace, dominant hierarchies. Comparison with other African contexts reinforces these conclusions. As research in Nigeria and Rwanda has shown, the adoption of digital tools

and the introduction of more restrictive quotas can enhance women's visibility and participation, but their actual impact depends on local organizational cultures and power relations. In Senegal, despite the 2010 parity law, institutional translation into sports governance remains partial: progress is often symbolic and fragile, revealing a gap between official discourse and everyday practice. This corresponds to broader findings on the limits of gender quotas when institutional cultures remain unchanged (Burnet 2011; Krook & Zetterberg 2014). Finally, the discussion underscores the ambivalence of digital media. While they expand spaces of visibility and participation, they can also reproduce existing hierarchies and expectations. Digital platforms are therefore neither neutral nor uniformly emancipatory; they constitute new arenas where the negotiation of power and gender unfolds under specific rules and constraints. In summary, the results confirm that Senegalese sports governance is permeated by constant tensions between exclusion and legitimation. The theoretical frameworks employed show that these tensions are embodied in formal structures (Bourdieu), disciplinary cultures and governance styles (Connell), and daily and mediatized interactions (Goffman). The progress observed, whether digital or organizational, remains dependent on individual and collective initiatives and requires stronger institutional mechanisms to shift from isolated exceptions to structural norms. Without deeper institutional reform, digital innovation alone cannot dismantle long-standing gender hierarchies (Fink 2016).

5 CONCLUSION

The comparative study of the Senegalese Volleyball Federation (FSVB) and the Senegalese Rugby Federation (FSR) highlights the complexity of gender dynamics in sports governance in Senegal. The results show that despite legislative and symbolic progress, particularly the 2010 parity law, women's access to decision-making positions remains limited and conditioned by persistent male domination, cultural stereotypes, and specific disciplinary hierarchies. Interviews and observations identified clear organizational and socio-cultural barriers: informal concentrations of power, marginalization in decision-making processes, implicit expectations related to domestic roles, and assignment to peripheral functions. These constraints are more pronounced in the FSR, whereas the FSVB, historically more open to women, offers greater, albeit limited and often individually dependent, room for manoeuvre. Moreover, the strategies developed by women, mentoring, women's networks, intergenerational solidarity, and the progressive mastery of digital tools, serve as essential levers to strengthen their legitimacy and transform existing practices. These "breaches" are concrete examples of positive transformations observed on the ground, illustrating how women can partially redefine governance modes and norms of legitimacy within sports federations. However, these advances remain fragile and insufficiently institutionalized. Failures, regressions, and forms of resistance persist, particularly in rugby, where hegemonic masculinity remains highly structuring. These findings underscore the importance of supporting individual initiatives with structural measures: the introduction of binding quotas in governance bodies, the formalization of mentoring and women's networks, the development of indicators to monitor parity, and the active involvement of public authorities and regional bodies (Ministry of Sports, CONFEJES, CAVB). Finally, this study confirms that digital media, while offering new opportunities for visibility and participation, can also reproduce gendered hierarchies and expectations. They constitute a space that is both liberating and constraining, where power relations and symbolic performances are continually re-enacted. The strategic use of these platforms, combined with strong institutional frameworks, appears to be a key lever for sustainably enhancing equality and the recognition of women in Senegalese sport. In conclusion, Senegalese sports governance is at a crossroads, situated between the reproduction of longstanding hierarchies and gradual openings. The question is no longer whether women have a place, but how to consolidate and expand this place so that parity moves beyond a slogan and becomes a tangible institutional and social reality.

REFERENCES

- [1] Adjepong, A. (2021). *Sporting masculinities: Gender, race, and sport in everyday life*. Rutgers University Press.
- [2] Agergaard, S. (2011). Development and appropriation of an integration policy for sport: How Danish sports clubs have become arenas for ethnic integration. *International Review for the Sociology of Sport*, 46 (1), 23–42.
- [3] Anderson, E. (2009). *Inclusive masculinity: The changing nature of masculinities*. Routledge.
- [4] Banda, D. (2010). *Sport and development in Zambia: The role of the state*. University of Stirling.
- [5] Bourdieu, P. (1998). *La domination masculine*. Paris: Seuil.
- [6] Bourdieu, P., & Wacquant, L. (1992). *An invitation to reflexive sociology*. University of Chicago Press.
- [7] Burnet, J. (2012). *Genocide lives in us: Women, memory, and silence in Rwanda*. University of Wisconsin Press.
- [8] Burton, L. J. (2015). Underrepresentation of women in sport leadership: A review of research. *Sport Management Review*, 18 (2), 155–165.
- [9] Claringbould, I., & Knoppers, A. (2012). Paradoxes of leadership: A critical review of gender in sport management. *Sex Roles*, 67 (3–4), 95–106.

- [10] Clément, J.-P. (1994). Sport et sociologie: Les apports de Pierre Bourdieu. *Revue STAPS*, 34 (1), 17–30.
- [11] Cooky, C., Messner, M. A., & Musto, M. (2015). «It's dude time!»: A quarter century of excluding women's sports in televised news and highlight shows. *Communication & Sport*, 3 (3), 261–287.
- [12] Connell, R. W. (2009). *Gender in world perspective* (2nd ed.). Polity Press.
- [13] Connell, R. W., & Messerschmidt, J. (2005).** Hegemonic masculinity: Rethinking the concept. *Gender & Society*, 19 (6), 829–859.
- [14] Dart, J. (2014). New media, professional sport and political economy. *Journal of Sport and Social Issues*, 38 (6), 528–547.
- [15] Duret, P., & Augustini, B. (2010). *Femmes et sport: Regards croisés*. Paris: L'Harmattan.
- [16] Fink, J. S. (2016). Female athletes, women's sport, and the sport media commercial complex: Have we really «come a long way, baby»? *Sport Management Review*, 19 (2), 176–187.
- [17] Freelon, D. (2014). On the interpretation of digital trace data in communication and social computing research. *Journal of Broadcasting & Electronic Media*, 58 (1), 59–75.
- [18] Goffman, E. (1977). The arrangement between the sexes. *Theory and Society*, 4 (3), 301–331.
- [19] Hargreaves, J. (1994). *Sporting females: Critical issues in the history and sociology of women's sports*. Routledge.
- [20] Highfield, T. (2016). *Social media and everyday politics*. Polity Press.
- [21] Hutchins, B., & Rowe, D. (2012). *Sport beyond television: The internet, digital media and the rise of networked media sport*. Routledge.
- [22] Krook, M. L. (2017). Violence against women in politics. *Journal of Democracy*, 28 (1), 74–88.
- [23] Liston, K., & Hardman, A. (2015). *Sport and gender: A sociological perspective*. Human Kinetics.
- [24] Mabagala, S. (2012). Gender relations in Tanzanian sport leadership. *International Journal of Sports Science and Engineering*, 6 (3), 173–180.
- [25] Messner, M. A. (2002). *Taking the field: Women, men, and sports*. University of Minnesota Press.
- [26] Moola, F., & Hargreaves, J. (2014). Gender, sport, and development in Africa: Cross-cultural perspectives. In A. Cobley (Ed.), *The Routledge handbook of sports in Africa* (pp. 116–130). Routledge.
- [27] Musto, M. (2014). The persistence of gender inequality in the sport industry. *Sociology of Sport Journal*, 31 (2), 139–157.
- [28] Mwisukha, A. (2004). Factors affecting women's participation in sports leadership in Kenya. *East African Journal of Physical Education, Sport Science, Leisure and Recreation Management*, 1 (2), 64–70.
- [29] Rowe, D. (2013). *Sport, culture and the media: The unfolding digital story*. McGraw-Hill.
- [30] Saavedra, M. (2009). Dilemmas and opportunities in gender and sport-in-development. *Sport in Society*, 12 (9), 1170–1184.
- [31] Saouter, A. (2000). Être femme dans le monde du sport. *Cahiers du Genre*, 28, 45–66.
- [32] Shaw, S., & Frisby, W. (2006). Can gender equity be more equitable? Promoting an alternative frame for sport management research. *Journal of Sport Management*, 20 (4), 483–509.
- [33] Thorpe, H. (2017). Action sports, social media, and new modes of female athletic visibility. *Feminist Media Studies*, 17 (5), 772–787.
- [34] Toffoletti, K. (2017). Women athletes in the media: New gender scripts and global sport. *Feminist Media Studies*, 17 (1), 1–16.
- [35] Touré, A. (2018). Genre et sport au Sénégal: Enjeux et perspectives. *Revue Sénégalaise de Sociologie*, 12 (1), 77–96.
- [36] Wacquant, L. (2004). *Body & soul: Notebooks of an apprentice boxer*. Oxford University Press.

Comparaison de la valeur agronomique du compost d'écumes, des cendres de boues de vidange et de l'engrais NPK sur le chou (*Brassica oleracea*) dans la zone de Sangalkam au Sénégal

[Comparison of the agronomic value of scum compost, faecal sludge ash and NPK fertilizer on cabbage (*Brassica oleracea*) in the Sangalkam area of Senegal]

El Hadji Mamadou SONKO¹, Seynabou Zeina Badji¹, Arfang Mafoudji SONKO², Maimouna LO¹, Saliou NDIAYE³, and Cheikh DIOP¹

¹Laboratoire d'Étude Environnemental des Milieux Urbains (LEEMUR); Institut des Sciences de l'Environnement (ISE), Faculté des Sciences et Technique (FST), Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), BP 5005, Dakar-Fann, Senegal

²Département de Biologie végétale, Faculté des Sciences et Technique, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), BP 5005, Dakar-Fann, Senegal

³Université de Thiès (UT), Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture (ENSA), Km 7 route de Khombole, BP A 296 Thiès RP, Senegal

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

ABSTRACT: Faecal sludge recovery, an option that is increasingly being explored in the context of faecal sludge (BV) management. This study is part of this framework and tests the effect of BV scum compost, ash from BV incineration and NPK fertilizer (10-10-20), on cabbage. For the methodology, a Fischer block culture device was set up with 6 treatments (T0, T1, T2, T3, T4 and T5). These treatments are organised in 4 replicates, with three factors (dose of compost, compost plus ash and NPK fertiliser) in 24 elementary plots of 4 m². The parameters for monitoring vegetative growth are: leaf height, number of leaves, crowding, diameter at the neck, nitrogen content. And the production parameters are: the average weight of the fruit, the diameter of the fruit and the yield. For cabbage, chemical fertilizer (2.61 t/ha) is better in terms of size, number of leaves and nitrogen content with 54.37 cm respectively; 19,12; 0.64. The best yield is obtained with the dose of chemical fertilizer at a rate of 31.59 t/ha. As fertilisers, BV scum compost alone and BV scum compost plus ash are beneficial for plants, but for crops such as cabbage, they cannot replace chemical fertiliser (NPK).

KEYWORDS: agronomic value, compost, faecal sludge, NPK fertilizer, cabbage.

RESUME: La valorisation des boues de vidange une option de plus en plus explorée dans le cadre de la gestion des boues de vidange (BV). Cette étude s'inscrit dans ce cadre et test l'effet du compost d'écumes de BV, de la cendre issue de l'incinération des BV et l'engrais NPK (10-10-20), sur le chou. Pour la méthodologie, un dispositif de culture en bloc de Fischer a été mis en place avec 6 traitements (T0, T1, T2, T3, T4 et T5). Ces traitements sont organisés en 4 répétitions, avec trois facteurs (dose de compost, de compost plus cendre et d'engrais NPK) dans 24 parcelles élémentaires de 4 m². Les paramètres de suivi de la croissance végétative sont: la hauteur des feuilles, le nombre des feuilles, l'encombrement, le diamètre au collet, la teneur en azote. Et les paramètres de production sont: le poids moyen des fruits, le diamètre des fruits et le rendement. Pour le chou, l'engrais chimique (2.61 t/ha) est meilleur en termes d'encombrement, de nombre de feuilles et de teneur en azote avec respectivement 54,37 cm; 19,12; 0,64. Le meilleur rendement est obtenu avec la dose en engrais chimique à raison de 31,59 t/ha. En tant que fertilisants, le compost d'écumes de BV seul et l'association compost d'écumes de BV plus cendre sont bénéfiques pour les plantes mais pour des cultures comme le chou, ils ne peuvent pas se substituer à l'engrais chimique (NPK).

MOTS-CLEFS: valeur agronomique, compost, boues de vidange, engrais NPK, chou.

1 INTRODUCTION

Selon le Département des Affaires Économiques et Sociales des Nations Unies, en 2024, 3,4 milliards de personnes n'avaient pas accès à des installations sanitaires gérées de manière sûre au niveau mondial [1]. En Afrique subsaharienne, seul 24 % de la population utilisaient des services d'assainissement gérés en toute sécurité en 2022 et 19 % seulement des eaux usées étaient traitées de manière sûre¹. Pour pallier ces manquements, beaucoup de Pays en voies de Développement (PED) ont initié divers projets dans le domaine de l'assainissement avec l'appui des partenaires en développement. Au Sénégal, l'État du Sénégal a dès les années 2000, mis en place le Programme d'Assainissement de Quartier Périurbains de Dakar (PAQPUD) qui est une composante du Programme Eau à Long Terme (PLT) pour venir à bout du déficit criard d'infrastructures d'assainissement. Ce programme a permis de booster l'accès à l'assainissement via la construction d'ouvrages d'assainissement autonome². Toutefois, il a contribué à augmenter la quantité de boues de vidange à traiter lorsque les fosses septiques et les latrines sont pleines. Or, dans beaucoup de cas, les boues fécales recueillies par ces systèmes sont généralement rejetées sans traitement dans les zones urbaines et périurbaines, entraînant de grands risques pour les ressources en eau et la santé publique [2]. Toutefois, le défaut d'assainissement ne peut pas être le seul facteur à prendre en compte lorsqu'on cherche à établir une relation entre l'élimination des excréta et la transmission des maladies et autres nuisances sur l'environnement [3]. Ces risques peuvent être liés à la réutilisation des eaux résiduaires et des excréta humains à l'état brute ou plus ou moins traités dans l'agriculture urbaine et péri urbaine [4].

Malgré les risques sanitaires associés à leurs utilisations, les excréta contiennent des nutriments et de l'eau qui en font des ressources précieuses. L'utilisation d'excreta et d'eaux ménagères dans l'agriculture, l'aquaculture et d'autres types d'activités limite les besoins en fertilisants artificiels et offre l'avantage de recycler les nutriments [4]. Ainsi pour tirer un meilleur profit des potentialités agronomiques des boues de vidanges et protéger les populations des risques liés à la réutilisation des boues de vidange, un traitement hygiénique semble donc inévitable [3]. Dans ce cadre, l'Office National de l'Assainissement du Sénégal (ONAS), en partenariat avec la fondation Bill et Melinda GATES, s'appuie sur son Programme de Structuration du Marché de Boues de Vidange (PSMBV) en développant une technologie innovante dans le traitement des BV. Cependant ce procédé de valorisation des BV génère des cendres qu'il faudrait aussi gérer et valoriser avec le moins d'effet néfaste possible sur l'environnement. Toutefois, lors de la combustion, les composés organiques sont minéralisés [5]. Étant donné leur caractère riche en éléments minéraux utiles pour les plantes, l'épandage agricole semble être en ce sens le moyen le plus attrayant pour les valoriser.

Au Sénégal, l'horticulture est l'une des filières les plus dynamiques du secteur agricole en raison de la permanence de ses activités (toute l'année), du nombre de pratiquants, de la diversité des espèces cultivées, mais aussi de la situation géographique de la zone de culture ainsi que des retombées financières pour les principaux acteurs [6]. L'horticulture contribue fortement à l'approvisionnement des villes en légumes. Elle représente donc un élément clé dans la sécurité alimentaire des villes en expansion et constitue un facteur de régulation du chômage [7]. Cependant, face à la réduction de la fertilité des sols due à l'exploitation intensive, les producteurs, pour optimiser les rendements, font recours à l'utilisation massive d'intrants chimiques dont les engrais, chargés en éléments nutritifs pour la plante mais aussi en éléments toxiques qui persistent dans le sol. Ainsi, pour améliorer la fertilité de ces sols dégradés, la recherche d'autres moyens de fertilisation devient une nécessité absolue.

Toutefois, cela passe par des tests de l'efficacité de ces produits. C'est le but de cette étude qui se fixe comme objectif d'évaluer l'effet agronomique du compost d'écumes de boues de vidange, des cendres de boues de vidange en comparaison avec l'engrais chimique sur le chou.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 ZONE D'ÉTUDE

Les travaux ont été réalisés à la station de recherche de Sangalkam de l'Institut Sénégalais des Recherches Agricoles (ISRA) de la région de Dakar au Sénégal.

2.2 CADRE BIOPHYSIQUE (CLIMAT, GÉOMORPHOLOGIE, COUVERTURE VÉGÉTALE)

Comme l'ensemble de la zone des *Niayes*, la commune de Sangalkam se trouve en zone de climat sahélien, prédominée par l'alizé maritime qui y souffle pendant trois à six mois et apporte de la fraîcheur [8].

¹ <https://www.sdg6data.org/en>

² https://www.pseau.org/sites/default/files/0_repertoire_fichiers/3_r_et_d/4_etude_cas_paqpud-dakar_onas_m-gueye.pdf

Le relief de la Commune de Sangalkam comme celui de l'ensemble de la zone des Niayes est relativement homogène. D'après [8]. De nombreux bas-fonds sont localisés dans les villages comme Diacksao, Niaga, Dény Biram Ndao Nord et Sud, Gorom I etc. (figure 1).

La végétation de la Commune est essentiellement composée de prairies marécageuses, de savanes arbustives, de savanes boisées, de steppes arbustives et de zones de culture [8].

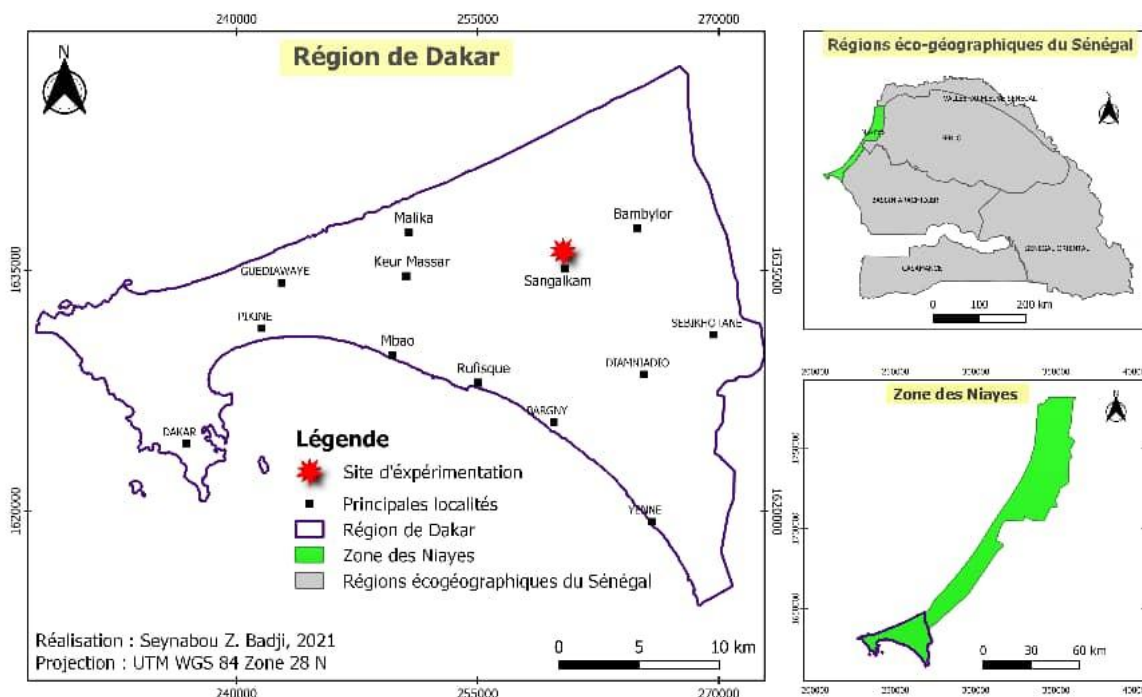


Fig. 1. Carte de localisation de la zone d'étude

2.3 CENDRES DE BOUES DE VIDANGE

Les cendres utilisées comme matériel fertilisant ont été obtenues à l'issu du processus de combustion des boues de vidange séchées avec l'Omniprocasseur (OP) (figure 2) installé à la station de traitement des boues de vidange (STBV) des Niayes.

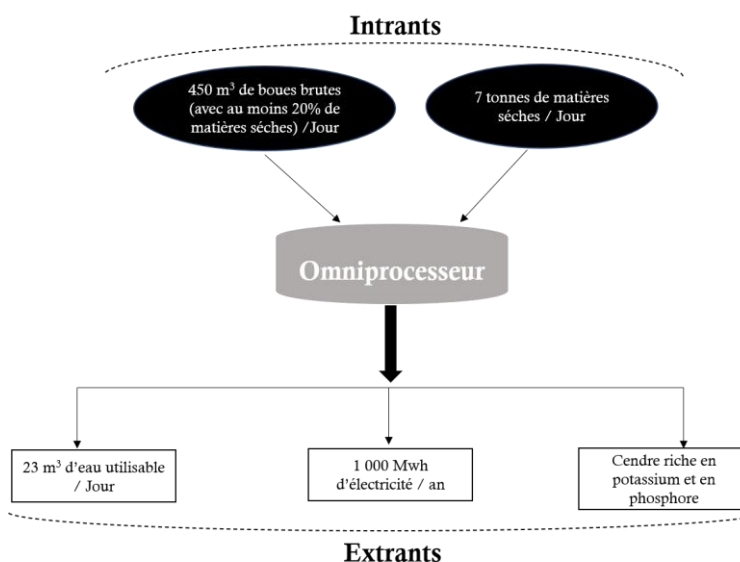


Fig. 2. Processus de traitement des déchets par l'Omniprocasseur (OP)

L'omniprocasseur (OP) indiqué sur la figure 3 est une technologie de combustion des boues de vidange qui génère des sous-produits exempts de pathogènes, notamment de l'eau distillée, de la cendre et de l'électricité. L'eau chaude produite par le système sans

pathogène peut être utilisée pour des applications sur site ou dans des établissements à proximité (abattoirs, hôpitaux, etc.) ou refroidis et utilisés dans la construction, l'agriculture, l'industrie, le transport etc [9].



Fig. 3. Omniprocasseur

La cendre riche en phosphore et en potassium (figure 4) peut être utilisée comme engrais ou dans la fabrication de briques pour la construction [10].



Fig. 4. Cendre de BV provenant de l'omniprocasseur

2.4 COMPOST D'ÉCUME DE BOUES

Le compost utilisé (figure 5) comme fertilisant dans les essais est un compost produit à partir des écumes de boues de vidanges domestiques collectées au niveau de la station d'épuration des Niayes. Il est issu d'un processus de décantation permettant de récupérer la partie solide flottante qui est ensuite compostée jusqu'à la décomposition complète. Il s'agit de boues collectées au niveau des fosses septiques des ménages. Leurs teneurs en métaux lourds sont très faibles d'où une utilisation propice en agriculture, contrairement aux boues d'épuration dont une bonne partie provient des installations industrielles [9].



Fig. 5. Compost d'écumes de boues

2.5 ENGRAIS CHIMIQUE NPK

L'engrais chimique NPK 10-10-20 (figure 6), a été employé dans cette étude pour comparer son efficacité avec celle de la cendre de boues de vidange et du compost par rapport à la nutrition des plantes.



Fig. 6. Engrais chimique NPK 10-10-20

2.6 TEST AU CHAMP

Le choix du chou comme culture expérimentale repose essentiellement sur ces besoins importants en azote (N). C'est aussi une spéculatation maraichère beaucoup cultivé dans la zone des Niayes, lieu de cette étude.

2.6.1 PRÉPARATION DES PLANTS EN PÉPINIÈRE

Les essais au champ sont précédés d'une période de préparation des plants en pépinière, qui a duré trois (3) semaines. La pépinière de chou a été faite sur alvéoles (figure 7). Cette période en pépinière est essentielle pour les cultures dans le sens où elle permet d'assurer de bonnes conditions de croissance aux plants durant leur stade juvénile, de produire des plants sur une superficie qui permettra de présenter les meilleures conditions de croissance, de combattre les maladies et les parasites, d'offrir la possibilité de sélectionner des plants homogènes à planter et d'accroître le rendement. Après quelques jours de mise en pépinière, les plantules ayant cinq (5) ou six (6) feuilles sont collectées pour être repiquées au niveau des parcelles élémentaires.



Fig. 7. Pépinière du chou sur alvéoles (Crédit photo: BADJI, 2020)

2.6.2 DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX

Les dispositifs mis en place sont en blocs de Fisher au nombre de six (06), organisés en quatre (04) répétitions, avec trois (03) doses de compost et de cendre. Chaque parcelle élémentaire a été labourée et bien nivelée afin d'avoir une surface plane appelée planche pour une répartition homogène de l'eau d'arrosage. Des ados ont été construits pour délimiter les planches. La figure 8 montre le plan du dispositif expérimental du chou.

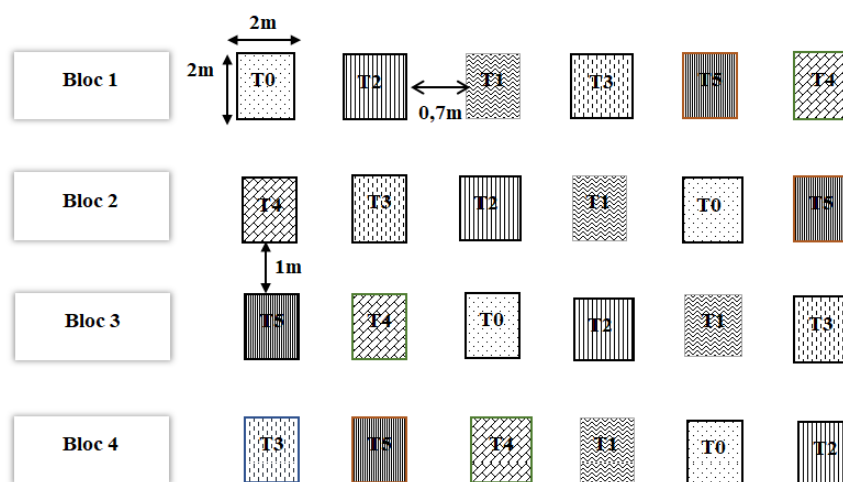


Fig. 8. Plan du dispositif expérimental du chou

2.6.3 FUMURE DE FOND ET REPIQUAGE

Sur chaque parcelle élémentaire, exceptées les parcelles témoins, a été épandue une dose de fumier de cheval déterminée en fonction de la superficie (2 Kg pour 1 m²) comme fumure de fond [9]. Ensuite, les parcelles ont été bêchées pour permettre l'enfouissement de la matière organique puis pré-irriguées afin d'humidifier le sol et ainsi accélérer la dégradation de cette matière organique [9]. Les repiquages des plants effectués en janvier sont faits à raison de seize (16) plants repiqués sur quatre (4) lignes (avec 50 cm d'interligne) contenant chacune quatre (04) pieds (avec 50 cm de distance entre les plants). Le nombre de lignes et l'écartement entre les plants repiqués est variable en fonction des espèces et suivant les normes techniques du Centre de Développement de l'Horticulture (CDH).

2.6.4 FERTILISATION DES CULTURES

Les doses de compost et de cendre sont calculées de manière à satisfaire les besoins en N, P et K (250 – 80 – 200) afin de déterminer la dose optimale pour les cultures. Satisfaire les besoins d'une culture revient aussi à apporter en quantité suffisante l'élément dont la culture a le plus besoin. Dans ce cas, cet élément est l'azote pour le chou (Tableau 1).

Tableau 1. Teneurs et besoins en N, P, K

	N	P	K
Teneurs des fertilisants			
Compost (en %)	7,18	10,24	1,3
Engrais NPK (kg/ha)	10	10	20
Cendres (g/kg)	-	58,85	5,48
Besoin des cultures			
Chou (en Kg)	250	80	200

Les doses de fertilisants appliquées (compost, cendre, engrais chimique NPK) sont calculées à partir des formules suivantes pour toutes les deux cultures:

T0 = (pas de fertilisant)

T1 = Dose normale de compost (calculée en fonction des besoins de la culture)

T2 = 50% de T1 + 50% de la dose normale de cendre (calculée avec la même méthode que T1)

T3 = T1 + 25% de T1 = Dose supérieure à la normale

T4 = T1 – 25% de T1 = Dose inférieure à la normale

T5 = Dose normale d'engrais chimique NPK (calculée avec la même méthode que T1)

Les quantités de fertilisants à appliquer sur la base des caractéristiques des fertilisants et des doses de fertilisants sont les suivantes:

- ✓ **(T0)** Culture sans fertilisant (Témoin);
- ✓ **(T1)** Compost d'écumes à 3,48 t/ha;
- ✓ **(T2)** Compost d'écumes à 1,74 t/ha + Cendre de BV à 31,32 t/ha;
- ✓ **(T3)** Compost d'écumes à 4,35t/ha;
- ✓ **(T4)** Compost d'écumes à 2,61 t/ha;
- ✓ **(T5)** Engrais NPK à 2,61 t/ha.

Les quantités de fertilisants déterminées ont été divisées par deux afin d'effectuer une première fertilisation vingt (20) jours après repiquage et une deuxième, quarante et un (41) jours après repiquage. Ce qui constitue la fumure de couverture.

2.6.5 ENTRETIEN DES PARCELLES REPIQUÉES

Les parcelles sont entretenues pour permettre le bon développement des plants. Des traitements phytosanitaires à l'aide de pulvérisateurs manuels à dos et à pression entretenue ont été appliqués pour lutter contre les ravageurs des cultures [9]. Ces traitements sont appliqués tous les quinze (15) jours, à compter du jour de repiquage. Les produits utilisés sont consignés dans le tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2. Traitements phytosanitaires

Nom commerciale	Matière active	Type	Dosage
Deltaméthrine	Deltaméthrine 12,5 g/L	Insecticide	40 cL pour 15 L d'eau
Fongex	11% soufre 12% thiophanate méthyl 20% oxychlorure de cuivre	Fongicide	35 g pour 15 L d'eau
Super Abam	Abamectine 20 g/L	Insecticide	80 cL pour 15 L d'eau
Mancozèbe	Mancozeb 80% zinc et manganèse	Fongicide	100 g pour 15 L d'eau

2.6.6 PARAMÈTRES DE CROISSANCE

Pour évaluer la valeur agronomique du compost et de la cendre, des mesures sont effectuées sur les paramètres de croissance et de développement.

Sur chaque parcelle élémentaire et en dehors des lignes de bordure, quatre (04) plants sont choisis. Ce choix est fonction de l'effectif parcellaire de plants pour chaque culture. Les mesures sur les variables de croissance ont porté sur le nombre de feuilles, la longueur des feuilles, la largeur des feuilles (ou encombrement), le diamètre au collet des plants et la teneur en azote.

Un Greenseeker (figure 9a) est utilisé pour mesurer la teneur en azote, un ruban-mètre (figure 9b) pour mesurer la longueur et la largeur des feuilles, et un pied à coulisse pour le diamètre au collet (figure 9c)



Fig. 9. (a, b et c): Appareils de mesure de la croissance végétative

2.6.7 PARAMÈTRES DE PRODUCTION

Après la récolte, la production a été déterminée pour chaque parcelle élémentaire ainsi que le poids individuel et le diamètre des fruits. Pour le chou, tous les fruits récoltés ont été mesurés.

2.6.8 TRAITEMENT ET ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES

Les mesures ainsi obtenues ont servi à évaluer l'influence du compost, de la cendre et de l'engrais NPK sur le chou. L'objectif des analyses statistiques est de synthétiser les résultats et de les comparer afin de mieux apprécier l'effet du compost, de la cendre et de l'engrais NPK sur les paramètres évalués. Les données ainsi obtenues ont d'abord été classées dans le tableur Excel du logiciel Microsoft office 2016 puis soumises à un test de la variance (ANOVA) à l'aide du logiciel XLSTAT.

3 RESULTATS

3.1 EFFETS DES DIFFÉRENTS AMENDEMENTS SUR LES PARAMÈTRES VÉGÉTATIFS DU CHOU

3.1.1 SUR LA VARIABLE ENCOMBREMENT

Il ressort de l'analyse de la variance que l'encombrement du chou est fortement influencé par les doses de fertilisants appliquées ($P < 0,001$). Ce qui se traduit par des différences très hautement significatives entre les traitements. La figure 10 représente les résultats de l'encombrement du chou en fonction des traitements étudiés.

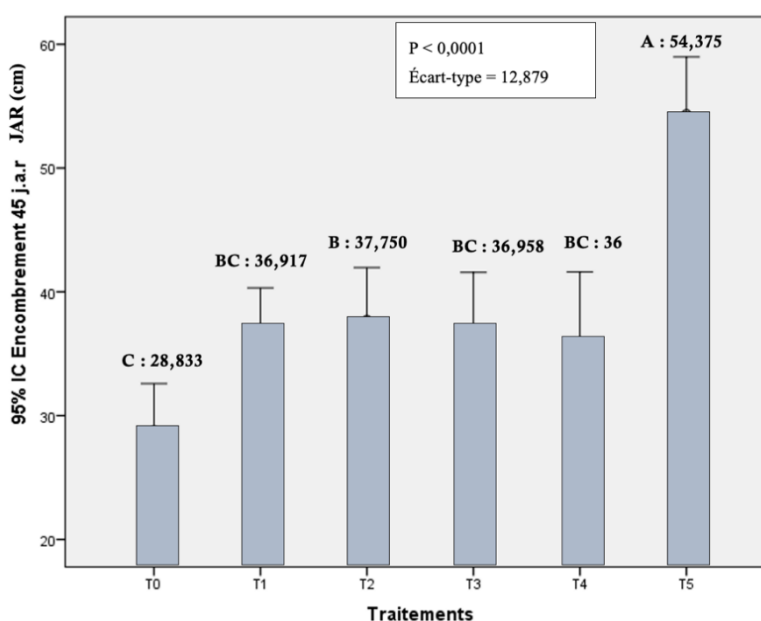


Fig. 10. Encombrements moyens des plantes de chou en fonction des traitements

La comparaison des moyennes avec le test de Tukey a permis de classer les traitements en différents groupes: le groupe A qui comprend le T5 qui a donné la plus grande moyenne 54,375 cm; le groupe B avec le traitement T2 a obtenu une moyenne de 37,750 cm

suivi du groupe BC avec les traitements T1 (36,917 cm), T3 (36,958 cm), T4 (36 cm), entre lesquels il n'y a aucune différence significative et enfin le groupe C traitement qui comprend T0 (28,833 cm).

3.1.2 SUR LA VARIABLE NOMBRE DE FEUILLES AU 35^{ÈME} JAR

Les résultats de l'ANOVA portant sur le nombre de feuilles au 35^{ème} jour montrent qu'il n'y a pas de différence significative entre les différents traitements ($P > 0,0001$). La figure 11 représente le nombre moyen de feuilles au 35^{ème} jour en fonction des traitements appliqués.

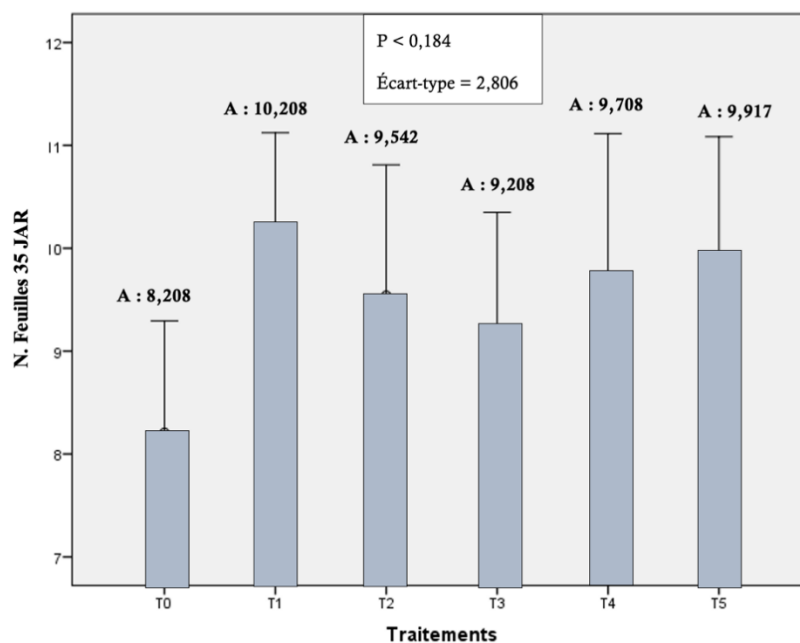


Fig. 11. Moyennes des nombres de feuilles du chou au 35^{ème} JAR en fonction des traitements

Le test Tukey montre que tous les traitements sont représentés par un seul groupe (A), ce qui confirme le caractère non significatif du test d'ANOVA. Donc aucune différence significative n'est observée entre les traitements par rapport à leur nombre de feuilles.

3.1.3 SUR LA VARIABLE NOMBRE DE FEUILLES AU 45^{ÈME} JAR

L'analyse de variance révèle qu'il existe une différence de moyenne en nombre de feuilles au 45^{ème} jour selon le facteur étudié ($P < 0,0001$) (figure 12).

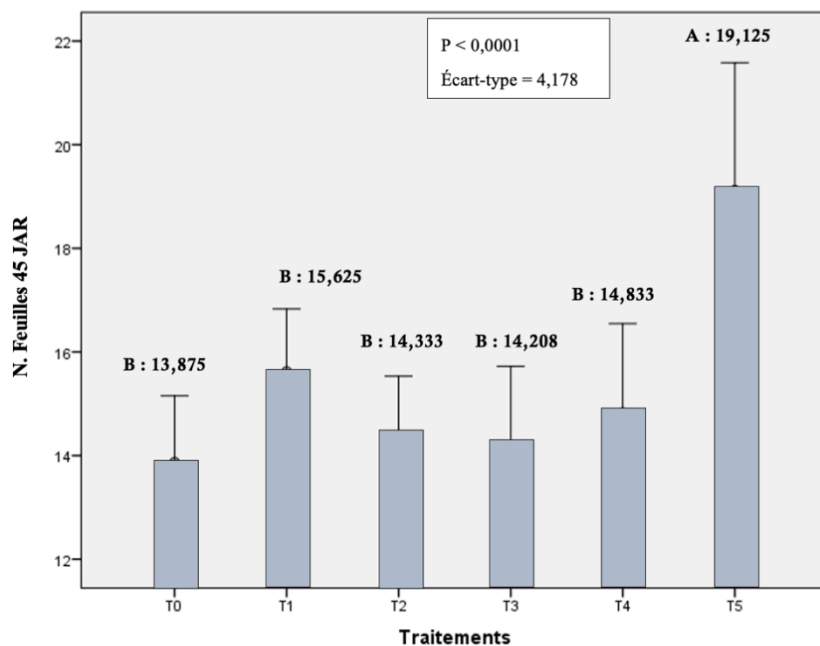


Fig. 12. Nombre de feuilles du chou au 45ième jour en fonction des traitements

Le Test d'homogénéité (Test de Tukey) a donné les résultats consignés dans la figure 12 qui montre le nombre moyen des feuilles en fonction des traitements étudiés. Le traitement T5 (engrais NPK), du groupe A, donne la valeur moyenne de nombre de feuilles la plus élevée soit 19. Le traitement témoin T0 donne la valeur la plus faible soit 14. Cependant pour tous les traitements représentés par le groupe B (T0, T1, T2, T3, et T4), il n'existe pas de différence significative par rapport à la variable nombre de feuilles.

3.1.4 SUR LA VARIABLE TENEUR EN AZOTE (VIGUEUR) DU CHOU

La valeur $P < 0,0001$ du test de variance nous permet de conclure que le test de la variance de la variable teneur en azote est hautement significatif (figure 13).

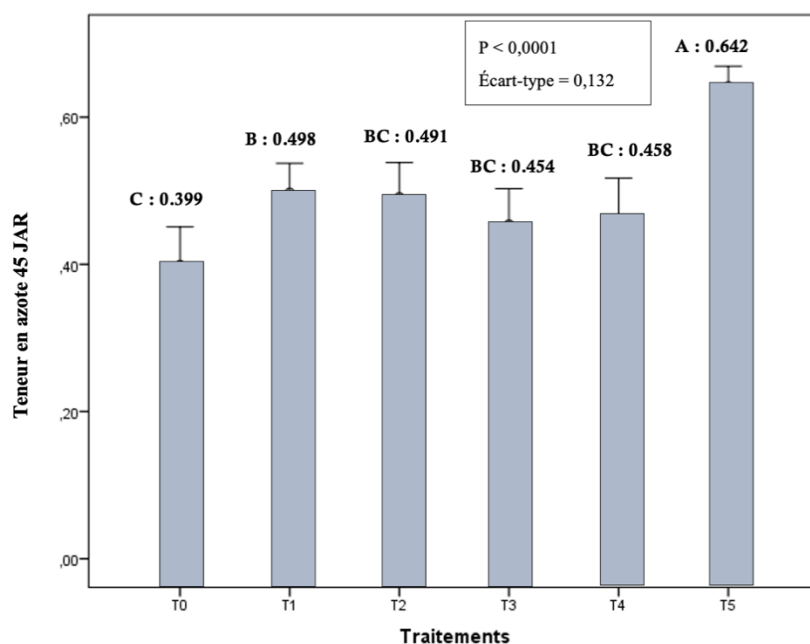


Fig. 13. Moyennes des teneurs en azote du chou en fonction des traitements

Les résultats du test de comparaison des moyennes dans la figure 16 révèlent que le traitement T5 représenté par le groupe A, a obtenu la valeur la plus importante soit 0,642 ce qui explique que les plantes de ce traitement ont eu les teneurs en azote supérieures à celles des plantes des autres traitements. Il s'ensuit que le traitement T1 (0,498) amendé avec du compost est significativement supérieure à la valeur trouvée pour le traitement T0, soit 0,399. Cependant il n'y a pas de différence significative entre le traitement T1 et les traitements T2 (0,491); T3 (0,454) et T4 (0,458).

Les résultats obtenus à l'issu des tests de variance et d'homogénéité pour le chou montrent que le T5 (engrais NPK) est nettement supérieur aux autres traitements, pour tous les paramètres étudiés (encombrement, nombre de feuilles, teneur en azote).

3.2 EFFET DES DIFFÉRENTS AMENDEMENTS SUR LES PARAMÈTRES DE PRODUCTION DU CHOU

3.2.1 MOYENNES DES POIDS INDIVIDUELS DES FRUITS DE CHOU PAR TRAITEMENT

La figure 14 montre les moyennes des poids des fruits récoltés en fonction des traitements étudiés.

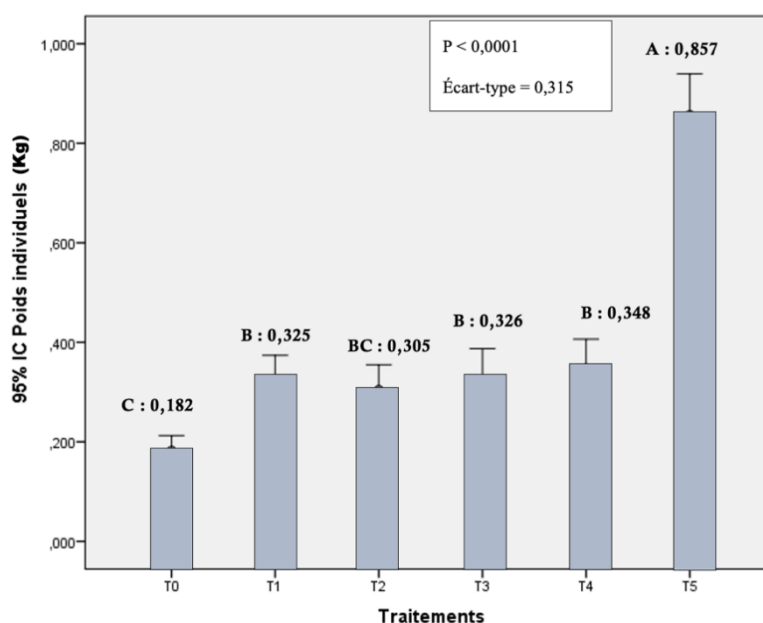


Fig. 14. Moyennes des poids individuels des fruits de chou récoltés

Le poids moyen le plus élevé soit 0,857 Kg est obtenu par le traitement T5. Les traitements T1 (0.325 Kg), T2 (0.305 Kg), T3 (0.326 Kg) et T4 (0.348 Kg) ont donné des productions presque équivalentes. Le traitement T0 a donné la plus faible valeur.

3.2.2 DIAMÈTRES MOYENS DES FRUITS DU CHOU

Le test de variance des diamètres moyens des choux montre une différence hautement significative entre les traitements étudiés ($P < 0,0001$). Il montre 3 groupes: A, B et C (figure 15).

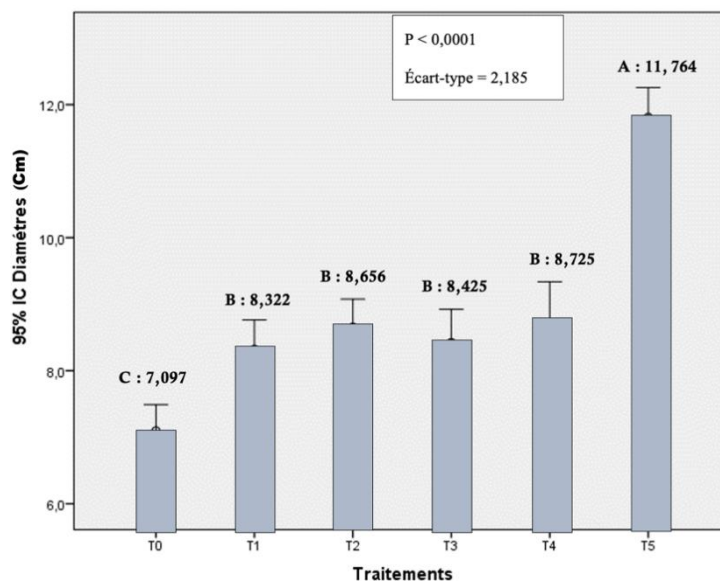


Fig. 15. Moyennes des diamètres en fonction des traitements

La moyenne la plus élevée est donnée par le traitement T5 avec 11,764 cm. Les traitements T1 (8.322 cm), T2 (8.656 cm), T3 (8.425 cm) et T4 (8.725 cm) n'ont pas de différence significative. Ils présentent tous des diamètres presque équivalents. Quant au traitement témoin T0, il a les plus petits fruits avec une moyenne de 7,097 cm.

3.2.3 RENDEMENT DU CHOU

La figure 16 ci-dessous montre les moyennes des rendements en fonction des traitements.

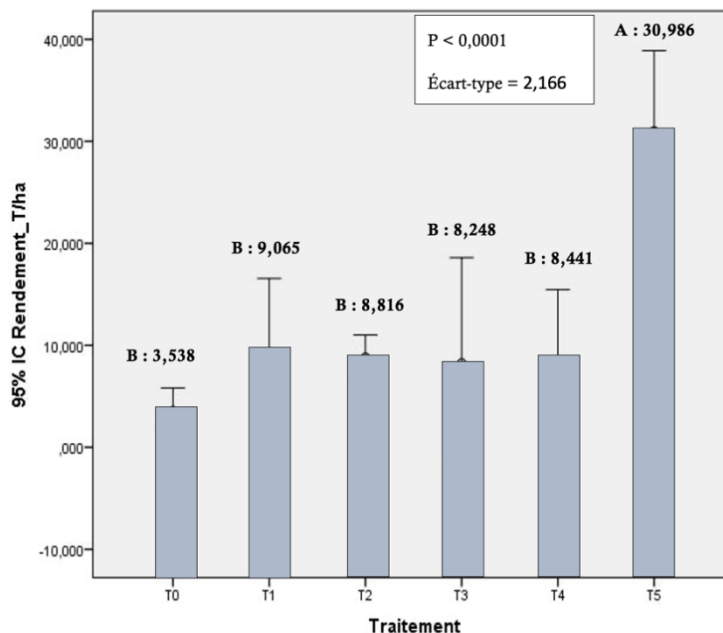


Fig. 16. Moyennes des rendements du chou en fonction des traitements

Les parcelles ayant reçu l'engrais chimique (T5) ont donné le plus grand rendement soit 30,986 t/ha. Cette valeur dépasse largement celles trouvées avec les traitements T1 (9,065 t/ha), T2 (8,816 t/ha), T3 (8,248 t/ha) et T4 (8,441 t/ha) entre lesquelles il n'y a pas de différence significative. Le traitement T0 témoin a obtenu le plus faible rendement soit 3.538 t/ha.

Le tableau 3 fait une synthèse comparative entre les rendements obtenus pour le chou en fonction des traitements.

Tableau 3. Comparatif des rendements

TRAITEMENTS APPLIQUES	RENDEMENTS en t/ha
T0 (sans fertilisant)	3,53
T1 (dose normale de compost)	9,06
T2 (compost + cendre)	8,81
T3 (dose supérieure de compost)	8,24
T4 (dose inférieure de compost)	8,44
T5 (engrais chimique NPK)	30,98

4 DISCUSSION

Les paramètres quantitatifs de tous les traitements sont meilleurs que ceux du témoin mais ils diffèrent entre eux selon le paramètre et la dose de compost incorporée au départ [11], ainsi que de la dose de cendre appliquée.

La tendance est que le traitement T5 (engrais NPK) a produit les meilleurs résultats en termes de croissance et de développement végétatifs. Cela est dû au fait que les éléments nutritifs sont beaucoup plus disponibles dans l'engrais chimique qui contrairement au compost les libèrent plus rapidement. Les engrais minéraux ont une efficacité agronomique plus grande parce que leurs éléments sont disponibles et facilement absorbés par les cultures [12]. Vu que le chou a un cycle de production un peu court, donc il a besoin d'une minéralisation rapide pour satisfaire rapidement ses besoins en éléments nutritifs [13]. Par ailleurs les analyses statistiques révèlent que le traitement T1 avec la dose normale de compost (3,48 t/ha) contribue mieux à la croissance et au développement des plants de chou que T2 (compost d'écumes à 1,74t/ha + cendre de BV à 31,32t/ha); T3 (compost d'écumes à 4,35t/ha) et T4 (compost d'écumes à 2,61 t/ha). Ce résultat pourrait être dû au fait que la teneur en azote dans le traitement T1 est idéale pour le chou comparé aux autres traitements.

Ces résultats sont intéressants dans la mesure où ils permettent de confirmer ceux de plusieurs auteurs dans la littérature tels que [14]; [15]; [16]; [17]; [18] selon qui le compost dispose de propriétés amendantes et améliore la nutrition, la croissance et le rendement des cultures. Nos résultats confirment aussi ceux de [17], qui ont montré que l'apport du compost a un effet bénéfique sur la croissance et le développement du sorgho.

Au niveau des résultats post-récolte observés sur le chou, le traitement T5 a fourni les plus gros fruits. En ce qui concerne les autres traitements, la différence n'est pas perceptible, néanmoins le traitement T4 avec la dose inférieure de compost a induit les meilleurs poids et les meilleurs diamètres comparé à T0, T1, T2 et T4. L'analyse statistique montre que, le rendement moyen du chou (31,59 t/ha) obtenu avec l'engrais chimique NPK (traitement T5) est largement plus important que tous les autres rendements. Ces résultats sont conformes aux résultats de [19]. Ils sont aussi conformes au rendement optimal défini par le CDH qui est de 15 à 40 t/ha avec une fumure d'entretien de 400 kg/ha d'engrais chimique. Néanmoins parmi les traitements qui ont reçu le compost, le T1 a produit le meilleur rendement avec 8,86 t/ha [19]. Le meilleur rendement obtenu avec l'engrais chimique NPK peut être dû au fait que le chou étant une plante à légume feuille, il a un besoin plus important en azote qu'en phosphore. Or, le compost est plus riche en phosphore (10,24 % N) qu'en azote (7.18 % P). Toutefois, malgré les bons rendements obtenus avec l'engrais chimique, il est nécessaire d'y ajouter des fertilisants organiques, car selon [20], l'apport d'engrais minéraux seuls ne peut pas maintenir à long terme la productivité des sols à cause du lessivage et de la dégradation des propriétés des sols.

5 CONCLUSION

L'application à différentes doses sur la culture a permis d'avoir une croissance et un développement végétatif satisfaisant par rapport aux parcelles témoins. Les plants se sont mieux développés avec l'engrais chimique (10-10-20) donnant ainsi les meilleurs résultats pour l'encombrement (soit 54,37 cm), le nombre de feuilles (19,12), la teneur en azote (0,64) et le rendement (30,98 t/ha). Les résultats avec l'engrais chimique sont significativement différents par rapport à ceux obtenus avec les autres traitements pour tous les paramètres de croissance, de développement et de rendement. Au regard de ces résultats, l'amélioration de la teneur en azote dans le compost devrait être un point crucial. Il serait donc nécessaire de co-composter les écumes avec des matériaux riches en azote. Quant à la cendre, elle ne pourrait se substituer au compost car étant presque dépourvu de matière organique. Par ailleurs, son épandage à un taux de 50 % des besoins des cultures ne convient pas à l'aération du sol car obstrue les porosités et ne facilite pas l'infiltration de l'eau. En outre elle pourrait constituer un matériau utilisable dans la cimenterie pour la construction ou servir à tamponner les sols acides. Il serait aussi pertinent de faire l'étude des teneurs en éléments nutritifs et en Éléments Traces Métalliques (ETM) des fruits après la récolte.

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'entreprise **DELVIC Sanitation Initiatives** pour avoir financé ce travail, **ISRA-CDH** pour l'accueil et la mise à disposition des parcelles d'expérimentations.

REFERENCES

- [1] United Nations Department of Economic and Social Affairs, The Sustainable Development Goals Report 2025. New York. (revision August 2025).
- [2] A.M., INGALLINELLA, G., SANGUINETTI, T., KOOTTATEP, A., MONTANGERO AND M., STRAUSS, The challenge of faecal sludge management in urban areas - Strategies, regulations and treatment options. *Water Science and Technology* 46 (10): 285-294, 2002.
- [3] E. M. SONKO, Traitement de boues d'assainissement domestique par lits de séchage plantés: Performances du système en fonction du type et de la variabilité des boues, de la fréquence d'alimentation et de la nature des macrophytes. Thèse de Doctorat en Environnement, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 207p, 2015.
- [4] OMS, Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères, 232p, 2012.
- [5] A. DEMEYER, J. NKANA et M. VERLOO, «Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview, » *Bioresource Technology*, 77 (3), pp. 287-295p, 2001.
- [6] A. GUEYE, Utilisation des lits de séchage plantés dans l'assainissement pour le traitement et la valorisation des boues de vidange dans le contexte des villes de l'Afrique subsaharienne: Identification de nouvelles espèces végétales locales à intérêt économique, avéré adaptées au traitement des boues de vidange. Sénégal: Thèse de doctorat en Environnement. Université Cheikh Anta Diop de Dakar, ED-SEV, FST, ISE, 234p, 2018.
- [7] S. T. FALL et A. S. FALL, Cités horticoles en sursis. L'agriculture urbaine dans les grandes Niayes au Sénégal, Centre de recherches pour le développement international. 138p, 2001.
- [8] A. FAYE, La dégradation des périmètres maraichers dans la communauté rurale de Sangalkam., Mémoire de Master. FST-UCAD. 154p, 2010.
- [9] E. M. SONKO, S. Z. BADJI, A. M. SONKO, M. LO, S NDIAYE, AND C. DIOP, Comparative Study of the Agronomic Effect of Compost from Faecal Sludge Scum and Faecal Sludge Ash on Vegetable Crops in the Sangalkam Area of Senegal: Case of Onion (*Allium cepa*). Volume 11, Issue 10 pp. 5406-5422, 2022.
- [10] A. FAYE, «Dakar tests the omni-processor, » *Boues mag (n°3)*, pp. 33-34 p, 2014.
- [11] B. MOURIA, A. OUZZANI-TOUHAMI et A. DOUIRA, «Valorisation agronomique du compost et de ses extraits sur la culture de la tomate, » *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 16, p. 165 – 190p, 2010.
- [12] S. Y. USENI, K. M. CHUKIYABO, K. J. TSHOMBA, M. E. MUYAMBO, K. P. KAPALANGA, N. F. NTUMBA, A. K. P. KASANGIJ, K. KYUNGU, L. L. BABOY, K. L. NYEMBO et M. M. MPUNDU, «Utilisation des déchets humains recyclés pour l'augmentation de la production du maïs (*Zea mays* L.) sur un ferralsol du sud-est de la RD Congo, » *Journal of Applied Biosciences* 66:, p. 5070 – 5081, 2013.
- [13] F. D. SECK, Etudes des performances agronomiques d'un compost produit à base de fumier et de la biomasse du neem sur la culture du chou, Dakar - Sénégal: Mémoire de master. FST.UCAD. 28p, 2017.
- [14] M. LO, E. H. M. SONKO, D. DIENG, S. NDIAYE, C. DIOP, A. SECK et A. GUEYE, «Co-compostage de boues de vidange domestiques avec des déchets maraichers et des déchets de poissons à Dakar (Sénégal), » *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 13 (6), pp. 2914-2929 p, 2019.
- [15] S. LESSARD, Compostage des déchets verts domestiques et des boues d'épuration: synthèse des connaissances concernant les risques pour la santé, Rapport. 83p, 1992.
- [16] L. E. FELS, Suivi physico-chimique, microbiologique et écotoxicologique du compostage de boues de STEP mélangées à des déchets de palmier: validation de nouveaux indices de maturité., France: Thèse de doctorat. Université de Toulouse. 273p, 2014.
- [17] H. SAWADOGO, L. BOCK, D. LACROIX et N. P. ZOMBRE, «Restauration des potentialités de sols dégradés à l'aide du zaï et du compost dans le Yatenga (Burkina Faso), » *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 12 (3), pp. 279-290p, 2008.
- [18] Z. KONATE, H. D. A. ABOBI, F. D. SOKO et A. YAO-KOUAME, «Effets de la fertilisation des sols à l'aide des déchets ménagers solides compostés dans les décharges sur le rendement et la qualité chimique de la laitue (*Lactuca sativa* L.), » *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 12 (4); pp. 1611-1625p, 2018.
- [19] M. NDOMÉ, Etude comparative des effets des boues de vidange traitées sur les cultures maraichères dans la zone des niayes au Sénégal: Cas du gombo (*Abelmoschus esculentus* L.), Dakar - Sénégal: Mémoire de master. Institut des Sciences de l'Environnement (SE) /FST/UCAD. 53p, 2019.
- [20] R. ALVAREZ, «A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage, » *Soil Use and Management*, 21, pp. 38-52p, 2005.

Difficultés de compréhension de la dynamique des chromosomes chez les apprenants du cycle qualifiant et réflexion sur des solutions pédagogiques

[Difficulties in understanding chromosome dynamics among qualifying-cycle learners and reflection on pedagogical solutions]

Hicham Boumajane and Wissal Iraqi-Houssaini

Département de Biologie, Centre Régional des Métiers de l'Éducation et de la Formation, Fès-Meknès, Morocco

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

ABSTRACT: The concept of genetic information has long been integrated into Life and Earth Sciences curricula in Morocco. However, the teaching materials commonly used in classrooms remain insufficient to effectively communicate the dynamic nature of chromosomes during the cell cycle. Chromosomal behavior in mitosis and meiosis is consistently identified as one of the most challenging topics for high school students in biology. This research focused on identifying the key factors that hinder students' understanding of chromosome dynamics at the secondary level. It also aimed to evaluate the relevance and effectiveness of the didactic tools used in classrooms to represent these biological processes. The present study was conducted using an observation grid applied to two science classes. The findings reveal persistent misconceptions among students. The research advocates for pedagogical strategies that incorporate dynamic models, guided reasoning, and conceptual scaffolding to promote a deeper and more accurate understanding of chromosomal dynamics.

KEYWORDS: Crossing-over, Mitosis, Meiosis, Chromosome modeling.

RESUME: La notion d'information génétique est intégrée depuis des décennies dans les programmes des SVT. Toutefois, les supports pédagogiques traditionnellement utilisés se révèlent souvent insuffisants pour transmettre la nature dynamique des chromosomes au cours du cycle cellulaire. De même, le comportement chromosomique durant la mitose et la méiose demeure l'un des concepts les plus complexes à assimiler pour les apprenants. La présente recherche s'est centrée sur l'identification des facteurs rendant difficile l'apprentissage de la dynamique chromosomique, tout en analysant l'efficacité des supports pédagogiques utilisés. À l'aide d'une grille d'observation appliquée dans deux classes de sciences mathématiques, l'étude a révélé des représentations erronées persistantes chez les apprenants. Les résultats obtenus plaident en faveur d'une révision des pratiques pédagogiques actuelles, en intégrant des méthodes actives, des outils interactifs et une modélisation progressive des phénomènes, afin de renforcer la compréhension du caractère dynamique et logique des mouvements chromosomiques et de promouvoir une éducation scientifique centrée sur la construction de sens plutôt que sur la mémorisation mécanique.

MOTS-CLEFS: Crossing-over, Mitose, Meiose, Modélisation des chromosomes.

1 INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE GÉNÉRAL

Le XXI^e siècle s'impose comme celui de la génomique [1], marqué par des avancées majeures allant de la découverte de la structure de la molécule d'ADN, à l'introduction de la technologie de l'ADN recombinant, pour aboutir à l'achèvement du Projet Génome Humain (HGP) en 2003 [2]. Aujourd'hui, ces avancées se prolongent à travers divers projets nationaux, notamment

les travaux en cours sur le Projet Génome Marocain (MGP) [3], illustrant l'intérêt croissant porté à l'information génétique dans les sociétés modernes. Conscients de cette évolution, les systèmes éducatifs à travers le monde ont intégré la notion de l'information génétique comme un élément fondamental de programmes scolaires [4]. Le concept de la génétique est intimement lié à la maîtrise des notions fondamentales telles que la cellule et les mécanismes de division cellulaire [5]. Des enseignants à différents niveaux rapportent que les apprenants rencontrent des difficultés à comprendre le processus de la division cellulaire [6]. Intégré aux programmes de Sciences de la Vie et de la Terre (SVT) du cycle qualifiant (CQ), ce processus s'inscrit dans la notion de l'information génétique et constitue une introduction aux notions de reproduction (sexuée et asexuée) ainsi qu'aux fondements de la génétique.

La division cellulaire est un processus continu¹, mais elle est découpée en une série d'étapes permettant de distinguer les caractéristiques marquantes à des moments précis [7]. La dynamique et l'orientation des chromosomes au cours de la mitose et la méiose (M&M) sont essentielles à la compréhension du concept par les apprenants en SVT [8]. Bien que ces notions soient intégrées aux programmes de SVT depuis plusieurs décennies, de nombreuses études révèlent la persistance d'idées erronées et de difficultés conceptuelles chez les apprenants [4,9,10]. Parmi toutes les étapes de la méiose, le processus de crossing-over et la recombinaison méiotique, essentiels à une ségrégation correcte des chromosomes et à la diversité génétique [11], demeurent parmi les plus mystérieux pour les étudiants [12]. Ces processus biologiques ne sont pas directement observables [13], ce qui conduit à un recours fréquent à des schémas complexes dans les supports pédagogiques afin d'aider les apprenants à visualiser la dynamique chromosomique associée à ces phénomènes [12]. Contrairement aux enseignants, qui possèdent les compétences nécessaires pour interpréter et concevoir les représentations graphiques et des schémas utilisés pour communiquer cette dynamique, les apprenants éprouvent souvent des difficultés à comprendre pleinement ces illustrations statiques [14]. Par conséquent, les phénomènes liés à la dynamique des chromosomes restent souvent opaques pour les apprenants en SVT, ce qui conduit à l'élaboration de modèles mentaux erronés et à l'ancrage de conceptions fausses particulièrement résistantes au changement [15].

1.2 PROBLÉMATIQUE

Ce projet s'inscrit dans le cadre de mon stage en tant qu'enseignant stagiaire du CQ en SVT dans un établissement public à Meknès (Maroc). Dans ce cadre, J'ai observé que la compréhension de la dynamique des chromosomes, notamment lors de la M&M, du crossing-over, ainsi que des variations du nombre chromosomique au cours du cycle cellulaire (CC), représente un défi majeur pour les apprenants. Bien que ces notions soient incluses dans le curriculum depuis plusieurs décennies, leur communication pédagogique reste insuffisante. L'utilisation d'outils tels que les schémas ou les manuels scolaires ne permet pas toujours aux apprenants de saisir de manière adéquate le concept de la dynamique chromosomique. Cette limitation pédagogique contribue à l'émergence et à la persistance de conceptions erronées, souvent ancrées durablement dans leur raisonnement. Dès lors, se posent les questions suivantes: Quels sont les facteurs qui rendent l'apprentissage de concepts en relation avec la dynamique des chromosomes difficiles pour les apprenants ? et quelles alternatives pédagogiques pourraient être mises en place pour améliorer la transmission des connaissances sur la dynamique des chromosomes ?

1.3 OBJECTIFS

Notre recherche s'est focalisée sur trois objectifs qui sont:

- Identifier les facteurs qui rendent l'apprentissage des concepts liés à la dynamique des chromosomes particulièrement difficile pour les apprenants du CQ.
- Recenser la diversité des méthodes pédagogiques utilisées pour l'enseignement de la dynamique des chromosomes.
- Analyser l'efficacité des outils/supports utilisés pour communiquer la dynamique des chromosomes.

1.4 HYPOTHÈSES

Dans ce travail, nous avons émis quatre hypothèses à confirmer ou à rejeter pour essayer de répondre à la problématique que nous avons émise plus haut.

¹ Il existe des exceptions, notamment chez les cellules en phase G0, les ovocytes et les cellules sénescents.

- Le manque de modèles interactifs et de maquettes accessibles pour visualiser la dynamique des chromosomes au cours du CC favorise l'élaboration de représentations mentales erronées chez les apprenants.
- La non-diversification des méthodes d'enseignement limite la capacité des apprenants à comparer leurs modèles mentaux à d'autres représentations plus scientifiques.
- Les schémas généralement utilisés pour enseigner la dynamique chromosomique offrent des représentations discontinues des mouvements chromosomiques et peu réalistes.
- Les modalités de communication et d'introduction de la dynamique chromosomique sont principalement orientées vers la mémorisation des positions des chromosomes en vue des examens.

2 MATÉRIELS & MÉTHODES

Dans le cadre de cette recherche visant à identifier les facteurs qui rendent l'apprentissage des concepts liés à la dynamique des chromosomes particulièrement difficile pour les apprenants du CQ, à recenser la diversité des méthodes pédagogiques utilisées pour l'enseignement de la dynamique des chromosomes, et analyser l'efficacité des outils/supports utilisés pour communiquer la dynamique des chromosomes., une grille d'observation a été élaborée et mobilisée comme outil principal de collecte de données. Elle a été appliquée sur un échantillon constitué de deux classes de première année baccalauréat, filière Sciences Mathématiques CQ, au sein d'un établissement public à Meknès (Maroc). L'effectif total des deux classes s'élève à 73 élèves.

Cette grille visait à évaluer de manière structurée plusieurs dimensions liées à l'enseignement et à la compréhension de la dynamique des chromosomes au cours de CC, notamment à travers l'identification des obstacles pédagogiques, des pratiques d'enseignement et des supports utilisés. Les observations ont permis de recueillir des données concrètes sur les méthodes didactiques employées, leur diversité et la nature des supports utilisée pour enseigner la dynamique des chromosomes.

La grille est présentée avec ses différents composants dans la partie « Résultats ».

3 RÉSULTATS

La division cellulaire est un processus comportant toute une série d'étapes permettant de distinguer les caractéristiques marquantes à des moments précis. La dynamique et l'orientation des chromosomes au cours de la mitose et la méiose sont essentielles à la compréhension du concept par les apprenants en SVT. Notre travail de recherche à objectif principal d'identifier les facteurs qui rendent l'apprentissage des concepts liés à la dynamique des chromosomes particulièrement difficile pour les apprenants du CQ, a utilisé une grille d'observation avec plusieurs critères et indicateurs. L'observation menée dans deux classes, a permis de recueillir des données empiriques réparties selon quatre critères principaux: (1) les difficultés de compréhension des apprenants, (2) la diversité des méthodes pédagogiques utilisées, (3) l'adéquation des schémas, et (4) l'orientation vers la mémorisation.

Tableau 1. Grille d'observation des difficultés de compréhension et des pratiques pédagogiques en SVT

Critères	Indicateurs	Oui	Non
1. Difficultés de compréhension des apprenants	Confusions dans les réponses aux questions orales sur les étapes de la M&M.	✓	
	Mauvaise chronologie des phases du CC.	✓	
	Reconnaissance d'une phase du CC à partir de la disposition des chromosomes observée dans un schéma ou une illustration.		✓
	Interversion fréquente des phases de la M&M.	✓	
	Confusion entre chromatide et chromosome, avec utilisation de mots comme ' <i>truc qui bouge</i> ' au lieu de centromère, chromatide, etc.	✓	
2. Diversité des méthodes pédagogiques utilisées	La variété des approches pédagogiques (<i>maquettes, simulations, vidéos, jeux, etc.</i>) stimule l'engagement des apprenants et facilite leur compréhension de la dynamique chromosomique au cours des phases de la M&M.	✓	
	L'utilisation exclusive de schémas statiques limite la capacité des apprenants à percevoir la continuité et la logique des mouvements chromosomiques durant les différentes phases de la M&M.	✓	

	L'intégration de méthodes actives (<i>travail de groupe, débats, mises en situation etc.</i>) permet aux apprenants d'expliquer par eux-mêmes les étapes du CC.	✓	
3. Adéquation des schémas	Présence de flèches dans les schémas reliant les différentes phases aide les apprenants à visualiser la progression temporelle et le déplacement dynamique des chromosomes durant le CC.		✓
	Les schémas qui représentent de manière explicite le phénomène de crossing-over au cours de la prophase I ainsi que les mouvements chromosomiques associés, aident les apprenants à localiser cet événement clé et à comprendre son rôle dans la recombinaison génétique.	✓	
	L'utilisation de schémas évolutifs montrant les changements morphologiques successifs d'un même chromosome au fil des étapes de la M&M aide les apprenants à visualiser la continuité du CC et à construire une compréhension dynamique du processus.	✓	
4. Orientation vers la mémorisation.	Le manque d'explication sur la logique biologique du mouvement chromosomiques oriente les apprenants vers une mémorisation séquentielle/mécanique des étapes et du positionnement des chromosomes au lieu d'une compréhension approfondie du cycle.	✓	
	Les questionnements en classe sollicitent les compétences de raisonnement et d'explication des apprenants, les amenant à établir des liens entre les étapes de la M&M et leurs fonctions biologiques, favorisant ainsi une compréhension approfondie plutôt qu'une simple mémorisation.	✓	
	La présentation directe de schémas complets illustrant toutes les étapes de la M&M sans progression questionnement intermédiaire, pousse les apprenants à mémoriser les positions des chromosomes plutôt qu'à réfléchir sur la logique du déroulement des phases et à construire une compréhension progressive du processus.	✓	

L'analyse des résultats issus de l'observation, met en lumière plusieurs constats significatifs en lien avec la problématique de l'étude:

3.1 DIFFICULTÉS DE COMPRÉHENSION

Les observations révèlent des lacunes notables dans la compréhension des concepts liés à la M&M. Ces difficultés se traduisent par une interversion fréquente des phases du CC, une mauvaise chronologie des événements, ainsi qu'une confusion persistante entre chromatides et chromosomes. Cette confusion lexicale et conceptuelle illustrée par l'emploi de termes vagues comme '*truc qui bouge*', témoigne de représentations mentales floues et d'une absence de maîtrise du vocabulaire scientifique de base. Par ailleurs, les apprenants éprouvent des difficultés à identifier les phases cellulaires à partir de la disposition des chromosomes dans des schémas non légendés, ce qui montre une faible capacité à faire le lien entre les représentations visuelles et la réalité dynamique du CC.

Ces éléments suggèrent un traitement fragmenté du savoir, centré davantage sur l'identification statique des phases que sur leur enchaînement logique ou leur rôle fonctionnel. Le manque d'appropriation du caractère dynamique et continu du CC semble constituer un obstacle majeur à une compréhension conceptuelle solide.

3.2 DIVERSITÉ DES MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

L'analyse des pratiques pédagogiques met en évidence une variation significative dans la manière dont la dynamique chromosomique est simulée auprès des apprenants, selon les méthodes utilisées. D'un côté, certaines situations d'enseignement se distinguent par la mobilisation de supports variés, favorisant l'engagement cognitif d'un large éventail d'apprenants et facilitant l'accessibilité à des concepts abstraits. En particulier, l'utilisation de modèles ou de maquettes, à des moments précis du déroulement du cours, permet aux apprenants de confronter leurs modèles mentaux à ceux présentés par

l'enseignant. Le recours à des méthodes actives, telles que le travail en groupe, les questionnements ouverts ou les mises en situation, a offert aux élèves l'opportunité de verbaliser eux-mêmes les étapes du CC contribuant ainsi à une construction progressive et plus solide du savoir.

À l'inverse, d'autres contextes reposant principalement sur la présentation de schémas statiques, sans accompagnement explicatif ou dynamique, tendent à figer les représentations mentales des apprenants. Cette approche limite leur capacité à percevoir les transformations successives des chromosomes comme un processus évolutif, et favorise l'élaboration de conceptions discontinues du CC. Le déficit dans l'utilisation de maquettes, de modèles dynamiques ou de méthodes actives compromet ainsi la construction d'une compréhension approfondie du CC. En l'absence de supports visuels ou manipulables permettant de représenter concrètement la dynamique chromosomique, les élèves développent des conceptions figées, fragmentées, voire erronées du processus biologique étudié.

Il ressort de ces observations que la diversité méthodologique joue un rôle central dans la qualité de la représentation que les apprenants se font de la dynamique chromosomique. L'absence de variété dans les approches pédagogiques semble fortement corrélée à des incompréhensions persistantes.

3.3 ADÉQUATION DES SCHÉMAS

L'analyse des schémas utilisés en classe souligne une insuffisance dans la représentation dynamique du CC. L'utilisation des flèches entre les différentes phases du cycle ne suffit pas à communiquer la nature dynamique des chromosomes, ce qui limite l'illustration de la progression temporelle et les mouvements continus des chromosomes. Cette faiblesse graphique empêche les apprenants de percevoir le CC comme un processus évolutif fluide, et renforce l'idée d'une succession d'étapes figées, sans transition ni transformation réelle des structures chromosomiques. Cependant, le recours à des schémas évolutifs, où un même chromosome est représenté en transition sur plusieurs phases, permettant de mieux illustrer les changements morphologiques progressifs. Ce type de représentation, bien qu'isolé (traitant l'évolution d'un chromosome individuel), s'est révélé pertinent pour renforcer la cohérence du processus et la logique des événements. Ainsi, la qualité des supports visuels tant dans leur construction que dans leur exploitation pédagogique constitue un facteur déterminant dans la mise en évidence du caractère dynamique du CC.

3.4 ORIENTATION VERS LA MÉMORISATION

L'analyse indique que certaines pratiques pédagogiques tendent à favoriser la mémorisation mécanique des phases plutôt que la compréhension de leur enchaînement logique. L'absence de questionnements orientés vers le sens biologique des étapes, ou la présentation directe de schémas complets sans cheminement progressif, encouragent chez les élèves une approche algorithmique, focalisée sur le repérage visuel des formes plutôt que sur l'analyse fonctionnelle et l'appropriation de la logique biologique en question. Inversement, la pratique du questionnement guidé, lorsque les enseignants amènent les apprenants à réfléchir sur les objectifs de chaque phase et à faire le lien entre la structure observée et sa fonction. Ces pratiques contribuent à réorienter l'apprentissage vers une compréhension intégrée plutôt qu'une accumulation de données isolées.

L'orientation vers la mémorisation semble donc dépendre du positionnement didactique de l'enseignant: lorsque l'explication se construit avec ces apprenants à travers des interactions, la compréhension semble progresser, lorsque l'enseignant se limite à transmettre des représentations toutes faites, la mémorisation prend le dessus.

3.5 OBSERVATION HORS GRILLE

Les apprenants ont également manifesté des confusions quant à la dynamique des chromosomes, notamment en lien avec d'autres événements cytoplasmiques essentiels survenant au cours du CC tels que les variations du volume cellulaire, le comportement des centromères, ou encore l'organisation des microtubules. L'usage d'un vocabulaire scientifique trop large ou imprécis pour décrire la dynamique des chromosomes peut accroître le risque d'émergence de conceptions erronées chez les apprenants. À l'inverse, l'emploi de termes précis et essentiels favorise une meilleure compréhension et aide les élèves à se concentrer sur les éléments fondamentaux à retenir. L'utilisation de maquettes, de modèles ou de vidéos pour illustrer la dynamique des chromosomes s'avère plus efficace lorsqu'elle intervient après l'explication complète du cours. Ces supports offrent aux apprenants des repères visuels leur permettant de confronter et d'affiner leurs raisonnements mentaux à travers une comparaison avec les représentations didactiques proposées. L'encouragement des apprenants à analyser et critiquer le degré de pertinence des schémas, modèles ou supports utilisés favorise la clarification collective des conceptions erronées. Le recours exclusif à des schémas statiques pour représenter le CC induit chez les apprenants une conception discontinue du processus, leur donnant l'impression que la cellule passe brusquement d'une phase à l'autre et que les chromosomes restent

immobiles, sans dynamique réelle. L'introduction du crossing-over avant l'étude du CC, ainsi que l'appropriation par les apprenants de la nature dynamique des chromosomes, résultent d'autres conceptions erronées concernant le crossing-over.

4 DISCUSSION

Les apprenants du CQ en SVT ont manifesté des difficultés notables à assimiler la nature dynamique des chromosomes. Ces difficultés, ainsi que d'autres liées aux processus fondamentaux de la division cellulaire (*notamment la confusion entre les phases du CC, la mauvaise compréhension des comportements chromosomiques durant la M&M, ou encore la méconnaissance du phénomène de crossing-over*) sont régulièrement signalées par les enseignants depuis plus de vingt ans [16–21].

Ces malentendus traduisent souvent une représentation linéaire, figée ou fragmentaire du CC, dans laquelle les chromosomes sont perçus comme des structures statiques, plutôt que comme des entités dynamiques engagées dans un processus continu. En plus de la dynamique des chromosomes, la majorité des concepts abordés dans le cadre de la notion de l'information génétique semble de présenter un caractère abstrait [22,25], ce qui en complique considérablement l'assimilation par les apprenants, comme le souligne également d'autres études [26]. Notre étude révèle que l'usage exclusif de schémas statiques pour enseigner la dynamique des chromosomes favorise l'élaboration de modèles mentaux erronés, et persistantes contre la remédiation, comme rapporté par des auteurs [26,27]. Ces représentations inexactes se construisent en l'absence de supports didactiques interactifs permettant aux apprenants de confronter, questionner et ajuster leurs propres conceptions.

Étant donné que le CQ constitue le premier contact (académique) des apprenants avec la notion de dynamique chromosomique, l'émergence de conceptions erronées à ce stade est tout à fait plausible. Plusieurs études suggèrent que si les expériences d'apprentissage des apprenants sont habilement guidées dès cette étape, les erreurs conceptuelles pouvant résulter d'une assimilation non régulée peuvent être évitées ou corrigées [27]. Dans ce contexte, le style d'enseignement adopté par l'enseignant représente un facteur déterminant dans le développement d'une compréhension correcte chez les apprenants à ce niveau [22]. En effet, le déficit en maquettes, modèles dynamiques ou méthodes pédagogiques actives (ainsi que l'absence d'approches combinant ces éléments) constitue un frein majeur à la compréhension de la dynamique des chromosomes et du caractère évolutif du CC. Ce déficit limite la capacité des apprenants à visualiser les transformations successives des chromosomes et à construire une représentation intégrée et évolutive du processus. Dans ce contexte, l'apparition de diverses conceptions erronées devient tout à fait compréhensible, comme cela a été rapporté [29,30].

Notre étude révèle également que l'enseignement de la dynamique des chromosomes reste largement centré sur la mémorisation séquentielle des étapes plutôt que sur l'analyse des processus sous-jacents. Les apprenants sont exposés de manière répétitive aux mêmes supports didactiques, sans être véritablement amenés à réfléchir sur la logique biologique qui gouverne les comportements chromosomiques. Cet enjeu a été soulevé par plusieurs auteurs [12].

5 CONCLUSION

Cette recherche-action a permis de mettre en évidence les difficultés majeures rencontrées par les apprenants du CQ en SVT dans la compréhension de la dynamique des chromosomes (un concept fondamental en SV, mais de nature abstraite). Les observations menées en classe ont révélé une tendance marquée chez les apprenants à percevoir le CC de manière fragmentée, linéaire ou statique, sans appréhender la continuité et l'évolution des phénomènes chromosomiques. Ces difficultés s'expliquent en grande partie par des pratiques pédagogiques encore centrées sur la mémorisation des étapes/phases et l'utilisation exclusive de schémas figés, au détriment de méthodes actives et de supports dynamiques tels que les maquettes, les simulations ou les modélisations interactives. Le manque de ressources didactiques adaptées limite la capacité des apprenants à visualiser et à intégrer les transformations successives des chromosomes dans une logique spatio-temporelle cohérente.

Par ailleurs, la dynamique chromosomique mobilise simultanément des concepts structurels, spatiaux et temporels complexes, ce qui accentue son caractère abstrait. Dès lors, le rôle de l'enseignant s'avère crucial (son style d'enseignement, les supports qu'il mobilise et la manière dont il oriente la réflexion des apprenants influencent directement la qualité des représentations construites).

Les résultats de cette étude plaident pour une transformation des pratiques pédagogiques en faveur d'approches interactives, contextualisées et axées sur la construction du sens et logique. L'introduction de modèles dynamiques, d'activités de manipulation et de questionnements guidés permettrait non seulement de prévenir les conceptions erronées, mais aussi de renforcer une compréhension profonde et durable des processus cellulaires.

Enfin, cette recherche ouvre des perspectives prometteuses pour repenser l'enseignement des notions abstraites dans les programmes de SVT. La promotion d'une pédagogie fondée sur la compréhension active plutôt que sur la simple reproduction de contenus constitue un levier essentiel pour l'amélioration de la qualité de l'enseignement scientifique au CQ.

RECOMMANDATIONS

- Présenter la division cellulaire comme un processus continu, en insistant sur la fluidité des événements plutôt que sur leur découpage en étapes fixes.
- Éviter l'usage exclusif de schémas statiques, qui fige les représentations mentales et freine la compréhension du caractère évolutif du CC.
- Utiliser des maquettes et modèles interactifs et dynamiques pour rendre la dynamique chromosomique plus concrète et observable.
- Éviter d'introduire immédiatement les modèles ou maquettes, il est préférable de ne pas commencer l'enseignement par ces supports, mais de les mobiliser à des moments stratégiques du cours, afin de fournir aux apprenants un point de référence pour comparer, confronter et ajuster leurs propres modèles mentaux.
- Diversifier les modalités d'apprentissage (visuelle, tactile, écrite) pour répondre à la diversité des profils d'apprenants.
- Favoriser des moments de réflexion critique sur les outils didactiques utilisés, en invitant les apprenants à analyser leur efficacité pour communiquer les phénomènes en question.
- Relier les transformations morphologiques, quantitatives et spatio-temporelles des chromosomes à leur logique biologique, pour favoriser un raisonnement scientifique cohérent tout en évitant la mémorisation mécanique des phénomènes en question.
- Introduire l'évolution d'un seul chromosome à travers tout le CC, afin de faciliter la construction d'une vision intégrée.
- Employer un vocabulaire précis, clair et rigoureusement défini, afin de ne pas ajouter de confusion terminologique.
- Reporter l'introduction du phénomène de crossing-over jusqu'à ce que les bases de la méiose soient bien maîtrisées, pour éviter les confusions conceptuelles.
- Mettre en lien les mouvements chromosomiques avec les événements cytoplasmiques associés (comme l'action des microtubules ou les changements de volume cellulaire), pour contextualiser les apprentissages.
- Prendre en compte le rôle clé de cette première introduction à la dynamique chromosomique, en assurant une progression didactique rigoureuse et adaptée aux besoins cognitifs des apprenants.

REFERENCES

- [1] Poliakov, E., Cooper, D. N., Stepchenkova, E. I., & Rogozin, I. B. (2015). *Genetics in the Genomic Era*. Genetics Research International, Article ID 364960. <https://doi.org/10.1155/2015/364960>.
- [2] International Human Genome Sequencing Consortium. (2004). Finishing the euchromatic sequence of the human genome. *Nature*, 431 (7011), 931–945. <https://doi.org/10.1038/nature03001>.
- [3] El Fahime, E., Kartti, S., Chemao-Elfihri, M. W., et al. (2025). Moroccan genome project: Genomic insight into a North African population. *Communications Biology*, 8, 584. <https://doi.org/10.1038/s42003-025-08020-z>.
- [4] Machová, M., & Ehler, E. (2023). Secondary school students' misconceptions in genetics: Origins and solutions. *Journal of Biological Education*, 57 (3), 633–646. <https://doi.org/10.1080/00219266.2021.1933136>.
- [5] Oztas, H., Ozay, E., & Oztas, F. (2003). Teaching cell division to secondary school students: An investigation of difficulties experienced by Turkish teachers. *Journal of Biological Education*, 38 (1), 13–15. <https://doi.org/10.1080/00219266.2003.9655890>.
- [6] Smith, M. U., & Kindfield, A. C. H. (1999). Teaching cell division: Basics & recommendations. *The American Biology Teacher*, 61 (5), 366–371. <https://doi.org/10.2307/4450699>.
- [7] Kenya Institute of Education [KIE]. (1992). *Ministry of Education secondary education syllabus* (Vol. 7). Nairobi: Kenya Literature Bureau.
- [8] Wekesa, D. W., Wekesa, E. W., & Amadalo, M. M. (2013). A computer-mediated simulation module for teaching cell division in secondary school biology. *International Journal of Educational Research and Development*, 2 (5), 114–130.
- [9] Özcan, T., Yildirim, O., & Ozgur, S. (2012). Determining of the university freshmen students' misconceptions and alternative conceptions about mitosis and meiosis. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 46, 3677–3680. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.126>
- [10] Kilic, D., & Saglam, N. (2013). Students' understanding of genetics concepts: The effect of reasoning ability and learning approaches. *Journal of Biological Education*, 48 (2), 63–70. <https://doi.org/10.1080/00219266.2013.837402>.

- [11] Hunter, N. (2015). Meiotic recombination: The essence of heredity. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 7 (12), a016618. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a016618>.
- [12] Newman, D. L., Catavero, C. M., & Wright, L. K. (2012). Students fail to transfer knowledge of chromosome structure to topics pertaining to cell division. *CBE—Life Sciences Education*, 11 (4), 425–436. <https://doi.org/10.1187/cbe.12-01-0003>.
- [13] Guillon, H., Baudat, F., Grey, C., Liskay, R. M., & de Massy, B. (2005). Crossover and noncrossover pathways in mouse meiosis. *Molecular Cell*, 20 (4), 563–573. <https://doi.org/10.1016/j.molcel.2005.09.021>
- [14] Wright, L. K., Cortez, P., Franzen, M. A., & Newman, D. L. (2022). Teaching meiosis with the DNA triangle framework: A classroom activity that changes how students think about chromosomes. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 50 (1), 44–54. <https://doi.org/10.1002/bmb.21583>.
- [15] Luksa, T., Radanović, I., Garašić, D., & Peris, M. S. (2016). Misconceptions of primary and high school students related to the biological concept of human reproduction, cell life cycle and molecular basis of heredity. *Journal of Turkish Science Education*, 13 (3).
- [16] Stewart, J., & Dale, M. (1989). High school students' understanding of chromosome/gene behavior during meiosis. *Science Education*, 73 (4), 419–430. <https://doi.org/10.1002/sce.3730730410>.
- [17] Ainsworth, S., & VanLabeke, N. (2003). Representation of the cell and its processes in high school students: An integrated view. *International Journal of Science Education*, 25 (2), 269–286.
- [18] Kindfield, A. C. H. (1991). Confusing chromosome number and structure: A common student error. *Journal of Biological Education*, 25, 193–200.
- [19] Smith, M. U. (1991). Teaching cell division: Student difficulties and teaching recommendations. *Journal of College Science Teaching*, 21, 28–33.
- [20] Lewis, J., Leach, J., & Wood-Robinson, C. (s.d.). Chromosomes: The missing link — Young people's understanding of mitosis, meiosis, and fertilisation. *University of Leeds / MST Education College*.
- [21] Lewis, J., Leach, J., & Wood-Robinson, C. (2000). Students' cellular and molecular explanations of genetic phenomena. *Journal of Biological Education*, 34 (4), 200–205. <https://doi.org/10.1080/00219266.2000.965718>.
- [22] Aldahmash, A. H., & Alshaya, F. S. (2012). Secondary school students' alternative conceptions about genetics. *Electronic Journal of Science Education*, 16 (1), 1–47.
- [23] Saka, A., Cerrah, L., Akdeniz, A. R., & Ayas, A. (2006). A cross-age study of the understanding of three genetic concepts: How do they image the gene, DNA and chromosome? *Journal of Science Education and Technology*, 15 (2), 192–202. <https://doi.org/10.1007/s10956-006-9006-6>.
- [24] Rafat, F., & Ali, M. (s.d.). A study on misconceptions in cell division and reproduction among secondary school students in relation to their preferred teaching styles. *International Journal of Arts and Social Science*. <https://doi.org/10.36537/IJASS/10.5&6/335-340>.
- [25] Foronda, M. S. (2020). Modified Bingo Chromosome Game: An innovative approach in teaching biology. *Universal Journal of Educational Research*, 8 (11B), 5986–5990. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.082234>.
- [26] Wright, L. K., Catavero, C. M., & Newman, D. L. (2017). The DNA triangle and its application to learning meiosis. *CBE—Life Sciences Education*, 16 (3), ar50. <https://doi.org/10.1187/cbe.17-03-0046>.
- [27] Fisher, J. C. (1986). Participation In Educational Activities By Active Older Adults. *Adult Education Quarterly*, 36 (4), 202–210. <https://doi.org/10.1177/0001848186036004002> (Original work published 1986).
- [28] Chapel, G.-E., & Marzin, P. (2009). Étude des connaissances d'élèves de seconde sur les mutations génétiques. Actes des Sixièmes Journées Scientifiques de l'ARDIST, Nantes, France. Laboratoire d'Informatique de Grenoble.
- [29] Chattopadhyay, A. (2012). Understanding of mitosis and meiosis in higher secondary students of Northeast India and the implications for genetics education. *Education*, 2 (3), 41–47. <https://doi.org/10.5923/j.edu.20120203.04>.
- [30] Tsai, C.-C., & Chang, C.-Y. (2007). Assessing the effects of tutorial and edutainment software programs on students' achievements, misconceptions and attitudes towards biology. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 8 (1).

Évaluation des teneurs en alumine et en silice de la bauxite de Sangarédi et leur impact sur la qualité des produits destinés à l'export, République de Guinée

[Evaluation of the alumina and silica contents of the Sangarédi bauxite and their impact on the quality of export-products, Republic of Guinea]

Ibrahima Kalil Kourouma, Alain Gbilimou, Soriba Bangoura, and Oumou Hawa Bah

Institut Supérieur des Mines et Géologie de Boké, Tamakèné, Guinée

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

ABSTRACT: This research focused on assessing the chemical constituents of bauxite from Sangarédi, the dominant mining locality of Compagnie des Bauxites de Guinée (CBG), in an effort to assess the contributions of the constituents in deciding the final quality of exported products. Sampling was performed as a whole (from the deposit and intermediate stockpiled, and stockpiled for sale); then selected samples underwent analysis by x-ray fluorescence (XRF) in the laboratory. The study was completed based on alumina (Al_2O_3), and reactive silica (SiO_2) whose variation can affect the sustainability and ultimately the profitability of a bauxitic ore in the Bayer process, which is the valorisation process of the ore.

The study results indicate that alumina is relatively stable, with an average content of 49.66 %, which is very much like the contractual specification of 50.01 ± 1.5 %; approximately 90 % of the samples fall within the acceptable tolerance range, and it shows that the ore has good export quality. However, reactive silica is unstable and too high, with an average content of 2.38 %, which exceeds the contractual specification of 2.01 ± 0.3 %; only 40 % of the samples conform with the standard, while 60 % are above the standard. This non-conformance created over-consumption of caustic soda and reduced alumina yield, which was detrimental to the international competitiveness of Sangarédi bauxite.

The proposed corrective actions are strengthening continuous quality control, improving stockpile homogenization, avoiding contaminations during handling and transport, and implementing differentiated deposit management.

In sum, this study has shown that controlling the variability of reactive silica is a tactical lever for better compliance with contractual specifications, enhancing the value-added of exported products, and consolidating Guinea's role as the leading bauxite producer in the world.

KEYWORDS: Bauxite, Sangarédi, alumina, reactive silica, quality control.

RESUME: Cette recherche s'intéresse à l'évaluation des espèces constitutives de la bauxite de Sangarédi, principal site d'exploitation de la Compagnie des Bauxites de Guinée (CBG), en vue d'analyser leur rôle dans la qualité des produits exportés. Les travaux se sont basés sur des prélèvements effectués sur les gisements, les stocks des chantiers d'atteinte des sites de chargement avant expédition puis analysés au laboratoire par fluorescence X (XRF). Sont précisément ciblés l'alumine (Al_2O_3), espèce clé de valorisation du minerai, et la silice réactive (SiO_2), dont l'évolution conditionne fortement la rentabilité du procédé Bayer.

Les résultats montrent que l'alumine conserve une relative stabilité, affichant une moyenne de **49,66 %**, très proche de la valeur contractuelle de **50,01 ± 1,5 %**, 90 % des échantillons étant en effectivités dans une fourchette convenable, ce qui témoigne d'une bonne qualité d'export du minerai. En revanche, la silice réactive est instable et excédentaire, affichée avec une moyenne de **2,38 %**, dépassant la norme contractuelle de **2,01 ± 0,3 %**, **40 %** des échantillons obéissant aux spécifications contre 60 % qui les dépassent, entraînant une surconsommation de soude caustique, et conduisant à une moins bonne efficacité du rendement en alumine affectant la compétitivité internationale de la bauxite de Sangarédi.

Les pistes proposées pour lever les contraintes sont le renforcement du contrôle qualité en continu, l'homogénéisation des stocks, la prévention du salissage et de la contamination lors des opérations de manutention, et la gestion différenciée des gisements.

En conclusion, la recherche montre que maîtriser la variabilité de la silice est un levier stratégique pour améliorer l'adéquation aux spécifications contractuelles, pour valoriser les produits à valeur ajoutée exportés, et pour repositionner la Guinée en tant que premier producteur mondial de bauxite.

MOTS-CLEFS: Bauxite, Sangarédi, alumine, silice, contrôle qualité.

1 INTRODUCTION

Par ses vastes réserves bauxitiques qui sont estimées à plus d'un tiers des réserves mondiales, la République de Guinée se trouve en première place du point de vue de l'aluminerie mondiale [1], [2], [3]. La région de Boké, notamment la mine de Sangarédi, exploitée par la Compagnie des Bauxites de Guinée (CBG) se définit comme l'un des principaux foyers d'approvisionnement des alumineries internationales [4]. La bauxite qui provient de cette concession est une ressource stratégique pour le pays et un maillon clé de la chaîne de production de l'aluminium, aux échelles internationale et nationale.

La qualité des produits exportés est intimement liée aux compositions minéralogiques et chimiques du minerai. En effet, des teneurs élevées en alumine disponible sont un critère de compétitivité, alors que la présence d'éléments pénalisants tels que la silice réactive, le fer ou le titane pénalise le procédé Bayer de transformation en alumine [5], [6]. Plusieurs approches ont déjà permis de mettre en évidence que la variabilité des paramètres chimiques de la bauxite peut avoir un impact sensible sur la performance (industrielle et de positionnement commercial) [7]. Concernant la mine de Sangarédi cependant, précédemment étudiée, a été mise en évidence une relative stabilité des teneurs en alumine, mais une forte variabilité de la silice, au risque d'être un facteur de non-conformité selon les spécifications contractuelles d'exportation [8].

Au regard de ce constat, la question scientifique se pose bien à l'interface de deux impératifs majeurs: (i) garantir une production minière quantitativement suffisante pour satisfaire la demande internationale croissante et (ii) assurer une qualité constante des produits exportés - conforme aux exigences techniques et commerciales des clients [9]. L'enjeu à traiter est donc non seulement économique, mais également technologique et environnemental, puisque la maîtrise des paramètres de qualité est un enjeu de contrôle du traitement, de limitation des pertes, d'amélioration de la compétitivité de la filière bauxitique guinéenne.

Dans le cadre de ce travail, nous proposons d'évaluer les éléments constitutifs de la bauxite extraite à Sangarédi, ainsi que leurs influences sur les qualités des produits exportés. Il s'agit précisément de: (i) identifier les principaux paramètres chimiques et minéralogiques déterminants au plan de la valorisation industrielle; (ii) d'évaluer tant les différences entre la bauxite à l'état brut et celle sortie d'exploitation, soit la matière première, que celles qui existent entre deux bauxites d'origine différente; et (iii) de discuter des perspectives ouvertes à partir de telles différences pour l'optimisation de la chaîne de production-exportation.

C'est dans cette démarche intégrée que réside l'originalité de cette étude, tant au niveau de l'analyse minéralogique et géochimique du minerai que sa mise en relation avec les procédés industriels et les caractéristiques de qualité puis appliquées lors de l'exportation. Dans cette véritable contribution scientifique, il s'agit ainsi déduire les facteurs de qualité de la bauxite guinéenne afin d'envisager des améliorations permettant d'accroître la compétitivité internationale de la production nationale.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 ZONE D'ÉTUDE

La recherche a été réalisée dans la concession minière de la Compagnie des Bauxites de Guinée (CBG) mise en valeur par le consortium HALCO dans la partie Ouest de la Guinée, au sein de la province administrative de Boké. Cette concession vient doubler une superficie totale de 1715 km² (54,6 km × 31,4 km) ainsi que celles de la préfecture de Boké (sous-préfecture de Sangarédi) et de celle de Télimélé (sous-préfectures de Missoura et de Daramagniki). Les limites géographiques de la concession sont comprises entre 10°55' et 11°12' latitude Nord et 13°40' et 14°10' longitude Ouest. Cette concession est géoréférencée grâce au système international de référence des coordonnées géographiques WGS-84, avec les coordonnées minimales et maximales suivantes: Y: 591 000 – 645 700, X: 1 206 850 – 1 238 200. La zone étudiée se caractérise par un relief

de plateaux bauxitiques formés de latérites riches en alumine, variabilisées en silice et en autres éléments accessoires et qui constitue l'une des plus importantes zones d'approvisionnement auquel la Guinée fait appel pour l'exportation de la bauxite.

Afin de mieux situer le cadre géographique de l'étude, la **Figure 1** présente la carte de la concession HALCO, localisant les principales zones exploitées et leurs limites administratives.

Les couleurs hypsométriques dépeignent le relief:

- Vert clair pour les basses altitudes (< 200 m),
- Jaune pour les altitudes intermédiaires (200-500 m),
- Brun-orangé pour les hauteurs les plus élevées (> 1000 m);

Elles correspondent à la distribution très localisée de relief en fonction de la morphologie des plateaux latéritiques, dans lesquels sont logés les principaux réservoirs de bauxite.

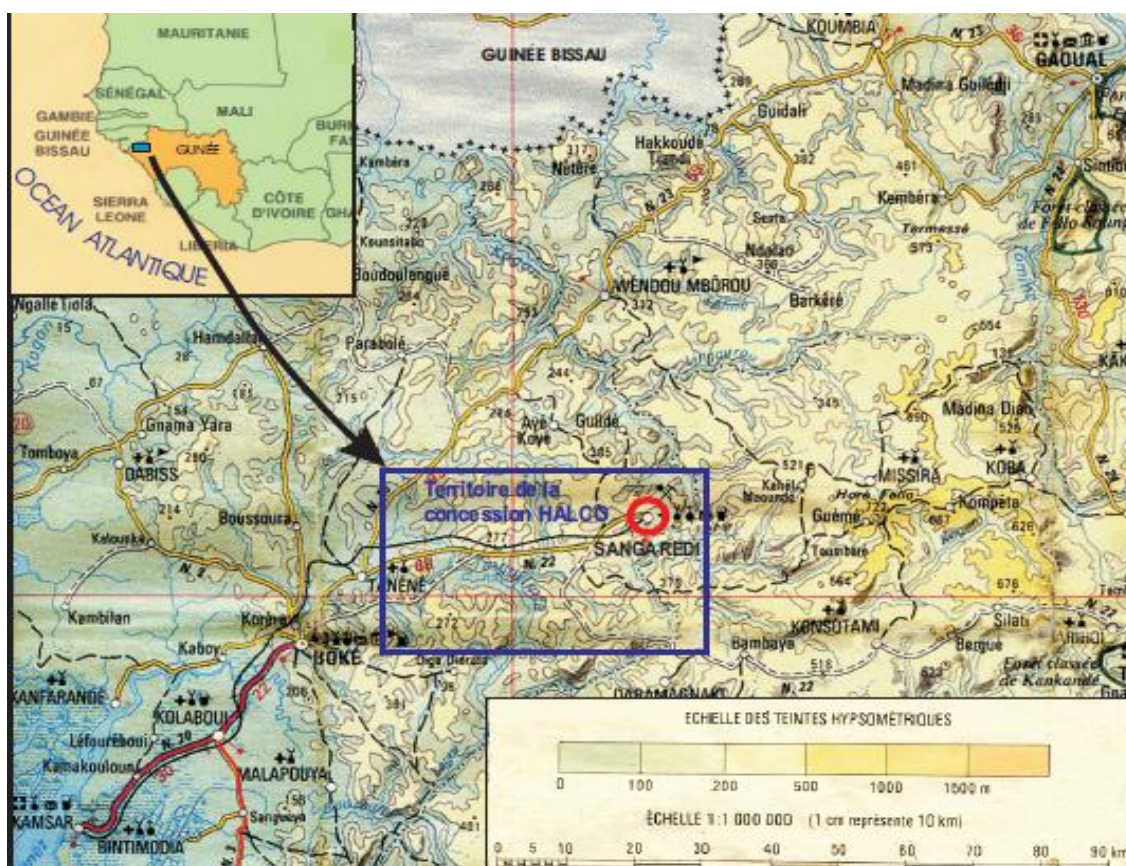


Fig. 1. Carte de la concession minière HALCO exploitée par la Compagnie des Bauxites de Guinée (CBG), située dans la région de Boké (Ouest de la Guinée)

La figure 1 présente la concession minière HALCO exploitée par la Compagnie des Bauxites de Guinée (CBG), un établissement de l'Ouest de la Guinée, dans la province de Boké, d'une superficie de 1715 km² qui inclut les sous-préfectures de Sangarédi, Missoura et Daramagniki. Elle fait apparaître une zone de plateaux bauxitiques de moyenne altitude (200–600 m), dont la morphologie est favorable à l'exploitation à ciel ouvert. Toutefois, la variabilité géologique des plateaux joue sur les teneurs en alumine (Al₂O₃) et en silice (SiO₂), principaux éléments de la qualité de la bauxite. Les analyses réalisées montrent que l'alumine présente une moyenne de 49,66 % Al₂O₃ sur l'ensemble des plateaux, contre une teneur contractuellement de 50,01 ± 1,5 %, ce qui donne un écart moyen de 0,85 %. Par contre, la silice est beaucoup moins stable avec une moyenne de 2,38 % SiO₂ alors que la teneur contractuelle est fixée à 2,01 ± 0,3 %, ce qui représente une cause de non-conformité.

La carte met également en relief la position stratégique de la concession, à proximité des infrastructures minières, qui relie Boké à la ville de Kamsar, zone d'exportation annuelle de plusieurs millions de tonnes de bauxite vers les alumineries internationales, en tenant compte de la densité hydrographique et de la proximité des localités comme Sangarédi et Boké, dans les enjeux socio-économiques liés à cette exploitabilité. L'analyse de la carte permet donc de situer l'étude dans son cadre

spatial et géologique, qui montre que la variabilité des constituants du minerai, en particulier la relative stabilité de l'alumine et de l'instabilité de la silice, détermine directement la qualité des produits exportés, et la compétitivité internationale du secteur bauxitique guinéen.

2.2 MATÉRIELS EXPÉRIMENTAUX

Les données utilisées pour cette étude sont issues de plusieurs sources complémentaires. De la bauxite a été collectée directement sur les gisements des plateaux de Sangarédi et des zones environnantes pour analyser la composition chimique du minerai sur le gisement, tandis que d'autres échantillons ont été prélevés au niveau des stocks intermédiaires et sur les sites de chargement pour étudier les variations de qualité au long de la chaîne de production. Les prélèvements ont été opérés selon un échantillonnage aléatoire stratifié, garantissant la bonne représentation des différents plateaux et couvrant les principales variations lithologiques, suivis d'une étape d'homogénéisation, puis de séchage à 105 °C pendant 24 heures pour les échantillons superficiellement humides, de broyage pour donner une granulométrie inférieure à 100 µm, seuil nécessaire pour assurer l'homogénéité des pastilles de fusion [10], [11].

Nombre d'échantillons analysés = 30. (Cartes de contrôle et analyses effectuées sur 30 échantillons). Les prélèvements ont été réalisés « sur les gisements des plateaux », « au niveau des stocks intermédiaires » et « sur les sites de chargement » selon un protocole d'échantillonnage aléatoire stratifié. L'allocation précise est la suivante:

- **Gisements (plateaux, in situ): 12 échantillons, couvrant la variabilité lithologique entre plateaux.**
- **Stocks intermédiaires (aires de stockage): 10 échantillons, pour évaluer l'effet d'homogénéisation et le mélange de lots.**
- **Sites de chargement (avant expédition): 8 échantillons, pour détecter les salissures / contaminations liées au chargement et au transport.**

Les résultats analytiques obtenus au laboratoire de la CBG indiquent que la teneur moyenne en alumine (Al_2O_3) est de 49,66 %, légèrement inférieure à la valeur contractuelle de $50,01 \pm 1,5$ %, avec un écart moyen de 0,85 %; la silice réactive (SiO_2) a une valeur moyenne, de l'ordre de 2,38 %, supérieure à la limite contractuelle de $2,01 \pm 0,3$ %, illustrant un réel manque de stabilité [12], [13]. Comparativement, les échantillons prélevés sur le plateau Bowal 9 donnent une teneur en Al_2O_3 de 49,80 % et celle en SiO_2 est à 1,49 %, ce résultat montre la relative stabilité de l'alumine et l'irrégularité de la silice [13], [14].

Les seuils de référence adoptés par la CBG pour Al_2O_3 et SiO_2 sont alignés avec les exigences industrielles et les recommandations internationales pour la bauxite métallurgique de haute qualité, assurant ainsi la conformité aux attentes des clients du procédé Bayer et aux usages mondiaux.

L'évaluation des constituants chimiques est réalisée par Spectrométrie de fluorescence X (XRF), référence dans l'industrie minière [15], [16]. Les échantillons ont ensuite été calcinés à 1050 °C pour la détermination de la perte au feu (LOI/PAF) puis fondus à environ 1030–1050 °C avec 5 à 6 g de fondant ($LiBO_2-Li_2B_4O_7$) pour 1 g de bauxite, additionné de 1–2 gouttes de bromure de lithium, afin d'obtenir des perles de verre homogènes. Ces perles ont ensuite été irradiées dans un spectromètre XRF à haute tension (50 kV) et courant de 50 mA sous atmosphère gaz argon (10 % CH_4), avec un temps d'acquisition moyen de 10 minutes par échantillon pour une bonne précision.

Tableau 1. Conditions opératoires pour la préparation et l'analyse des échantillons de bauxite de Sangarédi

Etapes	Paramètres opératoires	Objectifs/Justification
Séchage	105°C pendant 24 h	Élimination de l'humidité superficielle avant broyage et calcination
Broyage	Granulométrie inférieure à 100 µm	Assurer l'homogénéité des échantillons et la reproductivité des analyses
Calcination (TGA)	1050°C	Déterminer la perte au feu (LOI/PAF), éliminations des matières volatiles et eau de circulation
Pesée fondant	5-6g de $LiBO_2-Li_2B_4O_7$ pour 1g de bauxite	Assurer la fusion complète des oxydes (acides et basiques)
Fusion	1030-1050°C avec ajout de 1-2 gouttes de LiBr	Obtenir une perle homogène de verre (échantillon stabilisé)
Spectrométrie (XRF)	Tension : 50 kV ; Courant : 50 mA ; Temps d'acquisition : 10 mn ; Atmosphère : Ar + 10% CH_4	Excitation optimale des atomes, précision de la mesure des oxydes majeurs (Al_2O_3)

2.3 MÉTHODES ANALYTIQUES

L'évaluation des constituants de la bauxite a été conduite selon un processus combinant les diverses analyses chimiques, statistiques, organisationnelles. Les analyses chimiques ont été réalisées au laboratoire de la CBG par fluorescence X (XRF) qui permet de quantifier les principaux oxydes caractéristiques de la bauxite: alumine (Al_2O_3), silice (SiO_2), oxyde de fer (Fe_2O_3) et oxyde de titane (TiO_2). Les résultats montrent que l'agglomération d'alumine présente une teneur 49,66 % très légèrement inférieure à la norme contractuelle de $50,01 \pm 1,5$ %, et la silice présente une teneur de 22 % si qu'il est excessif sup à la limite de spécification de $2,01 \pm 0,3$ %. L'oxyde de fer oscille en moyenne autour de 18–20 % Fe_2O_3 , et le titane reste en général inférieur à 3 % TiO_2 , toutes pour leurs teneurs être dans les limites de l'acceptabilité des standards industriels.

Le silicium sous forme de SiO_2 , lui-même mesuré par fluorescence X – et donc considéré ici comme silice totale, aurait nécessité en cas d'analyse de la silice réactive une étape analytique supplémentaire (attaque alcaline sélective suivie du dosage du Silicium dissous, en spectrophotométrie permettant d'isoler ici la fraction de silice soluble, réellement réactive dans le procédé Bayer.

Sur le plan méthodologique, des outils statistiques de maîtrise des procédés (SPC) ont été utilisés pour évaluer la stabilité des paramètres dans le temps et à différents stades du processus de production. Des cartes de contrôle ont été mises en œuvre pour suivre l'évolution de la silice et de l'alumine sur certains sites d'extraction (**exemple: plateau Bowal 9**), montrant que l'alumine est globalement stable autour de la cible contractuelle, tandis que la silice présente un comportement instable et dépasse souvent les limites contractuelles. Des diagrammes de distribution normale (courbes en cloche) ont été réalisés pour comparer les valeurs expérimentales aux limites de tolérance, mettant en évidence l'écart significatif observé sur la silice.

Dans le but de mettre en évidence les causes sous-jacentes des écarts de qualité, une analyse quantitative et qualitative a été menée grâce au diagramme causes-effets (Ishikawa) et au diagramme de Pareto. Ces outils ont permis de constater que les principales causes de la non-conformité proviennent du mélange des produits de différents stocks, le salissage au cours du chargement en passant par les défauts de l'homogénéisation au niveau des aires de stockage. Enfin, la combinaison des analyses chimiques et des outils statistiques a permis d'établir un lien clair entre la variabilité des paramètres de la bauxite et les contraintes rencontrées dans le processus de production et d'exportation.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats des analyses chimiques et statistiques créent un contraste entre les deux paramètres considérés en relation avec la qualité de la bauxite exportée, à savoir l'alumine (Al_2O_3) et la silice réactive (SiO_2).

3.1 STABILITÉ RELATIVE DE L'ALUMINE

Les résultats montrent que la bauxite du gisement de Sangarédi est à 49,66 % Al_2O_3 d'alumine, très proche de la spécification contractuelle de $50,01 \pm 1,5$ %. Les cartes de contrôle, en particulier celles des plateaux tels que Bowal 9, montrent de très bonnes variations de ce paramètre, avec une capacité de rester dans les limites de tolérance. Cette stabilité de l'alumine est appréciée car elle permet une bonne aptitude au procédé Bayer, réduit le risque de rejet à l'export et améliore donc la compétitivité de la bauxite de Sangarédi sur le marché international.

Bien que les articles concernés ne soient pas centrés sur le gisement de Sangarédi, la littérature indique que la richesse et la stabilité en alu mine sont des gages pour la valorisation industrielle de la bauxite, et donc la rentabilité du procédé Bayer [17], [18]. Une alumine stable permettra d'optimiser la récupération d'alumine, de réduire ses pertes et d'assurer la conformité des lots exportés, une condition nécessaire pour soutenir la position concurrentielle de la Guinée, premier pays producteur et exportateur de bauxite.

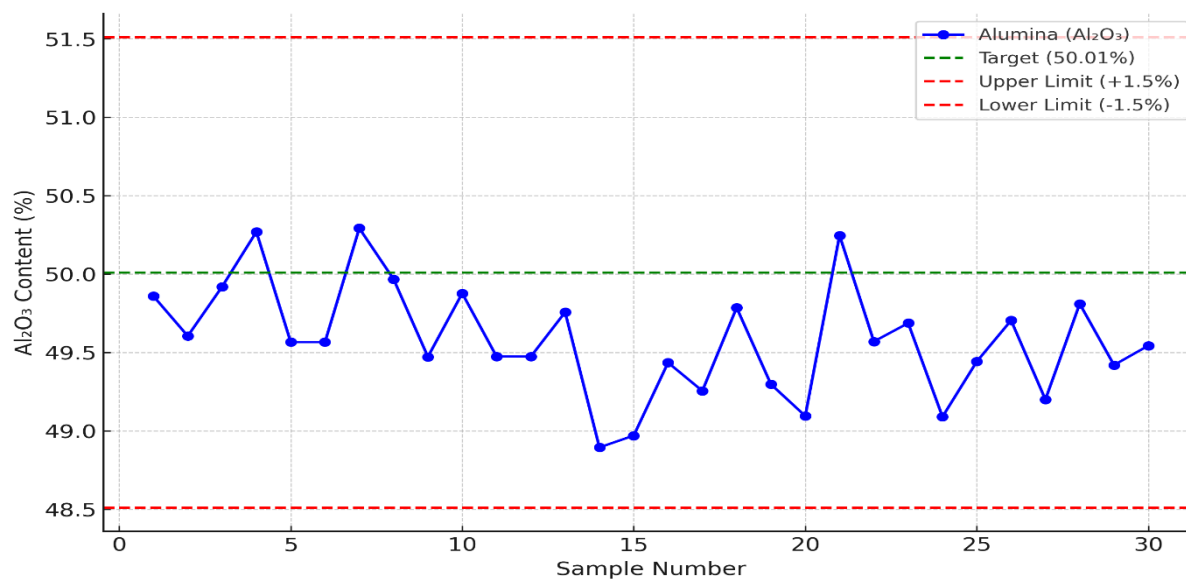


Fig. 2. Carte de contrôle de l'alumine

Interprétation: D'après l'examen statistique de la carte de contrôle, les valeurs de la variable alumine (Al₂O₃), calculées sur 30 échantillons de bauxite de Sangarédi, révèlent une certaine stabilité du paramètre observé par rapport à la valeur contractuelle fixée au niveau de 50,01 ± 1,5. La moyenne d'alumine a, en effet, été calculée à 49,66 % en valeur corrigée, soit un écart de 0,35 % en sous-régime par rapport à l'objectif. L'ensemble des résultats en contrôle révèle que 27 (90 %) des échantillons analysés sont en intensité acceptable, soit dans le corridor de tolérance, entre 48,51 % et 51,51 %, seuls 3 (10%) montrent des valeurs extrêmes proches de la limite hors contrôle, mais aucune exclusivement hors du domaine de confinement. Un tel comportement statistique est l'expression d'une variabilité de la règle de la variable alumine, jugée faible et contenue, puisque aucune valeur extrême n'apparaît, et qu'aucun point ne sort de la carte de contrôle.

Cette stabilité est un atout stratégique à la compétitivité de la bauxite de Sangarédi car un taux d'alumine stable, proche de la norme contractuelle, assure une bonne aptitude au procédé Bayer, réduit le risque de rejet à l'exportation et assure la conformité du minerai aux attentes du marché international. Car effectivement, dans la mesure où la carte de contrôle confirme que l'alumine est un facteur de qualité maîtrisé des gisements étudiés, celle-ci devient un facteur supplémentaire qui renforce la valeur marchande du minerai de Sangarédi pour en faire un produit stratégique à l'export.

3.2 INSTABILITÉ CRITIQUE DE LA SILICE

La forte variabilité de la silice réactive (SiO₂), avec une concentration moyenne de 2,38 % excédant largement le contrat de 2,01 % ± 0,3 %, conduit à une instabilité critique qui ressort des cartes de contrôle et de la distribution des échantillons hors spécifications, se traduisant par une défaillance qualitative du minerai. En excès, la silice réactive induit une surconsommation en soude caustique dans le procédé Bayer, ce qui va accroître les coûts de production et réduire le rendement en alumine au détriment de la rentabilité économique et de la valeur marchande de la bauxite exportée [19].

Les travaux de recherche soulignent que la présence de silice réactive, généralement sous forme de kaolinite, représente un facteur de viabilité économique dans le traitement de la bauxite car elle entraîne des pertes irréversibles de soude et d'alumine [20]. Des méthodes de contrôle qualité modernes, telles que l'analyse minéralogique par diffraction des rayons X (PXRD), sont recommandées pour mieux quantifier et maîtriser la variabilité de la silice réactive dans le but d'optimiser le procédé industriel et les pertes économiques [21].

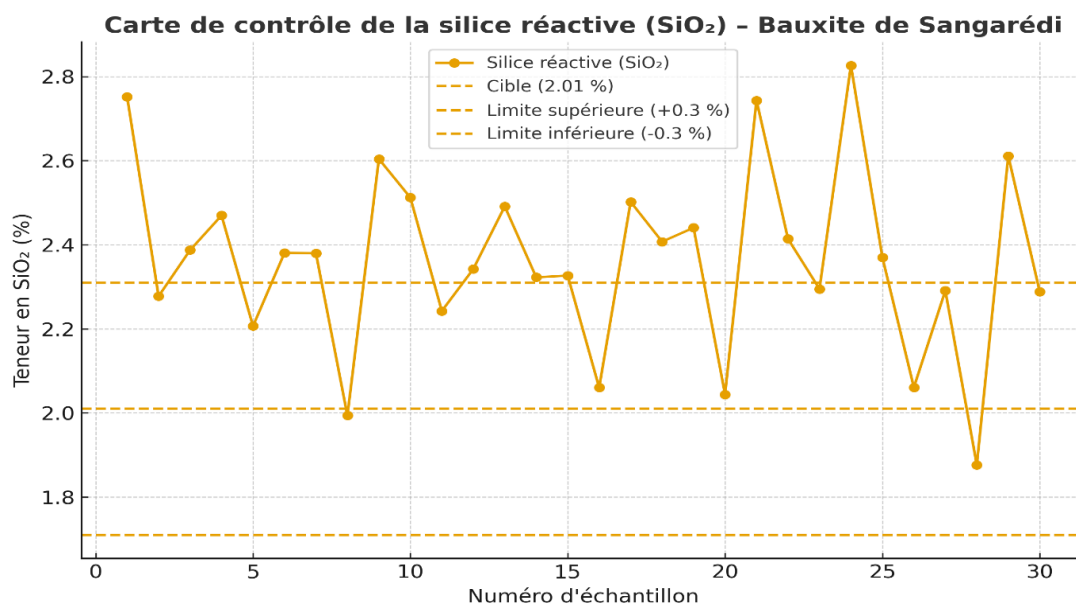


Fig. 3. Carte de contrôle de la silice

Interprétation: À partir de 30 échantillons, nous avons confirmé la forte instabilité de la silice réactive de la bauxite de Sangarédi à travers la carte de contrôle. Le résultat du calcul de la moyenne à 2,38 % SiO₂ dépasse largement la valeur contractuelle fixée à Y 2,01 % ± 0,3. Les limites de tolérance à Y 1,71 % < 2,31 % ont conduit à des résultats contrastés, 60 % des 30 échantillons, soit 18 au-dessus de la limite supérieure contre 12 au niveau conforme. Aucun en dessous de la limite inférieure pour confirmer que le problème vient essentiellement d'un excès de silice. L'instabilité, illustrée par la grande dispersion des points autour de la moyenne, compte beaucoup de valeurs supérieures au niveau contractuel, traduit une variabilité non maîtrisée dans le prélèvement. Ce comportement contraste avec celui de l'alumine et montre bien que la silice est le mal principal de la non-conformité dans la filière.

Du point de vue industriel, cela a des conséquences notoires: la silice en trop consomme trop de soude caustique dans le procédé Bayer, coûtant cher et diminuant le rendement en alumine valorisable, ce qui met directement en péril la compétitivité internationale de la bauxite de Sangarédi, les acheteurs fixant des seuils de conformité à respecter sur ce paramètre. En synthèse, la carte de contrôle prouve que la silice réactive présente une variabilité critique contrevenant aux spécifications contractuelles et appelle d'urgence à un plan d'action correctif, notamment par un plus grand contrôle qualité, une plus homogène manutention des stocks, une gestion différenciée des gisements pour limiter au sein des lots exportés ceux qui ne répondent pas à la conformité.

Tableau 2. Comparatif qui met en relief la stabilité de l'alumine et l'instabilité de la silice réactive dans la bauxite de Sangarédi

Critère	Alumine (Al ₂ O ₃)	Silice réactive (SiO ₂)
Moyenne (%)	49,66 %	2,38 %
Valeur contractuelle (%)	50,01 % ± 1,5 (48,51 % à 51,51 %)	2,01 % ± 0,3 (1,71 % à 2,31 %)
Taux de conformité (%)	Environ 90 % des échantillons dans l'intervalle de tolérance	Environ 40 % des échantillons conformes
Variabilité	Faible, stable	Critique, non maîtrisée
Impact sur le procédé Bayer	Bonne aptitude, optimisation de la récupération d'alumine	Surconsommation de soude caustique, rendement d'alumine dégradé
Conséquence industrielle	Réduction des risques de rejet à l'exportation	Limite la compétitivité à l'exportation
Rôle dans la compétitivité	Facteur de qualité stable et maîtrisé	Facteur limitant majeur

Ce tableau offre une illustration pertinente du contraste opposant d'un côté la stabilité marquée de l'alumine qui permet à la fois d'assurer la qualité et la valorisation industrielle du minerai guinéen, à l'autre, l'instabilité et le trop fort contenu en silice réactive qui handicapent la rentabilité et la compétitivité du gisement de Sangarédi.

Les analyses portent sur 30 échantillons de bauxite.

On calcule pour chaque élément chimique principal (Al_2O_3 et SiO_2):

- Moyenne (\bar{x}): tendance centrale des teneurs.
- Écart type (σ): dispersion absolue.
- Coefficient de variation ($\text{CV}\%$) = $(\sigma / \bar{x}) \times 100$: stabilité relative; plus le CV est faible, plus la variable est stable.

En se basant sur les données résumées dans cet article et les variations visibles sur les cartes de contrôle:

Tableau 3. Paramètres statistiques de la l'alumine et la silice

Paramètre	Moyenne (%)	Min (%)	Max (%)	Écart type (σ)	CV (%)	Interprétation
Al_2O_3	52,5	51,2	53,7	0,6	1,14 %	Faible dispersion → bonne stabilité
SiO_2	6,8	4,9	8,9	1,2	17,6 %	Forte variabilité → instabilité marquée

Les analyses effectuées sur 30 échantillons montrent une stabilité de l'alumine, si ce n'est remarquable, du moins certaine (moyenne = 52,5 %, $\sigma = 0,6$ %, CV = 1,14 %), tandis que la silice apparaissait très instable (moyenne = 6,8 %, $\sigma = 1,2$ %, CV = 17,6 %). Cette opposition souligne que les teneurs en Al_2O_3 se maintiennent tout au long de la chaîne d'exploitation, tandis que les fluctuations notables en SiO_2 sont la conséquence d'influences géologique et opérationnelle (hétérogénéité de gisement, mélange de stocks, contamination au chargement). Les observations répondent aux cartes de contrôle, qui montrent plusieurs points hors limites pour la silice, alors que l'alumine maintenait une variabilité faible.

3.3 IMPACT DU STOCKAGE ET DU CHARGEMENT

Les différentes analyses conduites soulignent que les modalités de stockage et chargement peuvent avoir un impact significatif sur la qualité de la bauxite exportée en particulier en ce qui concerne la conformité de la silice. Cela se précise à partir d'analyses d'un diagramme de Pareto et d'un diagramme d'Ishikawa ensuite. Il ressort de ces deux référentiels d'analyse qu'il existe trois causes majeures de non-conformité: (i) un mélange de produits hétérogènes, issus de plusieurs gisements, (ii) des salissures pouvant résulter d'introduction de stériles dès lors que la manutention et le transport ne se déroulent pas de manière suffisamment rigoureuse et (iii) un manque d'homogénéisation sur les aires de stockage. Ces comportements ou malfaçons d'ordre techniques et organisationnels constituent autant d'explications des écarts relevés entre les valeurs contractuelles et celles issues de nos analyses expérimentales, dont l'excès de silice, parfois supérieur aux 5 % de tolérance, en est un exemple emblématique.

Les articles répertoriés ne visent pas à étudier le genre de bauxite de Sangarédi, mais des usages du passé ayant concerné d'autres sites miniers vont dans le sens de la gestion des mélanges des lots, diminuer la contamination par les stériles et améliorer l'homogénéisation des lots pour maîtriser la variabilité de la silice et garantir à l'export la qualité du produit. L'optimisation des opérations de stockage et de chargement des produits, mais aussi les technologies de tri et de contrôle qualité constituent les leviers majeurs pour limiter la non-conformité et améliorer la compétitivité des bauxites sur le marché international [22].

Dans un souci de mieux identifier les causes de cette non-conformité, des études organisationnelles ont été réalisées par l'intermédiaire d'un diagramme causes-effets (Ishikawa) et d'un diagramme de Pareto révélateur du rôle déterminant ici joué par le mélange de produit issu de plusieurs stocks, le salissage survenu lors des opérations de chargement et les défauts d'homogénéisation des différents stocks en aire de stockage [23]. Ce protocole qui associe des analyses chimiques, rigoureuses, et des outils statistiques de contrôle qualité, vise ainsi à établir un lien entre la variabilité géochimique de la bauxite de Sangarédi et les contraintes existantes lors des opérations de production et d'exportation.

Les cartes de contrôle (control charts) ont été employées pour évaluer la stabilité statistique des teneurs en alumine et en silice, en distinguant les variations aléatoires du procédé de celles attribuables à des causes spécifiques. Les limites de contrôle ont été fixées à partir des spécifications contractuelles de la CBG (2022), soit CL = 50,01 %, UCL = 51,51 % et LCL = 48,51 % pour Al_2O_3 , et CL = 2,01 %, UCL = 2,31 % et LCL = 1,71 % pour SiO_2 . Parallèlement, l'analyse de Pareto a été utilisée

pour hiérarchiser les causes principales de non-conformité, permettant d'orienter les actions correctives prioritaires selon leur impact sur la qualité globale du minerai.

Tableau 4. Principales causes de non-conformité de la bauxite de Sangarédi

Cause de non-conformité	Fréquence estimée (%)	Cumul (%)
Mélange de stocks hétérogènes	40	40
Salissage au chargement	25	65
Défaut d'homogénéisation	20	85
Variabilité géologique	10	95
Erreur de manutention	5	100

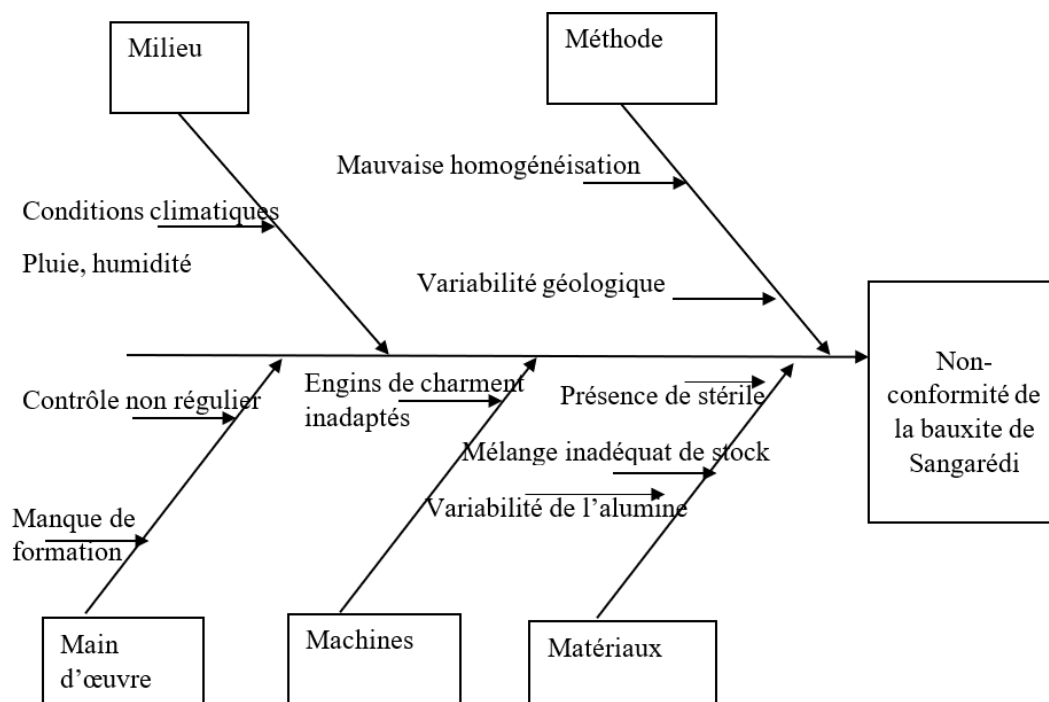


Fig. 4. Diagramme D'Ishikawa des causes de non-conformité de la bauxite de Sangarédi

Principales causes de non-conformité de la bauxite de Sangarédi:

Le diagramme d'Ishikawa, appliqué à la bauxite de Sangarédi, formalise l'ensemble des causes susceptibles de provoquer la non-conformité du produit à destination du marché export... Les causes sont regroupées selon les 5M aidant à la structuration classique en fonction du milieu, de l'homme, de la machine, des méthodes, et la matière, code utilisé pour l'analyse des causes dans le domaine minier.

- Pour ce qui est de la **main-d'œuvre**, des erreurs du service de manutention, trop peu de formation des opérateurs et peu de surveillance technique sont un facteur de qualité.
- A propos des **méthodes**, des défauts d'homogénéisation des stocks, un mélange d'un minerai de différents plateaux mal contrôlé et l'absence de protocoles de contrôle adaptés accroissent une variabilité des teneurs qui concerne surtout la silice.
- Au niveau **matériel**, des équipements de chargement inappropriés et des problèmes de calibrage du spectromètre induisent des erreurs analytiques qui rendent les résultats peu fiables.
- Concernant **l'environnement (milieu)**, la variabilité géologique dans les gisements et les conditions climatiques (pluie, humidité) influencent la composition chimique du minerai et accentuent les écarts aux spécifications contractuelles de la qualité.
- Au niveau de la **matière**, la présence de stériles, la variabilité de l'alumine et surtout sa teneur en silice trop importante constituent avant tout des causes majeures de non-conformité à la qualité.

Tableau 5. Principales causes de non-conformité de la bauxite de Sangarédi

Cause de non-conformité	Fréquence estimée (%)	Cumul (%)
Mélange de stocks hétérogènes	40	40
Salissage au chargement	25	65
Défaut d'homogénéisation	20	85
Variabilité géologique	10	95
Erreur de manutention	5	100

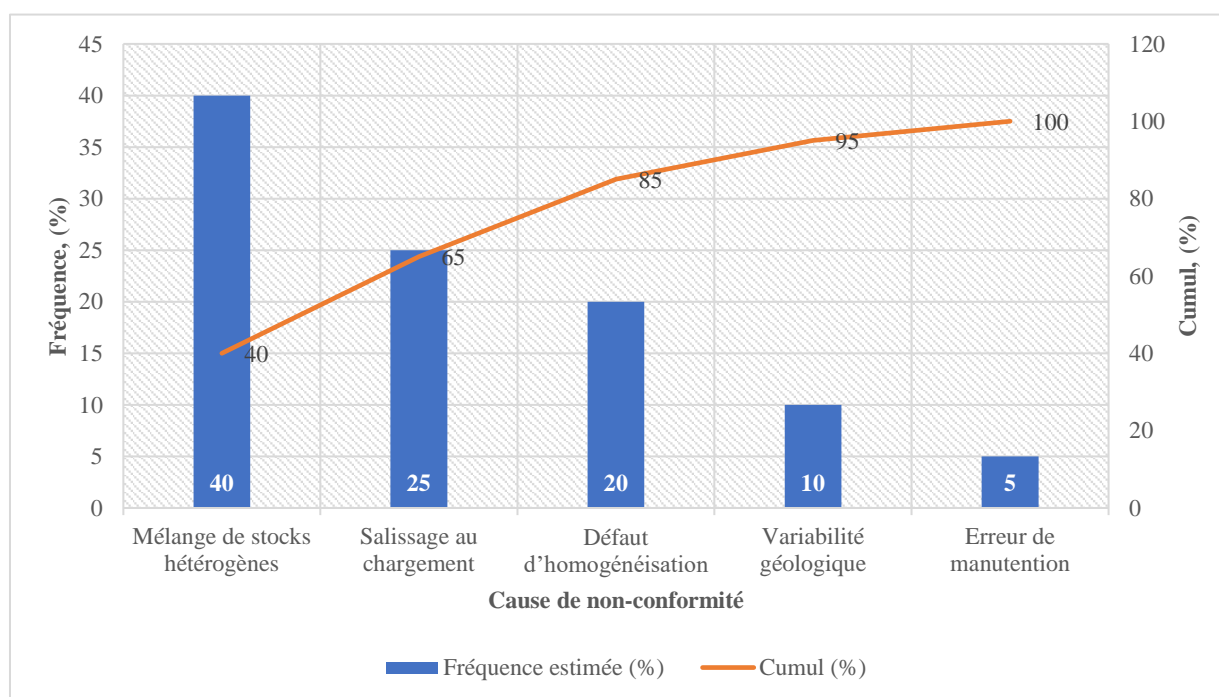


Fig. 5. Diagramme de Pareto des causes de non-conformité

Interprétation: Le diagramme de Pareto a été élaboré à partir des résultats analytiques de la bauxite de Sangarédi en mettant en évidence les principales causes des non-conformités des paramètres chimiques ayant des impacts sur la qualité à l'export. Les valeurs analysées montrent que:

- Le dépassement du seuil de la silice réactive (SiO_2) constitue la cause majeure avec environ 45 % des non-conformités tenant compte des résultats des analyses ayant livré une moyenne de 2,38 % de SiO_2 , au-delà la limite contractuelle de $2,01 \pm 0,3$ % pour des cas excédentaires devant impliquer soude caustique supplémentaire avec un rendement d'autant plus affecté par la nécessité d'en retirer une partie inadaptée dans le procédé Bayer.
- Le non-mélange homogène des matériaux en provenance de gisement présentant des valeurs lithologiques différentes est responsable à hauteur d'environ 25 % des écarts relevés. En effet les différents niveaux de SiO_2 et Al_2O_3 aux limites des plateaux retouchent la variabilité des résultats.
- Les opérations de chargement et de transport sont à l'origine de la présence d'argiles et de contaminants issus des stériles dans 20 % des non-conformités. De plus, l'introduction accidentelle de matériaux non bauxitiques a pour effet de diminuer la valeur chimique des livraisons à l'exportation. Des erreurs d'homogénéisation des stocks en aires de stockage représentent 10 % des écarts et confirment la nécessité d'une organisation rigoureuse et d'un suivi efficace des mélanges.

En outre, il ressort du diagramme que la règle des 80/20 de Pareto s'applique bien à notre domaine, les deux premières causes de non-conformité (dépassement de la silice et hétérogénéité des mélanges) représentant environ 70 à 75 % des situations problématiques. Dès lors, en priorité, en réduisant la silice réactive et en améliorant l'homogénéisation des mélanges, il est possible de réduire les écarts de qualité afin d'atteindre une meilleure conformité des produits exportés.

Pour cette étude, les données proviennent de plusieurs sources complémentaires. Nous avons d'une part collectée des échantillons de bauxite directement sur les gisements des plateaux de Sangarédi et de plusieurs zones adjacentes, afin d'évaluer la composition chimique du minerai en place. Nous avons également prélevé d'autre part des échantillons au niveau des stocks intermédiaires et des sites de chargement, pour analyser les variations de qualité sur l'ensemble de la chaîne de production. Ces échantillons ont en effet permis la mesure des paramètres critiques de qualité de la bauxite, notamment l'alumine (Al_2O_3) et la silice réactive (SiO_2) qui déterminent tant la valeur marchande que l'aptitude au processus Bayer. Les résultats analytiques, fournis par le laboratoire de la CBG par fluorescence X (XRF), montrent que l'alumine détient une moyenne de 49,66 % Al_2O_3 par rapport à une teneur contractuelle de $50,01 \pm 1,5$ %, soit un écart moyen de 0,85 %.

De son côté, la silice est notée très instable, avec sa valeur moyenne en SiO_2 , établie à 2,38 %, qui dépasse la limite contractuelle de $2,01 \pm 0,3$ % et se pairant de cette non-conformité pouvant durcir la qualité à l'export. Il est alors prévu un prélèvement d'échantillons suivant un protocole aléatoire stratifié, suivi d'une homogénéisation, séchage puis broyage, ce dans le souci d'une représentativité de l'ensemble des plateaux étudiés et répertoriés de toutes les variations lithologiques.

3.4 IMPLICATIONS POUR LA QUALITE À L'EXPORT

Les résultats de l'étude confirment que la bauxite de Sangarédi présente une teneur en alumine stable et répond à la norme internationale, mais que le non-respect de la norme et la présence excessive de silice réactive, sont le principal obstacle à sa compétitivité à l'exportation. Pour améliorer la qualité, plusieurs niveaux d'actions sont préconisés, en particulier le renforcement des opérations de production et des opérations de manutention, l'amélioration de la gestion des stocks et l'homogénéisation du produit, afin de limiter la variabilité de la silice gazeuse réactive et mieux répondre aux spécifications contractuelles [8], [19].

L'instabilité observée des teneurs en SiO_2 , avec des valeurs dépassant localement la limite contractuelle (2,01 %), engendre un impact économique non négligeable dans le procédé Bayer. En effet, chaque augmentation de 1 % de SiO_2 réactive induit une consommation additionnelle d'environ 1,3 à 1,5 kg de NaOH par tonne de bauxite. Dans le cas présent, l'excès moyen de 2 % correspond à un surcoût estimé d'environ 1,5 USD par tonne de bauxite, soit près de 23 millions USD par an pour une production de 15 Mt. Cette estimation souligne la nécessité d'un contrôle rigoureux de la silice à toutes les étapes de la chaîne d'exploitation afin d'optimiser la rentabilité du traitement.

Il existe des solutions techniques telles que le prétraitement de la bauxite par lavage, le tri granulométrique ou concentration gravimétrique, qui permettent de réduire la teneur en silice réactive et d'augmenter le rendement en alumine lors du procédé Bayer [23]. L'intégration de ces méthodes, en synergie avec une qualité de contrôle stricte et une gestion différenciée des lots en fonction de l'origine des parts, pourrait améliorer la bonne valorisation de la bauxite de Sangarédi, renforçant ainsi sa compétitivité sur le marché international.

4 CONCLUSION ET RECOMMANDATION

La consultation des résultats analytiques concernant les éléments constitutifs du minerai de bauxite de Sangarédi a permis de mettre en lumière des évolutions contrastées pour les deux principaux composants déterminants de la qualité et de l'exploitabilité de ce minerai, à savoir l'alumine (Al_2O_3) et la silice réactive (SiO_2). En effet, l'alumine présente une stabilité générale, avec une teneur moyenne estimée à 49,66 %, très proche de la valeur contractuelle de $50,01 \pm 1,5$ %, puisqu'environ 90 % des échantillons analysés sont situés dans la zone de tolérance validant ainsi que la bauxite de Sangarédi a une bonne aptitude pour le procédé Bayer et un fort potentiel pour l'exportation sur le marché dans le monde [8].

Inversement, la silice réactive provoque un fort écart avec une moyenne de 2,38% alors que la spécification est de $2,01 \pm 0,3$ %; en effet, seuls 40% des échantillons sont conformes et 60% au-delà de la norme, ce qui génère de manière répétitive un handicap avec une surconsommation de soude caustique et un rendement en alumine diminué, deux éléments pénalisants directement pour la rentabilité et la compétitivité de la bauxite exportée [24].

En considérant ces constats, plusieurs actions d'amélioration peuvent être envisagées, à savoir : (i) le renforcement du contrôle qualité en continu, notamment sur la silice, par le biais de carte de contrôle et d'outils statistiques de suivi ; (ii) l'amélioration de l'homogénéisation des stocks pour réduire les écarts de traitement chimique existant entre gisements ; (iii) la réduction des phénomènes de salissage et de contamination lors des chargements et transports ; (iv) le traitement différencié des gisements pour un meilleur rapprochement de la composition chimique des lots constitués avec le spécifications contractuelles (Melo et al., 2020, 2020) [20].

Pour conclure, l'étude montre que la gestion de la variabilité de la silice est un facteur stratégique pour améliorer la qualité et la compétitivité des produits exportés, augmenter la valeur ajoutée de la filière bauxitique et donner à la Guinée son rôle de premier producteur mondial de bauxite [12].

REFERENCES

- [1] B. Campbell, « Negotiating the bauxite/aluminium sector under narrowing constraints », *Review of African Political Economy*, vol. 18, p. 27-49, juill. 1991, doi: 10.1080/03056249108703904.
- [2] L. Kalinichenko et Z. Novikova, « African Aluminium Industry: Structure, Problems, Potential », *Asia and Africa today*, juill. 2024, doi: 10.31857/s032150750031019-2.
- [3] J. Knierzinger, « The socio-political implications of bauxite mining in Guinea: A commodity chain perspective », *The Extractive Industries and Society*, vol. 1, p. 20-27, mars 2014, doi: 10.1016/J.EXIS.2014.01.005.
- [4] A. K. Diallo, M. S. M. Conté, O. Kaba, A. Soumah, et M. Camara, « Petrological and Statistical Studies of the Limbiko Bauxite Deposit, Republic of Guinea », *International Journal of Geosciences*, janv. 2023, doi: 10.4236/ijg.2023.144020.
- [5] D. Death, A. Cunningham, et L. Pollard, « Multi-element and mineralogical analysis of mineral ores using laser induced breakdown spectroscopy and chemometric analysis », *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, vol. 64, p. 1048-1058, oct. 2009, doi: 10.1016/J.SAB.2009.07.017.
- [6] G. Isaenko, E. Andreeva, E. Putilin, Yu. Yu. Fishchenko, et A. Makavetskas, « Influence of the material composition of the original ore on the quality of the iron ore concentrate. », *Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*, oct. 2023, doi: 10.32339/0135-5910-2023-1-63-70.
- [7] G. Cheng, Y. Li, et M. Zhang, « Research progress on desulfurization technology of high-sulfur bauxite », *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, oct. 2022, doi: 10.1016/s1003-6326(22)66026-6.
- [8] M. C. Béavogui, B. Balmaev, O. Kaba, A. Konaté, et I. Loginova, « Bauxite enrichment process (Bayer process): Bauxite cases from Sangarédi (Guinea) and Sierra Leone », *PROCEEDINGS OF THE 16TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL MANUFACTURING AND METALLURGY (ICIMM 2021)*, janv. 2022, doi: 10.1063/5.0074812.
- [9] D. Yu et al., « Navigating the global mineral market: A study of resource wealth and the energy transition », *Resources Policy*, mai 2023, doi: 10.1016/j.resourpol.2023.103500.
- [10] F. M. AlDossari, « Upgraded Analytical Protocols in Bauxite Refining Industry Using Composite Sampling Approach to Minimize Laboratory Analysis Load », *Materials Sciences and Applications*, janv. 2023, doi: 10.4236/msa.2023.142007.
- [11] A. Carvalho, V. Alves, D. Silvestre, F. Leme, P. Oliveira, et C. Nomura, « Comparison of Fused Glass Beads and Pressed Powder Pellets for the Quantitative Measurement of Al, Fe, Si and Ti in Bauxite by Laser-Induced Breakdown Spectroscopy », *Geostandards and Geoanalytical Research*, vol. 41, déc. 2017, doi: 10.1111/ggr.12173.
- [12] M. Birinci et R. Gök, « Characterization and flotation of low-grade boehmitic bauxite ore from Seydişehir (Konya, Turkey) », *Minerals Engineering*, vol. 161, p. 106714, janv. 2021, doi: 10.1016/j.mineng.2020.106714.
- [13] Y. Xu, C. Chen, et J. Li, « A Novel Sustainable and Facile Method in Alumina Industry: Pre-Treatment of High Silica Bauxite by Cyclic Alkaline Leaching », *Journal of Sustainable Metallurgy*, févr. 2025, doi: 10.1007/s40831-025-01013-6.
- [14] Y. Sun, A. Pan, Yuzhao, et J. Chang, « Extraction of alumina and silica from high-silica bauxite by sintering with sodium carbonate followed by two-step leaching with water and sulfuric acid », *RSC Advances*, vol. 13, p. 23254-23266, juill. 2023, doi: 10.1039/d3ra03362g.
- [15] L. Wei, « The Application of X-ray Fluorescence Spectrometry in Ore Composition Analysis », *Guangzhou Chemical Industry*, janv. 2012, [En ligne]. Disponible sur: <https://consensus.app/papers/the-application-of-xray-fluorescence-spectrometry-in-ore-wei/f4d2a7efd95b561aa2d402ea467679d0/>.
- [16] C. Xiu-Mei, « Analysis on X-ray Fluorescence Spectrometry Manganese Mine », *Gansu Metallurgy*, janv. 2009, [En ligne]. Disponible sur: <https://consensus.app/papers/analysis-on-xray-fluorescence-spectrometry-manganese-xiu-mei/fd9fac68ff4e570a8bd689f56533a94e/>.
- [17] M. Kar, M. A. R. Önal, et C. R. Borra, « Alumina recovery from bauxite residue: A concise review », *Resources, Conservation and Recycling*, nov. 2023, doi: 10.1016/j.resconrec.2023.107158.
- [18] G. Zhou et al., « Toward sustainable green alumina production: a critical review on process discharge reduction from gibbsitic bauxite and large-scale applications of red mud », *Journal of Environmental Chemical Engineering*, févr. 2023, doi: 10.1016/j.jece.2023.109433.
- [19] P. Smith, « The processing of high silica bauxites — Review of existing and potential processes », *Hydrometallurgy*, vol. 98, p. 162-176, août 2009, doi: 10.1016/J.HYDROMET.2009.04.015.
- [20] S. Paz, H. Kahn, et R. Angélica, « A proposal for bauxite quality control using the combined Rietveld – Le Bail – Internal Standard PXRD Method – Part 1: hkl model developed for kaolinite », *Minerals Engineering*, vol. 118, p. 52-61, mars 2018, doi: 10.1016/J.MINENG.2018.01.006.

- [21] R. Angélica, H. Kahn, et S. Paz, « A proposal for bauxite quality control using the combined Rietveld - Le Bail - Internal Standard PXRD method – Part 2: Application to a gibbsitic bauxite from the Paragominas region, northern Brazil », *Minerals Engineering*, juin 2018, doi: 10.1016/J.MINENG.2018.03.039.
- [22] L. T. P. Lopes, F. C. Fernandes, E. Da Cunha Rodovalho, et T. M. E. Hajj, « Impact assessment of waste screening over the life of a Brazilian bauxite mining operation », *Mining Technology*, vol. 130, p. 1-7, déc. 2020.
- [23] doi: 10.1080/25726668.2020.1857156.
- [24] S. Dyussenova, R. Abdulvaliyev, A. Akcil, S. Gladyshev, et A. Manapova, « Gravity beneficiation of low quality gibbsite - kaolinite bauxite », *Journal of Materials Research and Technology*, août 2022, doi: 10.1016/j.jmrt.2022.07.194.
- [25] M. Kumar, B. Senapati, et C. Kumar, « Beneficiation of High Silica Bauxite Ores of India an Innovative Approach », p. 187-190, janv. 2016, doi: 10.1007/978-3-319-65136-1_33.

Étude de l'aptitude des eaux souterraines de Touba à l'irrigation

[Study of the suitability of Touba groundwater for irrigation]

Ibra Kandji¹, Pape Babacar Diop Thioune², and Mouhamadou Masseck Fall³

¹Laboratoire BIOGERENAT, Institut Supérieur Formation Agricole et Rural (ISFAR) BP 54, Université Alioune de Bambey, Senegal

²Université Alioune Diop de Bambey, Senegal

³LaSTEE, Ecole Polytechnique de Thies, Senegal, BP A10, Senegal

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

ABSTRACT: With no surface water available during the dry season in Touba, using groundwater for irrigation is a real alternative. In general, the poor quality of irrigation water has an effect on soil quality, which is harmful to plant growth and therefore has an impact on yield. Irrigation water can even pose a risk to human health. It is crucial to assess the quality of irrigation water before use. Consequently, the aim of this study is to assess the suitability of the groundwater in TOUBA and the surrounding area for irrigation. For the purposes of this study, the Sodium Absorption Ratio (SAR), the Magnesium Absorption Ratio (MAR), the Doneen Permeability Index (IP) and the Potential Salinity (SP) were calculated for sixteen (16) boreholes tapping the Maastrichtian aquifer. The determination of these parameters is based on hydro-chemical data (Electrical Conductivity (EC), concentration of chloride (Cl⁻), sulphate (SO₄²⁻), calcium (Ca²⁺), bicarbonate (HCO₃⁻), magnesium (Mg²⁺), sodium (Na⁺) and potassium (K⁺) ions) received from the Water Resources Management and Planning Department (DGPRES) and the Rural Drilling Office (OFOR). According to the SAR, 12.5% are C3S1, 12.5% C1S4, 31.25% C4S3-C3S4, 6.25% C2S4 and 37.5% C4S4. 93.75% of the samples have a MAR above 60% [FAO limit]. Determination of the Doneen index (PI) shows that all the samples have PI above 75%. However, only 18.75% of the waters studied have the SP values recommended by Doneen.

KEYWORDS: groundwater, hydrochemical, Sample, Maastrichtian, soil.

RESUME: Avec l'absence des eaux de surface durant la saison sèche à Touba, le recours aux eaux souterraines pour l'irrigation constitue un véritable alternatif. En général, la mauvaise qualité de l'eau d'irrigation a des effets sur la qualité du sol, ce qui est nuisible à la croissance des plantes, et donc a un impact sur le rendement. L'eau d'irrigation peut même constituer un risque pour la santé humaine. Il est crucial de bien évaluer la qualité de l'eau destinée à l'irrigation avant toute utilisation. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'adéquation des eaux souterraines de TOUBA et ses environs à l'irrigation. Pour bien mener cette étude, le rapport d'absorption de Sodium (SAR), le rapport d'absorption de Magnésium (MAR), l'indice de perméabilité de Doneen (IP) et la salinité potentielle (SP) ont été calculés sur seize (16) forages captant la nappe Maastrichtienne. La détermination de ces paramètres précités repose sur les données hydro-chimiques (Conductivité Electrique (CE), concentration des ions de chlorure (Cl⁻), sulfate (SO₄²⁻), calcium (Ca²⁺), bicarbonate (HCO₃⁻), Magnésium (Mg²⁺), Sodium (Na⁺), et potassium (K⁺)) de la nappe reçues de la Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eau (DGPRES) et de l'Office des Forages Ruraux (OFOR). Selon le SAR 12,5% sont de C3S1, 12,5% de C1S4, 31,25% de classe C4S3-C3S4, 6,25% de classe C2S4 et 37,5% de classe C4S4. 93,75% des échantillons ont un MAR supérieur à 60% [valeur limite de la FAO]. La détermination de l'indice de Doneen (IP) montre que tous les échantillons ont des IP supérieurs à 75%. Par contre, seul 18,75% des eaux étudiées ont des valeurs de SP recommandées par Doneen.

MOTS-CLEFS: nappe, hydrochimiques, échantillons, Maastrichtienne, sol.

1 INTRODUCTION

Touba est une ville religieuse située dans la région de Diourbel au Sénégal. En terme de démographie, c'est la deuxième ville la plus peuplée après la capitale, Dakar. Les ressources en eau souterraine se trouvent au niveau de trois aquifères (superficielle, semi profonde et profonde/maastrichtien). Les forages qui captent le maastrichtien sont profondes d'environ 250-450m [1].

Les eaux souterraines constituent une réserve d'eau importante pour la consommation d'eau potable et les activités industrielles et agricoles. Elles sont devenues la principale source d'eau utilisée dans les activités agricoles dans de nombreux pays où les rivières et les systèmes de drainages ne sont pas adéquats. Cependant, le choix d'une eau pour l'irrigation dépend de la concentration totale de sels solubles évalués par la conductivité électrique (CE). Une salinité élevée peut être préjudiciable à la croissance des plantes. Les sels minéraux contenus dans l'eau ont des effets sur le sol et les plantes [2]. Ces sels peuvent perturber le développement physique des plantes par l'absorption de l'eau qui agit sur le processus osmotique, ou chimiquement par les réactions métaboliques telles que celles causées par les constituants toxiques. Si l'on arrose la plante avec de l'eau faiblement minéralisée, l'eau pénètre dans la plante par un phénomène d'osmose, par contre si l'on arrose par de l'eau trop minéralisée, on inverse le phénomène d'osmose et la plante se dessèche. On aura le même phénomène avec un excès d'engrais. Pour éviter ces phénomènes, certaines règles d'utilisation font intervenir la salinité totale, la composition ionique ainsi que la présence des éléments traces [3]. En général, les facteurs de qualité de l'eau étudiés sont principalement des cations comme K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , des anions comme Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , NO_3^- et des métaux lourds qui sont des indicateurs de la potabilité de l'eau. En revanche, le rapport d'absorption de Sodium (SAR), le rapport d'absorption de Magnésium (MAR), l'indice de perméabilité de Doneen (IP) et la salinité potentielle (SP) ont été fréquemment utilisés pour définir la qualité de l'eau pour l'irrigation [4].

L'objectif du présent travail est d'étudier l'utilisabilité des eaux souterraines de la nappe de Touba pour l'irrigation. De façon spécifique, il s'agit de calculer le SAR, le MAR, l'IP et la SP. L'étude a été rendue possible grâce aux données hydrogéologiques d'une quinzaine de forages captant le Maastrichtien, reçues de la Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eau (DGPRE) et de l'Office des Forages Ruraux (OFOR).

2 METHODOLOGIE

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La commune de Touba Mosquée est située dans l'arrondissement de Ndame (département de Mbacké, Région de Diourbel). Elle est géographiquement limitée:

- Au Nord par l'arrondissement de Darou Mousty;
- Au Sud par l'arrondissement de Kaël;
- A l'Est par l'arrondissement de Saggatta Djoloff;
- A l'Ouest par un ensemble de communes que sont celles de Touba Fall et Dalla – Ngabou [5].

La figure 1 donne la position géographique de notre zone d'étude.

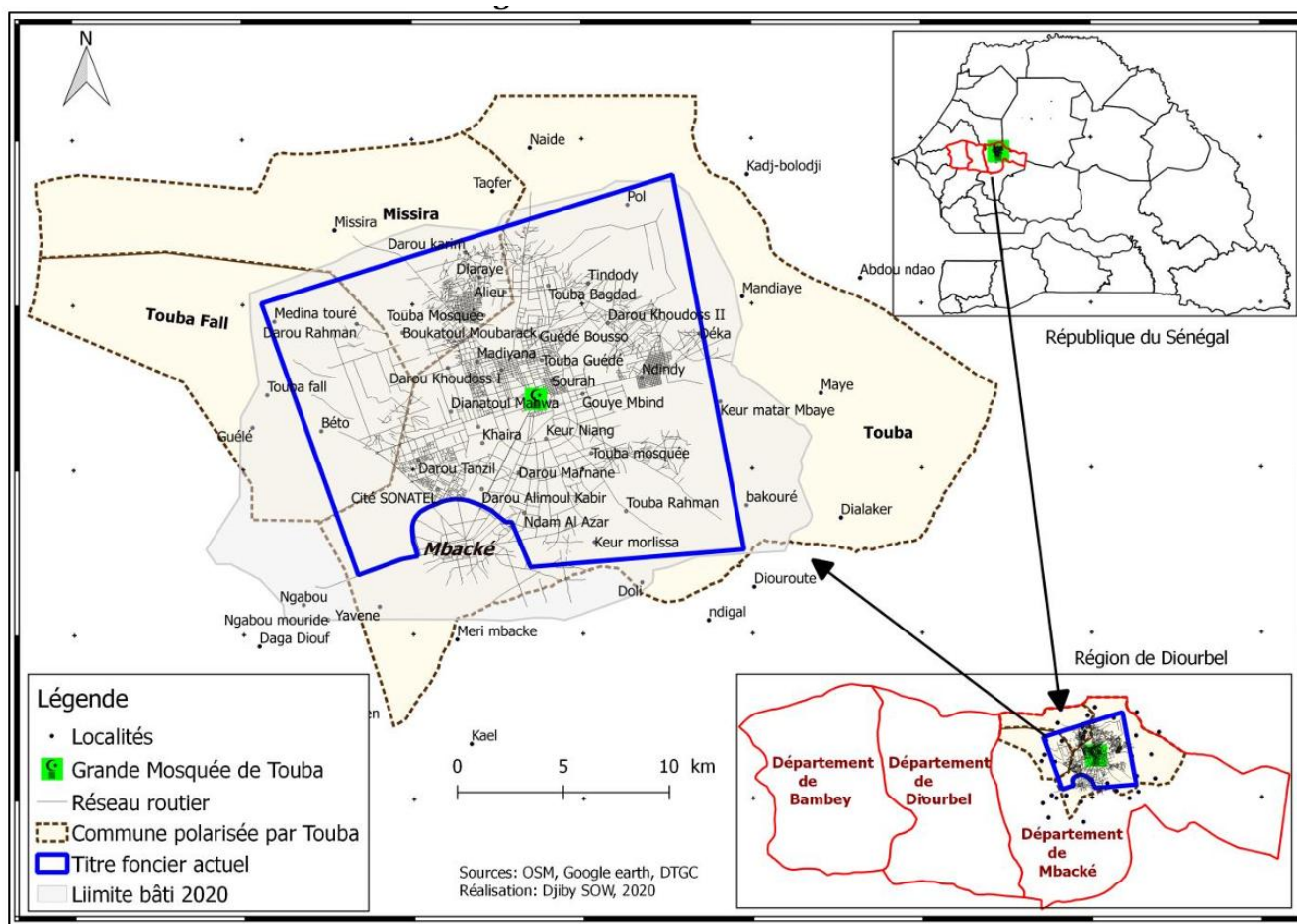


Fig. 1. Position géographique de la zone d'étude Source des données: OSM, DTGC, Google Earth [5]

Les sols sont de type ferrugineux tropical et se répartissent en deux principales composantes:

- Des sols à 85 % de type ferrugineux tropicaux faiblement lessivés sur sable (Dior), sableux et profonds, bien drainés, perméables et à faible degré de saturation, à la fois hyper sensibles et exposés aux érosions éoliennes et hydriques.
- Les 15 % restant sont constitués de sols de type ferrugineux tropicaux lessivés (Deck Dior) tropicaux rougeâtres et ferrugineux, argileux par endroits (sur environ 10 % du territoire) [5], [6].

Les mois les plus pluvieux sont Août et Septembre. Le mois d'Août peut totaliser en moyenne 171 mm sur un total annuel de 613 mm. La température moyenne annuelle est de 36°C dans Touba. Le mois le plus chaud de l'année est Mai, avec une température moyenne de 40°C [7].

Les ressources en eau occupent une place prépondérante dans la création d'un espace de vie urbain ou rural. À Touba, les ressources en eau sont réparties entre les eaux de surface et les eaux souterraines.

- **Les eaux de surface:** elles sont quasi inexistantes. Les quelques retenues d'eaux sont constituées par les opportunités qu'offrent quelques dépressions plus ou moins importantes. Elles sont alimentées par les eaux de pluies et disparaissent deux à trois mois après la fin de celle-ci.
- **Les eaux souterraines:** on note la présence d'une nappe phréatique dans les calcaires de l'éocène. Elle donne une eau douce de bonne qualité qui, aujourd'hui est exploitée à des profondeurs situées entre 25 et 90 mètres. Aujourd'hui, d'après [1], le Maastrichtien à l'est de Touba dispose de bonnes **potentialités** en termes quantitatifs estimées à 100 000 m³/jour. Cette zone présente une bonne potentialité en eaux douces, à la fois en termes de quantité et de productivité dans les zones d'appel des forages.

A Touba, ce sont les nappes du Continental terminal et celles du Maastrichtien qui sont essentiellement sollicitées pour l'approvisionnement en eau potable. Malheureusement, les forages captant la nappe du Maastrichtien présentent tous des teneurs en fluor qui dépassent la norme admissible fixée par l'Association Sénégalaise de Normalisation (NS 05-033) qui est de 0,8 mg par litre d'eau [1].

2.2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les données hydrogéologiques ont été fournies par la Direction de la Gestion et de la Planification des Ressources en Eau (DGPPE) et l'Office des Forages Ruraux (OFOR). Il s'agit de la Conductivité Electrique (CE), de la concentration des ions de chlorure (Cl⁻), sulfate (SO₄²⁻), calcium (Ca²⁺), bicarbonate (HCO₃⁻), Magnésium (Mg²⁺), Sodium (Na⁺) et potassium (K⁺). Les mesures des paramètres hydrochimiques précitées ont été effectuées sur seize (16) forages captant le Maastrichtien. Sur la base des données de ces 16 forages nous avons Calculé pour chaque forage quatre paramètres que sont le rapport d'Absorption de Sodium (SAR), le rapport d'absorption de Magnésium (MAR), l'indice de perméabilité de Doneen (IP) et la salinité potentielle (SP) afin d'évaluer l'utilisabilité des eaux souterraines de Touba et ses environs dans le domaine agricole. Les logiciels utilisés pour le traitement sont: GOOGLE EARTH pour la localisation des points, ARCGIS pour la réalisation des cartes et Excel pour l'étude statistique. Les positions géographiques des forages testés sont données par la figure 3 ci-dessous.

L'analyse et l'interprétation des résultats reposent sur le calcul des paramètres suivant:

- **Rapport d'absorption de sodium (SAR)**

L'ion sodium (Na⁺) peut être considéré comme un des ions les plus importants pour l'évaluation des critères de qualité d'une eau à usage agricole. La classification des eaux est élaborée à l'aide du diagramme de la classification des eaux d'irrigation d'U.S.S.L (United States Salinity Laboratory). Ce dernier est fonction de la conductivité électrique (CE) à 25°C et le rapport d'absorption du sodium (SAR). Le coefficient d'adsorption du sodium (S.A.R), appelé "pouvoir alcalinisant" est calculé par la formule suivante [8]:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{1}{2}(Ca^{2+} + Mg^{2+})}} \quad [9], \text{ Tous les éléments sont exprimés en méq/l.}$$

Le tableau 1 et la figure 2 donnent une classification des eaux d'irrigation.

Tableau 1. Classification des eaux d'irrigation par le diagramme de Richards

Classe	Qualité	Appréciation
C1S1	Bonne	Eau présentant une bonne qualité pour l'irrigation, utilisable avec précautions pour les plantes sensibles.
C1-S2, C2-S1	Moyenne à bonne	Eau de qualité bonne à moyenne a utilisé avec précaution pour les sols mal drainés et pour les plantes sensibles.
C2-S2, C1-S3, C3-S1	Moyenne à médiocre	Qualité moyenne à médiocre a utilisé avec précaution ; nécessite un drainage avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse
C1-S4, C2-S3, C3-S2, C4-S1	Médiocre à mauvaise	Eau de qualité médiocre à mauvaise, utilisée avec précaution pour les sols lourds et les plantes sensibles, l'emploi pour les sols légers et bien drainés nécessite une dose de lessivage et/ou apport de gypse.
C2-S4, C4-S2, C3-S3	Mauvaise	Eau de qualité mauvaise utilisée que pour les sols légers et bien drainés et pour les plantes résistantes avec nécessité de doses de lessivages et/ou apport de gypse.
C3-S4, C4-S3	Très mauvaise	Qualité très mauvaise a n' utilisé que pour les circonstances exceptionnelles.
C4-S4	Inutilisable	Déconseillée pour l'irrigation

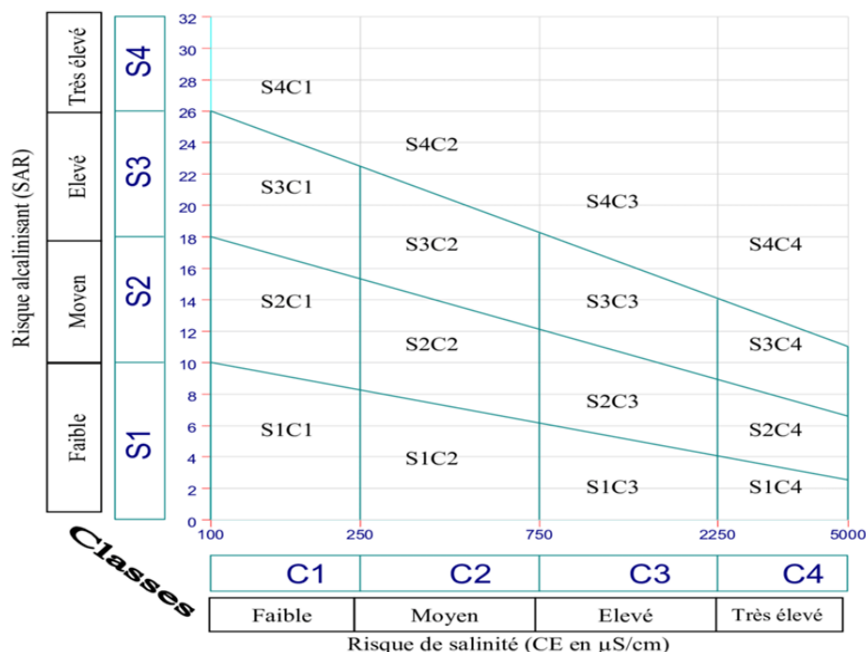


Fig. 2. Diagrammes de classification des eaux d'irrigation ((United States Salinity Laboratory)

• **Indice de perméabilité de Doneen (IP)**

La perméabilité du sol est affectée par l'utilisation à long terme de l'eau irriguée et les constituants influents sont les solides dissous totaux, le ratio de bicarbonate de sodium et le type de sol. Selon [10], l'indice de perméabilité est un critère basé sur la solubilité du sel et la réaction se produisant dans la solution du sol à partir de l'eau. L'indice de perméabilité permet de mettre en exergue l'impact d'une eau d'irrigation sur la perméabilité d'un sol. Il est donné par la formule 12 [11]:

$$IP = \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3^-}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+} * 100 \quad [12]$$

Selon [12], l'IP est divisé en trois classes: classe I (> 75%, appropriée), classe II (25-75%, bonne) et classe III (< 25%, inappropriée). L'eau des classes I et II est utilisable pour l'irrigation [2].

• **La salinité potentielle (SP)**

La salinité du sol est constituée par tous les sels de chlorure de sodium et des sulfates de magnésium. La salinité potentielle (Sp) pourrait être estimée par l'équation 13 où tous les termes sont exprimés en milliéquivalent par litre (meq/L) [8].

$$SP = Cl^- + \frac{SO_4^{2-}}{2} \quad [12]$$

Elle est définie sur une échelle variante entre 3 à 5 qui permet de juger de l'aptitude des eaux à l'irrigation. Les eaux souterraines sont déconseillées à l'irrigation si le SP est au-delà de 5 [8].

• **Rapport d'absorption du magnésium (MAR)**

Le rapport d'absorption du magnésium (MAR) évalue la concentration de Magnésium (Mg) par rapport au Calcium (Ca). Une teneur élevée en Magnésium (Mg) par rapport au Calcium (Ca), constitue une menace pour la qualité du sol, elle réduit la porosité et éventuellement la perméabilité du sol, inhibant ainsi la circulation et la disponibilité de l'eau dans le sol. Le rapport d'absorption de Magnésium est donné par la formule 13 [11]:

$$MAR (\%) = \frac{Mg}{Mg + Ca} * 100 \quad [13]$$

Selon [14], une valeur de MAR inférieure à 60% convient à l'irrigation.

La figure 3 ci-dessous donne la position géographique des différents forages testés

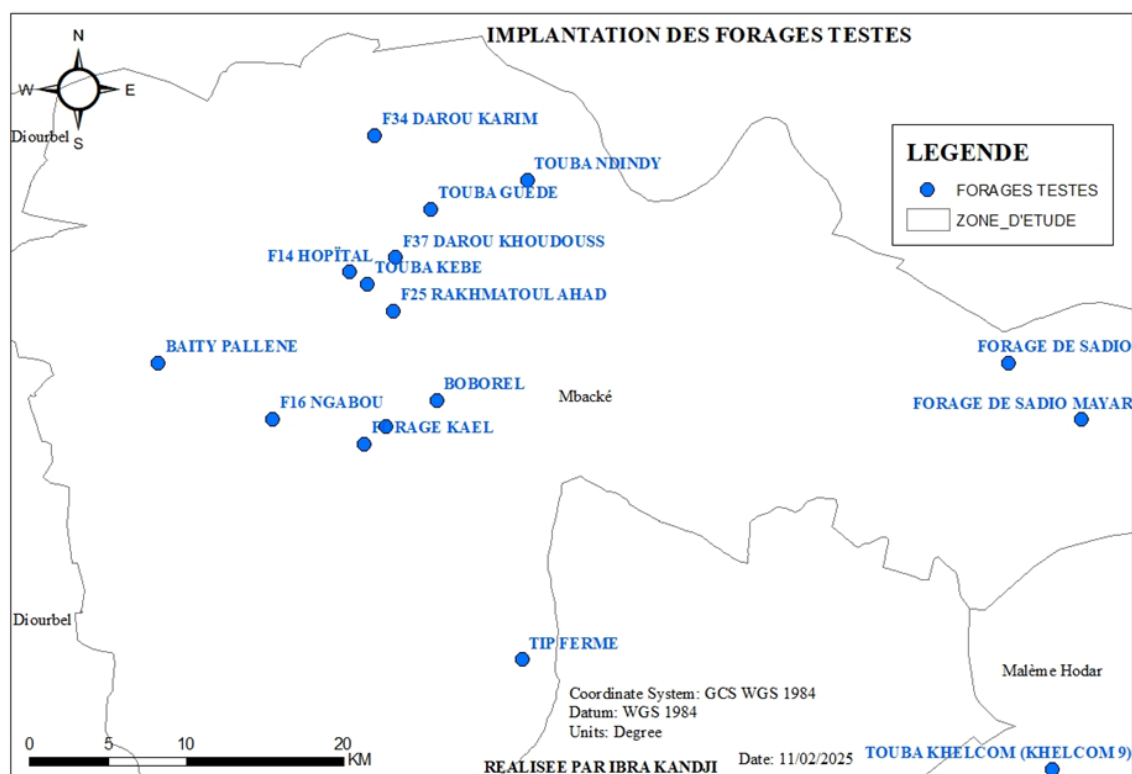


Fig. 3. Implantation des forages testés:

3 RESULTATS ET DISCUSIONS

L'analyse et l'interprétation des résultats reposent sur la détermination des quatre (04) paramètres suivants:

3.1 RAPPORT D'ABSORPTION DE SODIUM (SAR)

Après avoir reporté tous les points d'eau des différentes campagnes sur le diagramme de Richards (figure 2) en fonction de la conductivité électrique et la valeur du S.A.R, nous avons déterminé six classes:

- **La classe "C3-S1"**: elle renferme les eaux de qualité moyenne à médiocre. Ces eaux doivent être utilisées avec précaution, nécessitant un drainage avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse. Elles peuvent être utilisées pour l'irrigation des cultures tolérantes aux sels sur sol bien drainé. Cette catégorie des eaux est située sur la partie Sud-Est de Touba (TOUBA KHELCOM).
- **La classe "C1S4"** qui renferme les eaux d'eau de qualité médiocre à mauvaise, utilisée avec précaution pour les sols lourds et les plantes sensibles. Son emploi pour les sols légers et bien drainés nécessite une dose de lessivage et/ou apport de gypse. Ce sont les eaux des forages de TIP FERME et BAITY PALLENE.
- **Les classes "C4S3" et "C3S4"** qui renferment les eaux de qualité très mauvaise. Elles ne conviennent pas généralement à l'irrigation mais pouvant être utilisées sous certaines conditions: Sol très perméable, bien lessivé, plantes tolérantes aux sels. Elles couvrent une bonne partie des eaux de Touba et se situent plus précisément au nord et un peu au centre de la cité religieuse (voir figures 4 et 5) avec un taux de 31,25% (TOUBA GUEDE, TOUBA NDINDY, F34 DAROU KARIM, F25 RAKHMATOU AHAD et F37 DAROU KHOUDOUS).
- **La classe "C2S4"** qui renferme les eaux de qualité mauvaise utilisée que pour les sols légers et bien drainés et pour les plantes résistantes avec nécessité de doses de lessivages et/ou apport de gypse. Ces eaux représentent 6,25% des eaux testées et se trouvent à l'Est de Touba (FORAGE DE SADIO);
- **La classe "C4S4"** qui est déconseillée pour l'irrigation. Elle est la plus fréquente dans notre zone d'étude avec un pourcentage de 37,5% et se situe au centre, à l'Ouest et au Sud-Ouest de Touba (TOUBA KEBE, BOBOREL, F16 NGABOU, F14 HOPITAL, FORAGE KAELE et FORAGE SAM THIALLE).

Les figures 4 et 5 ci-dessous représentent respectivement la distribution spatiale de la conductivité électrique et celle du SAR sur notre zone d'étude.

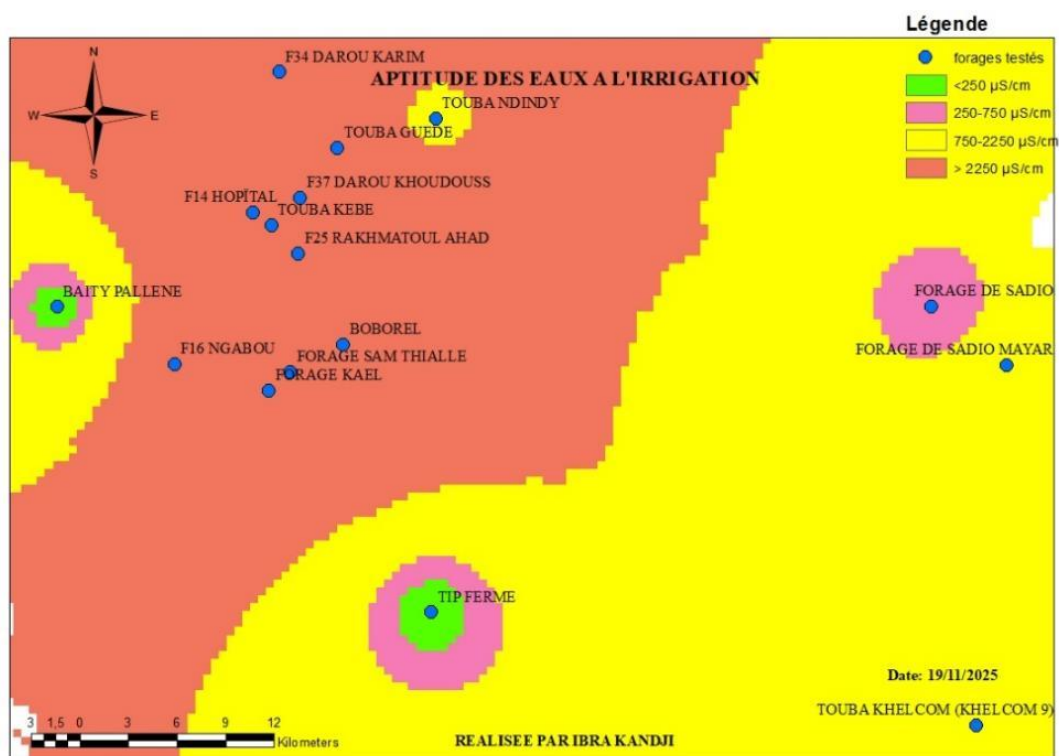


Fig. 4. Distribution spatiale de la Conductivité électrique

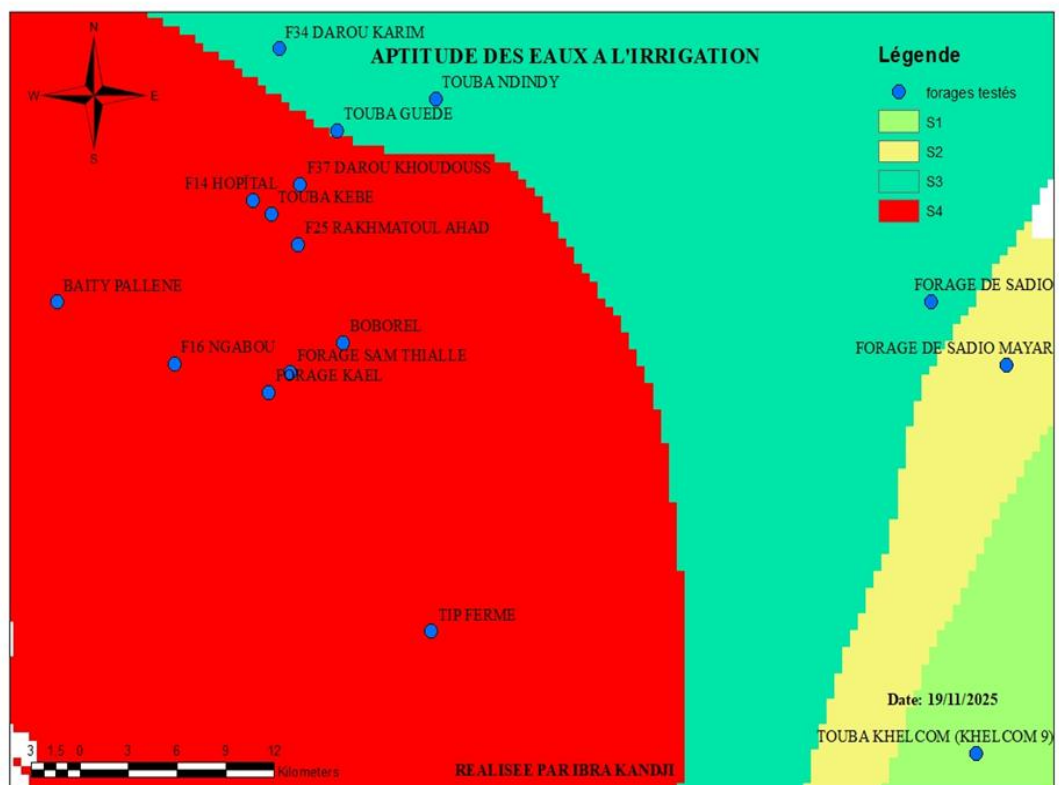


Fig. 5. Distribution spatiale du SAR

3.2 RAPPORT D'ABSORPTION DU MAGNÉSIUM (MAR)

Afin d'étudier le risque lié au magnésium, seize (16) forages ont été étudiés. Les résultats ont montré que le risque au magnésium est faible dans la zone d'étude; seul un (01) sur Seize (16) testés, soit un taux de 6,25% dépasse la limite fixée par l'Organisation des Nations Unis pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO) (60%). Il s'agit du forage de SAM THIALLE qui a un coefficient d'absorption de Magnésium de 61,79%, valeur légèrement supérieure à celle de la norme FAO (figure 6).

La figure 6 ci-dessous donne la distribution spatiale du MAR sur notre zone d'étude.



Fig. 6. Distribution Spatiale du MAR

3.3 INDICE DE PERMÉABILITÉ DE DONEEN (IP)

Doneen a développé un critère pour évaluer l'adéquation de l'eau d'irrigation sur la base de l'indice de perméabilité tel qu'exprimé dans la section 2.2 Matériel et Méthode-Indice de perméabilité de Doneen (IP). Selon lui, Les eaux avec un indice de perméabilité dépassant 25% sont adaptées à l'irrigation. Par conséquent, toutes les eaux de notre zone d'étude peuvent être utilisées sans aucun danger sur la perméabilité du sol, à l'irrigation car leurs indices de perméabilité dépassent largement 25% (figure 7).

La figure 7 ci-dessous donne la distribution spatiale de l'indice de perméabilité de Doneen (IP) sur notre zone d'étude.

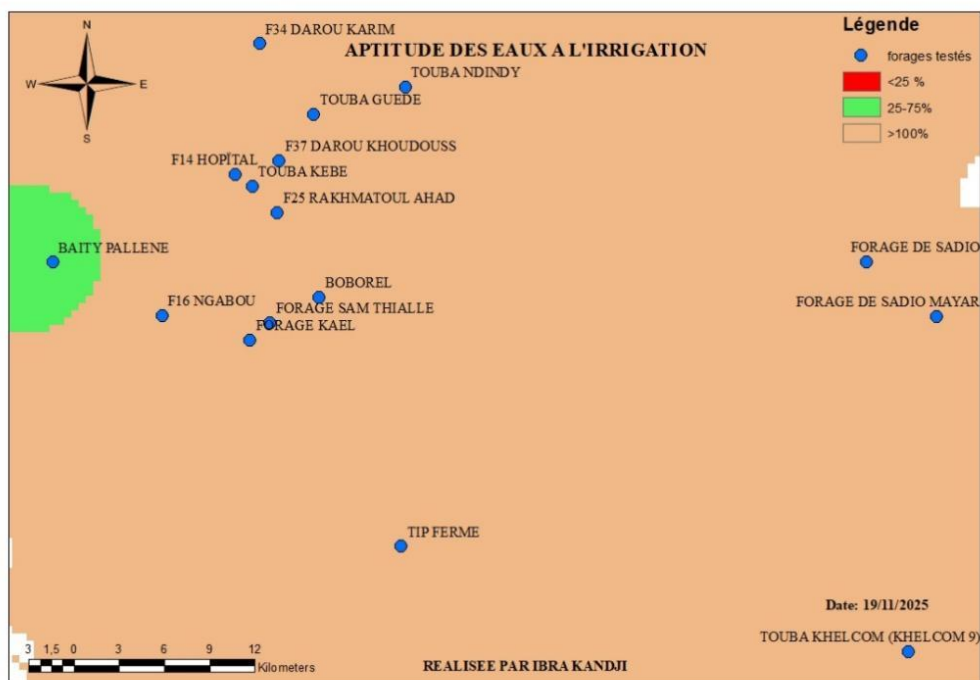


Fig. 7. Distribution spatiale de l'indice de perméabilité de Doneen (IP)

3.4 LA SALINITÉ POTENTIELLE (SP)

Afin d'évaluer l'effet des sels de chlorure de sodium et des sulfates de magnésium sur les eaux d'irrigation de Touba et ses environnants, la salinité potentielle (SP) a été étudiée. Les résultats ont montré que la plus plupart des eaux de ces forages sont déconseillées à l'irrigation. seuls trois (03) forages (TOUBA KHEL COM, FORAGE DE SADIO et FORAGE DE SADIO MAYAR) sur seize (16), soit un taux de 18,75% ont une salinité potentielle recommandée par Doneen (figure8).

La figure 8 ci-dessous donne la distribution spatiale de la salinité potentielle (SP sur notre zone d'étude.

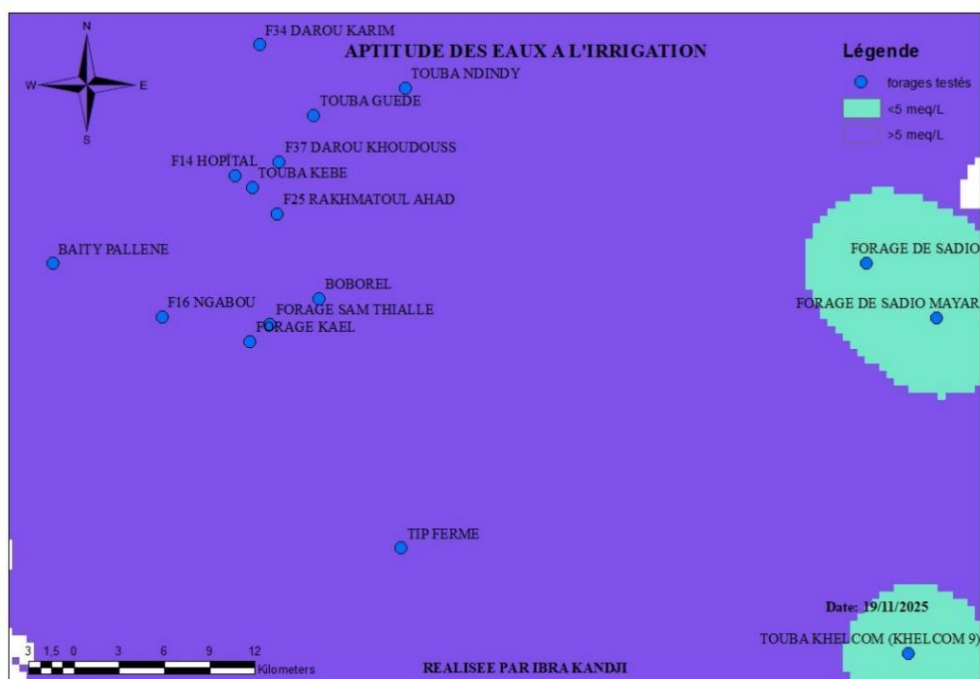


Fig. 8. Distribution spatiale de La salinité potentielle (SP)

4 CONCLUSION

Les résultats de la présente étude ont contribué à une meilleure connaissance des caractéristiques hydrochimiques du Maastrichtien de Touba. Des données d'une quinzaine de forages reçues de la DGPPE et de l'OFOR répartis dans notre zone d'étude ont été étudiées. Les résultats ont montré que dans notre zone d'étude, à l'exception de SADIO MAYAR et Touba Khelcom, les eaux souterraines sont salées et leur utilisation peut nuire à la croissance de certaines cultures, surtout celles non tolérantes aux sels. Cependant, ces eaux peuvent être utilisées sans aucune impact néfaste sur la perméabilité du sol sur tout l'étendu de notre zone d'étude. Dès lors, il est important de bien maîtriser le type de sol avant l'utilisation de l'eau d'irrigation car la salinité de ces eaux a des impacts négatifs sur les cultures non tolérantes au sel.

REFERENCES

- [1] MOUSTAPH SANE, « NOTE SUR LES RESSOURCES EN EAUX DU SENEGAL : ZONES POTENTIELLES POUR LE TRANSFERT D'EAU », MINISTERE DE L'HYDRAULIQUE ET DE L'ASSAINISSEMENT /DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE, oct. 2015.
- [2] Abdalkarim S. Gharbia et Salem S. Gharbia, « Groundwater Quality Evaluation for Irrigation Suitable Using Geostatistical Algorithms », janv. 2021, Consulté le: 19 février 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://orcid.org/0000-0002-0627-5801>.
- [3] S. M'nassri, L. Dridi, A. El Amri, M. Hachicha, et R. MAJDOUB, « Ability of groundwater of the basin of Sidi El Hani for irrigation (Center East of Tunisia) », *J. Mater. Environ. Sci.*, vol. 7, p. 4742-4753, janv. 2016.
- [4] S. K. Gautam, C. Maharana, D. Sharma, A. K. Singh, J. K. Tripathi, et S. K. Singh, « Evaluation of groundwater quality in the Chotanagpur plateau region of the Subarnarekha river basin, Jharkhand State, India », *Sustain. Water Qual. Ecol.*, vol. 6, p. 57-74, sept. 2015, doi: 10.1016/j.swaqe.2015.06.001.
- [5] SOW, « Dynamique spatiale de 1930 à 2020 et gouvernance urbaine de la « ville » de Touba », These de doctorat, Université Assane Seck de Ziguinchor (UASZ), Ziguinchor, 2021.
- [6] S. DIANGAR, « Agronomie du mil et des systemes de cultures à base de mil dans le basin arachidier.Acquis et perspectives », Institut sénégalaise de recherche agricole (ISRA), Rapport de titularisation, avr. 2000.
- [7] « Conditions climatiques en Touba », hikersbay. [En ligne]. Disponible sur: <https://hikersbay.com/climate-conditions/senegal/touba/conditions-climatiques-en-touba.html?lang=fr>.
- [8] A. SARR, « Caractérisation de l'aquifere du quaternaire de la zone de Samba DIA (Sénégal) par approche hydrogéochimique, isotopique et géophysique », These de doctorat, Universite Cheikh Anda DIOP de DAKAR, Dakar, 2024.
- [9] L. A. Richards, *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. U.S. Government Printing Office, 1954.
- [10] F. M. Eaton, « Importance des carbonates dans les eaux irriguées », *Soil Science*, vol. 69. 1950.
- [11] A.N. Amadi, T.A. Umoru, O.P. Umeugochukwu, et H.O. Nwankwoala, « Suitability of Groundwater in Auchi and Its Environs for Irrigation Purposes », *Pac. J. Sci. Technol.*, vol. 21, nov. 2020.
- [12] Doneen, L. D, « Notes on water quality in agriculture »; Department of Water Science and Engineering, University of California, Davis., California, 1964.
- [13] Szabolcs, I. et K. Darab, *Irrigation, Drainage and Salinity. Int.* in Butchinson Co.: London, U.K. 510. 1968.
- [14] FAO, norme des eaux d'irrigation, 2006.

Le budget participatif à l'épreuve des espoirs et des incertitudes de la participation dans la municipalité de Parakou

[The participatory budget put to the test of the hopes and uncertainties of participation in the municipality of Parakou]

Rodrigue Sèdjrofidé Montcho

Département de Sociologie-Anthropologie, Université de Parakou, Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines, Parakou, Bénin

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

ABSTRACT: Participatory budgeting is an ongoing experience in the municipality of Parakou in the Republic of Benin. This ongoing process sheds light on the relationship between principals and those mandated in the ongoing local development and decentralization process. This research aims to analyze the fulfilled or disappointed hopes and the uncertainties of the participatory budget of the municipality of Parakou. In a mixed approach, the questionnaire and the interview guide made it possible to collect data from 384 informants identified by reasoned choice and cluster techniques. It appears that the participatory budget mechanism in the municipality of Parakou comes to provide a response to the lack of participation and takes into account some priorities of the Community. But the participatory challenge has not yet been fully met. We have the impression of being in a partial process of participation which mobilizes the representatives instead of taking into account all the actors of the population in a perspective of global financial citizenship. The resources to achieve this are complex, particularly in communities with large populations, but it will be necessary to innovate with a good perspective of overall inclusion and not of selection for the purposes of good governance and budgetary democracy.

KEYWORDS: participatory budget, hopes, uncertainties, municipality, Parakou, budgetary democracy.

RESUME: Le budget participatif est une expérience en cours dans la municipalité de Parakou en République du Bénin. Ce processus en cours permet de mettre en lumière la relation entre mandants et mandatés dans le processus du développement local et de décentralisation en cours. Cette recherche vise à analyser les espoirs comblés ou déçus et les incertitudes du budget participatif de la commune de Parakou. Dans une démarche mixte, le questionnaire et le guide d'entretien ont permis de collecter des données auprès de 384 informateurs identifiés par les techniques du choix raisonné et par grappes. Il apparaît que le dispositif participatif du budget dans la municipalité de Parakou vient apporter une réponse au déficit de participation et prend en compte quelques priorités de la Communauté. Mais le défi participatif n'est pas encore entièrement relevé. On a l'impression d'être dans un processus partiel de participation qui mobilise les représentants au lieu de prendre en compte l'ensemble des acteurs de la population dans une perspective de citoyenneté financière globale. Les ressources pour y arriver sont complexes notamment dans des communautés de forte démographie, mais il faudra innover dans une bonne perspective d'inclusion globale et non de sélection aux fins d'une bonne gouvernance et d'une démocratie budgétaire.

MOTS-CLEFS: budget participatif, espoirs, incertitudes, municipalité, Parakou, démocratie budgétaire.

1 INTRODUCTION

L'apologie de la participation est devenue comme la moelle épinière de tous les discours relatifs à la gouvernance locale, au développement local et à la décentralisation. La participation est devenue ainsi un idéal à atteindre pour produire le développement tant prôné et tant attendu notamment dans un contexte de décentralisation où la légitimité de l'action publique et des décideurs locaux dépendent de leur capacité d'inclusion. Une approche inclusive qui permette d'offrir un service public de qualité à des administrés de

plus en plus exigeants surtout que les transferts de compétences et de ressources sont souvent tumultueux. On ne s'imagine pas produire durablement le développement notamment dans ce contexte de décentralisation. C'est pourquoi, plusieurs mécanismes participatifs sont mobilisés à l'instar du budget participatif dans la municipalité de Parakou.

Le budget participatif vise à permettre aux communautés d'identifier les problèmes et besoins, de les hiérarchiser et d'attribuer les ressources nécessaires à la satisfaction de ces besoins. Un vrai budget participatif est un instrument citoyen de prise en charge des besoins et aspirations à toutes les étapes de la budgétisation jusqu'au suivi-évaluation via la mobilisation des ressources. Selon J. Talpin, un budget participatif peut être défini comme: « l'inclusion des citoyens dans le cycle budgétaire d'une Collectivité publique » (Talpin J., 2012, p.33). Il est un processus innovant qui amène à repenser la relation entre représentés et représentants (Akedekon, L., 2011, p.16). C'est donc un exercice participatif et de citoyenneté d'une grande portée mais dont la mise en œuvre est contraignante. Comme le dit l'adage: « facile à dire, mais difficile à faire ». O. Victor affirme « qu'il n'y a rien de modélisable en matière de participation des habitants, car il impulse une nouvelle dynamique des moyens humains et financiers. Il s'agit avant tout d'un état d'esprit, d'une volonté, d'une nouvelle pratique civique voire d'une culture politique à inventer». Victor O., 2001). Or, les collectivités locales africaines n'ont qu'une vague idée des besoins en termes d'investissement et d'entretien au point où les succès en matière de mobilisation des ressources sont immédiatement annihilés par une explosion des charges de personnel. (Yatta F. P. 2001). La mise en œuvre du budget participatif varie fortement selon le contexte local et les avantages qu'il offre pour le développement de la cité. (Rocke A., 2015). En dehors de cette dimension spatiale, il est à souligner que ce sont des facteurs internes qui expliquent l'inefficacité de la gestion budgétaire selon Medawar (2018).

Dans la Municipalité de Parakou, à l'épreuve de la mise en œuvre du budget participatif, il existe des espoirs comblés et des attentes non satisfaites. Pire, bien des incertitudes se pointent toujours à l'horizon dans la perspective d'un développement durable local. Faire participer les acteurs devient-il une simple formalité ou une exigence notamment dans les extrêmes conditions de précarité où la participation apparaît comme une condition sine qua none de durabilité du développement?

Selon D. Lenouvel, nos instances de participation devraient avoir pour objectif d'apprendre à naviguer dans la complexité, dans l'incertitude et dans le précaire. Elles devraient viser des explorations innovantes, en tenant à distance la répétition de «recettes» qui se traduisent, en général, par d'apparentes solutions adaptatives construites sur le «toujours plus du même» (Lenouvel D., 2021, p.79). Le budget participatif tel que mis en œuvre comble-t-il les attentes de développement de la communauté dans la municipalité de Parakou? Est-elle la solution pour produire convenablement le développement local ? Quelles sont les limites à cet idéal dont rêve les communautés et qui devraient être les fondateurs de l'idéal participatif ? Comment perçoivent-ils le budget participatif et comment peut-on expliquer qu'il soit mis en œuvre sans pour autant auto-mobiliser les acteurs à ce processus ?

Face à ces interrogations, il importe de s'interroger sur la logique des acteurs. C'est pourquoi, le choix est porté sur la théorie de l'acteur et le système de Crozier M. et Freiberg. En effet, tout projet, dans un contexte de décentralisation, fait appel un certain nombre d'acteurs. Ces derniers travaillent dans une forme d'organisation sociale régie par des normes, des pratiques, et des interactions, formant ainsi ce que Crozier et Freiberg nomment « le système ». L'acteur n'existe pas au-dehors du système qui définit la liberté qui est sienne et la rationalité qu'il peut utiliser dans son action. Mais le système n'existe que par l'acteur qui seul peut le porter et lui donner vie, et qui seul peut le changer" (Crozier M. et Freiberg E., 1977 p.11). L'action collective, organisée, est un construit social. Les effets pervers ou inattendus sont dus au décalage voire l'opposition qu'il y a entre les intuitions des acteurs et l'effet d'ensemble de leurs comportements dans le temps. L'effet du système peut être que les résultats de l'action collective sont contraires aux volontés des acteurs. Dans cette dynamique, l'analyse des incertitudes qui génèrent quelques fois le recours à des normes pratiques peut permettre de comprendre le comportement des acteurs et ses enjeux pour l'atteinte des objectifs de l'organisation. Ces différentes variables sont remuées étant donné que globalement, cette recherche vise à analyser les espoirs comblés ou déçus et les incertitudes du budget participatif de la commune de Parakou. Les résultats de la recherche sont présentés suivis d'une discussion.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODE

2.1 PRÉSENTATION DU CADRE DE LA RECHERCHE

La municipalité de Parakou est dans le département du Borgou. Elle est subdivisée en trois (03) arrondissements que sont: le 1er Arrondissement, le 2ème arrondissement et le 3ème arrondissement. Parakou est une commune à statut particulier avec cinquante-huit (58) villages ou quartiers de villes selon le RGPH 4. Elle est administrée par un conseil municipal de 31 membres ayant à sa tête le Maire et est le chef-lieu du département du Borgou et, en cette qualité, abrite des directions déconcentrées des ministères sectoriels et de l'administration générale de l'Etat, et beaucoup d'agences régionales.

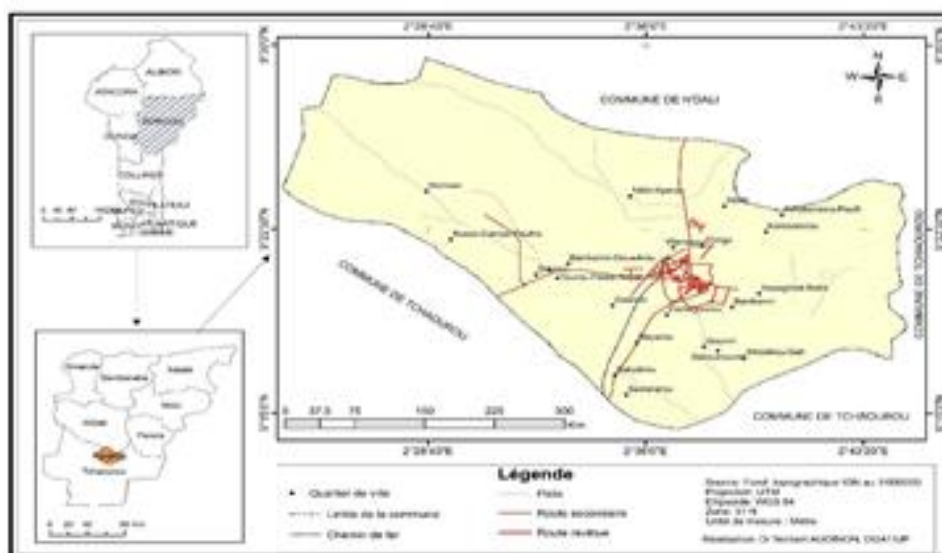


Fig. 1. Situation géographique de la commune de Parakou

Source: Cabinet PIC Sarl, 2019

Comme le montre la fig. 1., elle est située au Nord de la République du Bénin entre les parallèles 9°15' et 9°27' de latitude Nord et les méridiens 2°30' et 2°46' de longitude Est. Elle est le chef-lieu du département du Borgou et est située à 435 km de Cotonou. Elle est limitée au Nord par la commune de N'Dali, au Sud, à l'Est et à l'Ouest par la commune Tchaourou. Elle couvre une superficie de 441 Km² et représente du cout la plus petite commune du département du Borgou. Le climat de la commune est caractérisé par l'alternance d'une saison de pluies (Mai à Octobre) et d'une saison sèche (Novembre à Avril). C'est en Décembre-Janvier que l'on enregistre les températures les plus basses à Parakou. La précipitation moyenne annuelle est de 1200 mm Le maximum survient entre juillet, août et septembre. Ceci permet un bon rendement des produits qui apporte un plus-value dans le budget à partie des impôts prélevés sur ses produits dans les marchés de la commune. Selon les projections du RGPH3, sa population est estimée à 374.532 habitants.

2.2 DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE

De nature mixte, cette recherche a combiné approches quantitative et qualitative. C'est ainsi qu'un questionnaire a été utilisé pour collecter les données quantitatives et un guide d'entretien pour les données qualitatives.

Tableau 1. Répartition de la taille de l'échantillon selon les cibles

Cible	Personnes physiques résidentes	Entreprises (toutes catégories confondues)	Autres institutions (Mairie, ONG) et associations	Total
Taille	304	47	33	384
Pourcentage	79%	12%	09%	100%
Techniques d'échantillonnages	Par grappes dans les trois arrondissements de Parakou suivant les quartiers de ville	Par choix raisonné	Par choix raisonné	
Approches	Quantitative	Qualitative	Qualitative	
Outils de collecte	Questionnaire	Guide d'entretien	Guide d'entretien	

Source: Enquête de terrain 2022.

3 RÉSULTATS

3.1 LE BUDGET PARTICIPATIF, UN INSTRUMENT DE DÉMOCRATIQUE, MAIS CONTRAIGNANT DANS SA MISE EN ŒUVRE !

Depuis l'avènement du processus de la décentralisation, les budgets des communes ou municipalités sont l'émanation du Plan de Développement Municipal qui est un document quinquennal retraçant les aspirations et besoins des citoyens de la ville. La prise en compte des besoins reste partielle étant donné que même si le budget est une déclinaison annuelle du plan de développement

municipal, il n'a jamais pu faire objet de larges participations. Le Budget participatif en tant qu'instrument de prévisions des recettes et des dépenses est une manière de permettre en théorie à tous les citoyens de savoir ce qui est dans la « marmite municipale » aux fins d'exprimer leurs besoins et aspirations en vue de leur satisfaction. Idéalement, il favorise le dialogue, la mobilisation des ressources, l'efficacité des dépenses, une solidarité communautaire. C'est un instrument en principe de bonne gouvernance et de redevabilité. Il a la particularité lorsqu'elle est vraiment mise en œuvre permet de renforcer les responsabilités individuelles et collectives. Mais pour une population de plus de 300.000 habitants le budget n'a été totalement participatif. Concrètement, quels sont les acteurs intervenant dans l'élaboration du budget participatif ? Des travaux de terrain, ils sont au nombre de 10 coordonnateurs choisis pour les foras et repartis de manière suivante: trois élus locaux composés du deuxième adjoints au maire, les chefs du deuxième et du troisième arrondissements, un agent de la mairie en occurrence le C/SPPSE; deux membres de la Cellule de Participation Citoyenne en occurrence le coordonnateur et le rapporteur; trois représentants de la communauté dans les trois arrondissements que compte la commune et un sage.

En dehors des acteurs clés pré cités, la société aussi a été prise en compte dans l'élaboration du BP. L'harmonisation et le lancement du processus ont été faits en deux étapes. Une semaine avant le lancement, un travail a été fait avec le service planification pour harmoniser l'activité. Le nombre des invités à avoir par forums, le chronogramme et les outils à administrer au cours du processus ont été précisés. Le jour du lancement, les autorités, OSC, cadres et populations ont été conviés et le chronogramme a été présenté avec les acteurs à impliquer pour chaque forum.

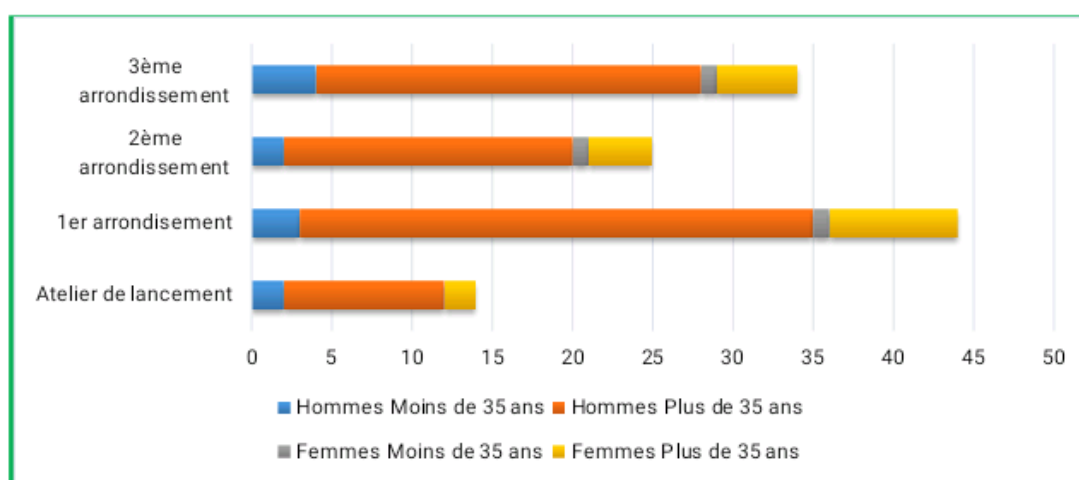


Fig. 2. Statistique genre participant à l'élaboration du budget participatif

Source: Enquête du terrain, avril 2022

La fig. 2. montre les statistiques genres des participants à l'élaboration du budget participatif. 17 des deux sexes ayants moins de 35 ans et 119 des deux sexes ayants plus de 35 ans ont pris part à l'élaboration de ce budget. Selon nos investigations, cette catégorie a été prise en compte afin d'avoir leur avis et d'être le porte-parole de ce type de budget auprès de la population. Malgré les avantages qu'offre le budget participatif, il émet des limites. Est-ce que ces acteurs arrivent à combler vos attentes en matière du budget participatif ? Pour cette question échelle, nous avons procédé à un codage selon lequel la variable est traitée comme étant numérique. **Concrètement, les répondants en opérant un choix parmi ces modalités attribuent du coup une réponse de oui ou non à la question. Sur l'ensemble de la population mère, 70% ont répondu non et les 23% autres ont répondu oui et 7% sont sans repose.**

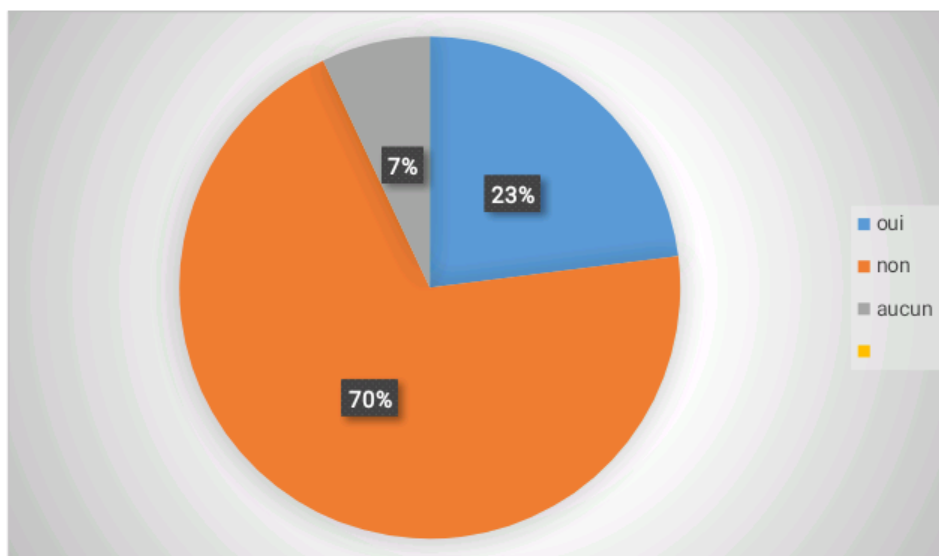


Fig. 3. L'attente des populations par rapport aux acteurs qui interviennent dans l'élaboration du budget participatif.

Source: enquête du terrain, avril 2022

Savez-vous que tout le monde peut contribuer à l'élaboration du budget participatif de sa commune ?

A cette question, plusieurs des enquêtés ont répondu oui et exigent même que ce genre de budget regroupent l'ensemble de la population. Un parent affirme que le jour où il aura l'opportunité de participer réellement à ce type de budget "je vais tout dire sur la mauvaise gestion de la commune" un autre dit que "les dirigeants nous laissent dans la prise des décisions". Ces réponses servies par ces populations viennent confirmer la question sur l'attente des populations en ce qui concerne le budget participatif. Les budgets font l'effort d'être participatifs mais n'arrivent pas à mobiliser l'ensemble de la population. A la question d'identifier les avantages du budget participatif dans la commune de Parakou, plusieurs interlocuteurs ont laissé des propos tel que: « Budget participatif !!! » s'exclame Monsieur M.O avant de continuer « il n'aura pas un changement pour la mise en application de ce type de budget tant que les autorités ne vont toujours pas considérer la population à la base ». Un autre affirme: « (...) Nous ne sommes pas satisfaits des prestations de nos administrés. Car cela ne va rien changer dans notre quotidien (...) ». « Groupe sociolinguistique » et celle « appréciation de la cohésion sociale » dans la ville de Parakou. Comme le souligne les propos de ces enquêtés, les budgets dits participatifs ne sont que souvent l'émanation d'un processus démocratique représentatif qui mobilise les représentants de la communauté que sont les élus municipaux, quelques élus locaux et quelques personnes ressources venant des organisations de la société civile. On peut donc comprendre qu'il y ait des contestations ou des réticences. Une certitude, la logique du budget participatif à travers ses projets a permis de mobiliser concrètement des projets dans les communautés même si c'est par le processus démocratique représentatif. Sur la base de ce mécanisme que chaque arrondissement a identifié ses priorités. Ce mécanisme a permis d'avoir un plan d'actions par arrondissement et qui ne priorise qu'en fonction des ressources disponibles alors que tout le monde veut être en même temps pris en charge. La stratégie de mobilisation et le pourcentage de contribution éventuelle est de 10% dans le premier arrondissement, 05% dans le deuxième arrondissement et 10% dans le troisième arrondissement. Malgré cette volonté des autorités de faire bien, ils n'arrivent pas à atteindre leur objectif en matière du budget participatif. Selon nos investigations, près de 86% de la population non toujours pas connaissance des enjeux du budget participatif dans la commune de Parakou. Cette situation est due au manque de communication, manquée de contraire dans l'application des actions de la part des autorités ont-ils affirmé les faiseurs d'opinions enquêtés.

3.2 GOUVERNANCE DU MÉCANISME DU BUDGET PARTICIPATIF ET LIMITES

Le budget participatif met en relation les acteurs locaux de gouvernance locale dans une perspective de représentativité. Il est sous le pilotage d'un composé d'un président qui est le maire, d'un rapporteur qui est le secrétaire général adjoint de la mairie et de sept (07) autres membres constitués des trois (03) d'arrondissements, de C/ SAF, du DST, de la C/ SAIC et du coordonnateur CPC Parakou. Sous ce comité se déroulent les foras d'arrondissement et celui de la Commune.

Le forum la Commune. roulent le forum d'ive de représentativité. forum participatif en identint les élus municapaux, quelques éld'arrondissement est constitué de diagnostic présentant les résultats du forum des trois arrondissements, les priorités par arrondissement et la liste des délégués pour le forum communal.

Le forum communal se déroule en présence de tous les délégués d'arrondissement, les cadres de la mairie, des Chefs d'Arrondissements et des OSC. L'assistance a eu droit à une restitution des données collectées sur le terrain avec des commentaires et observations sur les acteurs, les activités économiques des communautés et les stratégies de mobilisation des ressources devant accompagner la réalisation des projets. Sur les trois arrondissements, deux ont opté pour 10% de contribution et le 2ème a opté pour 5%. Pour les priorités de la commune, les autorités communales ont privilégié l'option gagnant – gagnant. Du coup, chaque arrondissement aura un projet. Il s'agira, selon les propos du maire de la commune, de remettre les données aux cadres de la mairie qui intégreront les priorités dans le budget. Ces derniers budgétiseront de nature à prendre en compte au moins une des priorités de chaque arrondissement. Aussi, certains besoins pourraient être choisis au niveau même des quartiers pour les cas préoccupants.

Le comité de suivi des projets du BP de la commune est composé de 11 membres selon la structuration suivante: trois élus communaux (2ème adjoint au maire, 2ème 3ème CA), un agent de la mairie (C/ SPPÉSE), deux membres de la CPC (le coordonnateur et son rapporteur), trois représentants de la communauté désignés dans chacun des arrondissements) et un sage.

La signature du contrat social a mis fin au processus du BP dans la commune de Parakou. Son but est d'amener non seulement les autorités communales à formaliser le processus du BP mais aussi les communautés à respecter les engagements pris dans le but d'accompagner la réalisation des projets. Ainsi, le projet de contrat social élaboré par Social Watch Bénin et relu par les autorités de la mairie a été signé par le maire et le coordonnateur de la CPC.

Malgré les précautions prises pour renforcer la participation du budget, quelques limites sont notées. Il s'agit de:

- Limite liée à la communication au sein de l'administration

Le problème de la communication est celui mettant en lien les différents services de la mairie, principal acteur du budget de la ville. Le budget participatif étant à priori transversal, il implique plusieurs, si non tous les services de la mairie. Notre stage académique à la DPPDRE aux: Service d'Appui aux Initiatives Communautaires (SAIC) et Service de Prospective, de la Planification des Etudes et du Suivi Evaluation (SPPÉSE) nous a permis d'observer la dynamique communicationnelle entre les différents services. Ce stage nous a également permis de participer à des ateliers, réunions et autres avec les acteurs (associations, ONG, etc...). Il ressort de nos observations que la communication interne entre les acteurs souffre d'importantes difficultés. D'abord entre chefs services, il existe une attitude de méfiance et de renfermement sur soi. Souvent, des divergences de bords politiques en sont les facteurs explicatifs. Chaque service apparait comme un patrimoine privé aux yeux du Chef service qu'il faut défendre avec rigueur. Il prévaut un environnement de renfermement sur soi au lieu d'un travail d'équipe et il y règne une attitude de « et si chacun s'occupe de son travail, n'aurons-nous pas un bon rendement ? » déclare un agent.

- Un second niveau de la communication

Le second niveau de communication est celui mettant en lien l'organe communal et les autres parties prenantes. Il faut dire ici que la communication entre les parties s'articule autour de l'élaboration, la mise en œuvre, le suivi et évaluation des projets ou programmes ayant une valeur ajoutée pour le développement de la commune en général mais aussi souvent pour son autonomisation en terme du budget participatif. La période dont nous disposons pour la réalisation de ce mémoire, ne permet pas d'investiguer le jeu des acteurs autour de toutes les politiques ou stratégies de valorisation ou de promotion du budget participatif à Parakou. Cependant nous avons assisté à plusieurs réunions entres acteurs qui sont assez évocatrices.

Lors d'une séance d'échange avec les tisserandes sur les dispositions à prendre pour la récupération des matériels et équipements de tissage filature bloqués à la douane de Sonaholou/Bénin qui s'est tenue dans la maison de la culture et du tourisme de Parakou le mardi, 26 avril 2022, nous avons effectué une observation participante en étant désigné comme rapporteur de la séance. Pendant ladite séance, on pouvait noter des controverses qui traduisent la poursuite d'objectifs.

«Je pense qu'il faut faire appel aux autorités communales pour nous aider à régler le problème».

Une autre s'oppose: « non, il faut qu'on cotise entre nous d'abord »

« Moi je ne suis pas d'accord qu'on écarte ces autorités, si non, nous allons rencontrer beaucoup de difficultés lors de la réalisation de notre projet.»

Nous avons reçu pour ordre de ne pas faire cas de certaines observations dans le rapport tel que s'était déroulée la séance.

Dans le domaine de l'environnement, l'insalubrité de la ville est décrite par les enquêtés. Mais là également, se joue entre les acteurs, des jeux qui ne sont pas sans effet sur les politiques environnementales de la ville. Un membre de la société civile s'exprime:

« Les sous collectés chez les populations ne servent pas dans la viabilisation de l'environnement de la ville de Parakou. (...) »

- Autres limites du budget participatif liées à la population et acteurs politiques

Bien que toute bonne œuvre a toujours été confrontée à la réalité du terrain, le budget participatif émet les limites suivantes:

- Le non paiement des impôts des populations;
- L'analphabétisme des populations;
- Le manque de communication au tour du budget participatif;
- La perte de confiance des administrés vis-à-vis de l'administration;
- Le risque d'un sentiment d'exclusion ou d'une attente impatiente dans le cadre des actions pilotes ou de la priorisation des besoins par localité;
- Le choix de thématique prédéfinie par les décideurs limite la liberté ou la marge de manœuvre des populations. Le Processus d'arbitrage rugueux risque d'engendrer des conflits.

4 DISCUSSIONS

Le dispositif participatif du budget dans la municipalité de Parakou vient apporter une réponse au déficit de participation dans le processus de décentralisation dans la Commune de Parakou. En effet, dans ce processus, tout ce qui se fait sans peuple est comme contre le peuple. Mais le défi participatif n'est pas encore entièrement relevé. On a l'impression d'être dans processus partiel de participation qui mobilise les représentants au lieu de prendre en compte l'ensemble des acteurs de la population dans une perspective de citoyenneté financière globale. Le contexte de la municipalité de Parakou est un contexte de budget participatif partiel et non global. C'est une logique participative annonciatrice d'espoirs mais avec des incertitudes qui responsabilise pas encore durablement les communautés. Elle ne participe pas encore d'une démocratie budgétaire durable. D. Lenouvel arrive à la même lorsqu'il appelle en urgence à un basculement d'une logique de participation à une véritable démocratie contributive. (D. Lenouvel, 2021, p.79). La démocratie représentative reste de mise dans le cadre de la contextualisation du budget participatif à Parakou et quasiment dans toutes les communes du Bénin. Le simple budget participatif doit aller vers une démocratie budgétaire qui responsabilise intimement les acteurs. Dans le contexte parakois, le jeu des acteurs est fait de délégation, de représentation. Or, il devrait s'agir avant tout selon O. Victor d'un état d'esprit, d'une volonté, d'une nouvelle pratique civique voire d'une culture politique à inventer». (Victor O., 2001). Surtout que l'on sait que nos instances de participation devraient avoir pour objectif d'apprendre à naviguer dans la complexité, dans l'incertitude et dans le précaire. Elles devraient viser des explorations innovantes, en tenant à distance la répétition de «recettes» qui se traduisent, en général, par d'apparentes solutions adaptatives construites sur le «toujours plus du même» (Lenouvel D., 2021, p.79). La solution du budget participatif telle que mise en œuvre n'est pas encore profonde. Elle est encore partielle. Elle doit devenir un processus innovant qui amène à repenser la relation entre représentés et représentants (Akedekon, L., 2011, p.16). La présente recherche a eu le mérite d'analyser l'expérience en cours du budget participatif dans les Communes du Bénin notamment dans la Commune de Parakou. Les questions de mobilisation des ressources financières restent de grands défis à relever dans les collectivités face à un contexte de raréfaction des ressources, de faibles transferts des ressources face aux grands enjeux, de faible pouvoir d'achats des communautés sur qui l'on peut compter pour mobiliser la force productive du développement local. Si ceux qui doivent constituer cette ressource à mobiliser sont eux-mêmes fragiles, le vœu d'une citoyenne budgétaire demeure tout un chantier à bâtir. Un chantier difficile, mais logique si l'on veut que la décentralisation s'épanouisse dans le contexte béninois.

5 CONCLUSION

Le budget participatif est une expérience en cours dans plusieurs communes du Bénin. Mais ce processus n'est pas total et mérite d'être renforcé aux fins d'une démocratie budgétaire responsabilisant. Le jeu des acteurs dans la présente recherche est fait de relations entre mandants et mandataires. Une relation dont la légitimité mérite d'être renforcée pour sortir davantage le processus de décentralisation en cours dans les collectivités territoriales des incertitudes. Il faut donc innover pour ne pas dénaturer le budget participatif de son originalité. Le budget participatif est un état d'esprit que la simple participation ou de simples mécanismes participatifs ne sauraient forger. Les limites du budget participatif ici décrites montrent que la participation apparait comme de simples formalités dans le processus alors qu'elles devraient en être la substance moelle voire consubstantielle à tout le processus budgétaire pour en assurer une certaine performance et assurer une bonne gouvernance locale. Les élus doivent alors accepter céder une part de leur souveraineté et favoriser le grand débat budgétaire au sein de la communauté. Les ressources pour y arriver sont complexes notamment dans des communautés de forte démographie, mais il faudra innover dans une bonne perspective d'inclusion globale et non de sélection. Le cas de la municipalité de Parakou ici étudié n'est que la partie visible de l'iceberg.

REFERENCES

- [1] Achour Ali, Sandrine B. et Zounon Michel, Évaluation des finances publiques selon la méthodologie PEFA (Public Expenditure and Financial Accountability). 2007.
- [2] Arnaud Crépin, Audit de la gestion des ressources du fonds d'appui au développement des communes (FADeC), 2016.
- [3] Antoine Justin, Le guide pratique du budget participatif, juin 2020.
- [4] CitizenLab SA_ Boulevard Anspach, Introduction au budget participatif, publié par 6 5, 1000 Bruxelles, Belgique–BE 0638.901.287.
- [5] Damey Ludivine Denise L. B. Denis, D. Duez, Savoirs experts et profanes dans la construction des problèmes publics, Bruxelles, Publications des facultés Universitaires, 2011.
- [6] Donay Nicolas, Net com. Réseau, communication et territoires, 249-280, 2016.
- [7] Anne Floquet, Mongbo Rock. Cotonou, Le Suivi d'Impact Local Participatif (SILP), 2006.
- [8] Guillaume Petit (CESSP, Paris 1), Thèse de doctorat sur «la participation du public et la démocratie participative»13-14 novembre 2015 - Université de Lille 2, 2015.
- [9] Lang Elier, Simon, La communauté politique et le budget participatif de Porto Alegre, Thèse. Montréal (Québec, Canada), Université du Québec à Montréal, Doctorat en études urbaines, 2013.
- [10] Lenouvel Damien, 2021, «Des limites de la participation instituée à l'émergence de nouveaux cadres de relations politiques», Cahiers de l'action, Institut national de la jeunesse et de l'éducation populaire, 2021/1 N° 57 | p.p 71 à 79.
<https://www.cairn.info/revue-cahiers-de-l-action-2021-1-page-71.htm>, DOI 10.3917/cact.057.0071, consulté le 30 novembre 2022 à 12h14.
- [11] Querrien Anne: Désirs de ville en débats: le « budget participatif » à Porto Alegre.

Risque et demande d'assurance par les hôtels à Goma

[Risk and demand for insurance by hotels in Goma]

Jean Paul Habinamwisho Lusheke¹, Paul Senzira Nahayo², and Emmanuel Hamuli Mpangirwa³

¹Institut Supérieur Pédagogique de Kalehe, RD Congo

²Université de Goma, RD Congo

³Université Catholique la Sapiencia de Goma, RD Congo

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

ABSTRACT: The aim of this article is to identify the link between business risks and the demand for insurance by hotel SMEs in the city of Goma. It follows a quantitative investigative approach since it aims to analyze the main risks to which hotels are exposed and to understand their insurance behavior. The results from the logistic regression analyses show that the level of risk has a positive and significant effect on hotels' demand for insurance in Goma. However, it turned out that the development of risk management practices positively and significantly moderates the relationship between risk and hotels' demand for insurance in Goma, to the point where the improvement of risk management practices inevitably leads to a decrease in demand for insurance. Thus, hotels can implement preventive measures and appropriate emergency plans, thereby improving the safety of guests and staff. Moreover, a better understanding of risks enables hotels to strengthen their operational management, protect their reputation, and optimize their financial performance.

KEYWORDS: risk, insurance, financial performance, hotel.

RESUME: L'objectif de cet article consiste à dégager le lien entre les risques d'entreprise et la demande d'assurance par PME hôtelières de la ville de Goma. Il suit une approche quantitative d'investigation du fait qu'il vise à analyser les principaux risques auxquels les hôtels sont exposés et à comprendre leur comportement en matière d'assurance. Les résultats ressortis des analyses de régression logistique montrent que le niveau du risque a un effet positif et significatif sur la demande d'une assurance par les hôtels à Goma.

Toutefois, il s'est avéré que le développement des pratiques de gestion de risque modère positivement et significativement la relation entre la relation entre le risque et la demande d'assurance des hôtels à Goma, au point où l'amélioration des pratiques de gestion de risques mène inévitablement à la diminution de la demande d'assurance.

Ainsi, les hôtels peuvent mettre en œuvre des mesures préventives et des plans d'urgence adaptés, améliorant ainsi la sécurité des clients et du personnel. De plus, une meilleure compréhension des risques permet aux hôtels de renforcer leur gestion des opérations, de protéger leur réputation et d'optimiser leurs performances financières.

MOTS-CLEFS: risque, assurance, performance financière, hôtel.

1 INTRODUCTION

Les PME jouent un rôle essentiel dans le développement économique mondial. Dans de nombreux pays, elles représentent une part importante du produit intérieur brut (PIB) et constituent le pilier du tissu économique local (Ayyagari, et al., 2011).

Ces entreprises créent des emplois, soutiennent l'innovation et favorisent la compétitivité au sein de l'économie (Kawu et Agboneni, 2017).

En République Démocratique du Congo, elles jouent un rôle déterminant, aussi bien pour la croissance économique que pour l'équilibre social (Havuma, 2021). Selon la Charte MPEA/MPME (2009), les MPME congolaises sont à la racine de l'innovation, de la création de richesses et de l'emploi, et donc de l'intégration sociale. Elles génèrent presque un Tiers des opportunités d'emploi (Charte de la MPMEA, 2009). Malgré leur contribution significative, les PME sont exposées à une multitude de risques qui peuvent compromettre leur performance et leur croissance (Cummins, 2009). Tout comme les entreprises diffèrent sur bien des points, les risques d'entreprise varient aussi d'une entreprise à une autre. Ainsi, cette étude sera orientée spécialement vers les Petites et Moyennes Entreprises hôtelières.

En effet, l'industrie hôtelière est un secteur dynamique et compétitif, caractérisé par des défis uniques en matière de gestion des risques. Les hôtels sont exposés à des risques opérationnels, tels que les problèmes de maintenance des infrastructures, les litiges avec les clients, les pertes d'exploitation liées à des catastrophes naturelles et les problèmes de sécurité (Deloitte, 2019). Ces risques peuvent entraîner des pertes financières importantes, nuire à la réputation de l'hôtel et avoir un impact négatif sur la satisfaction des clients et la fidélité à la marque (Barthelemy, 2002).

A Goma, certains hôtels atteignent le seuil de fermeture sans pour autant fusionner ou se reconstituer. Ce phénomène négatif est dû pour la plupart de ces hôtels par une mauvaise gestion et plus particulièrement une mauvaise gestion des risques d'entreprise. Par conséquent, plusieurs clients continuent à se plaindre que plusieurs hôtels ne sont pas vraiment sécurisés et qu'on n'est pas sûr de recevoir réparation en cas des pertes de biens ou d'atteinte à la responsabilité civile dans ce contexte d'insécurité que vit la ville de Goma.

Les hôtels sont également confrontés à des risques financiers, en particulier dans un environnement économique en constante évolution. Les variations des taux de change, les fluctuations des prix des matières premières et les crises économiques peuvent affecter la rentabilité et la viabilité des hôtels. De plus, les hôtels peuvent être confrontés à des risques spécifiques liés à leur emplacement géographique, tels que les risques liés aux conditions météorologiques, aux catastrophes naturelles et aux événements géopolitiques (Sbiti et Attabu, 2016).

Pour faire face à ces risques, les hôtels ont recours parfois à des solutions d'assurance. Il sied de comprendre que la demande d'assurance par les hôtels est étroitement liée à leur perception des risques et à leur capacité à atténuer les conséquences financières des événements imprévus. Ils cherchent à se protéger contre les risques potentiels en souscrivant des polices d'assurance adaptées à leurs besoins spécifiques (Carey et Turnbull, 2002).

Cependant, les hôtels doivent également prendre en compte les coûts associés à l'assurance et évaluer si les primes versées sont justifiées par les avantages de la couverture (Cheng et al., 2018). Par conséquent, la demande d'assurance des hôtels est influencée par des facteurs tels que la taille de l'établissement, le type d'hôtel, l'emplacement géographique, le niveau de risque perçu et les exigences réglementaires (Kim et Pizzuto, 2019).

De plus, l'évolution du marché de l'assurance et les nouvelles tendances en matière de risques peuvent également influencer la demande d'assurance des hôtels. Selon Hassid (2008) la montée en puissance de nouvelles technologies telles que l'intelligence artificielle, la robotique et l'Internet des objets peut créer de nouveaux risques et des opportunités pour les hôtels en matière de police d'assurance.

Malheureusement, malgré la réforme du secteur des assurances congolaises déclenchée par le code d'assurances adopté en 2015, le secteur d'assurance demeure, un secteur assujéti à des multiples difficultés qui entravent son développement. Ces difficultés sont surtout d'ordre politico-sécuritaire, réglementaire, légal, culturel et socio-économique. Il s'agit notamment du retard dans la mise en place effective de l'autorité de régulation et de contrôle, l'instabilité politique provoquant la réticence de la clientèle perplexe face au lendemain moins rassurant, le faible niveau du pouvoir d'achat, etc. (Luzolo, 2021). Selon ELAN (2021) cette situation crée une forme de résistance dans les chefs des PME de recourir aux à la demande d'assurance pour gérer leurs risques d'entreprise.

Bien qu'il existe de nombreuses études sur la demande d'assurance et l'établissement d'un lien entre le risque et la demande d'assurance, ce mémoire s'arrête spécifiquement sur l'analyse du lien entre l'exposition au risque et la demande d'assurance. Il se propose de tester la relation entre les risques d'entreprise et la demande d'assurance par les Hôtels à Goma. En RDC, il n'existe pas encore d'études dans ce domaine, et singulièrement dans l'industrie hôtelière, en ce qui concerne ledit lien.

Ce présent travail tente ici de combler ce vide, et s'appuie sur les questions constituant le fil conducteur à cette étude énoncées comme suit: **Existe-t-il un lien entre l'exposition au risque et demande d'assurance des PME hôtelières à Goma ?**

La gestion de risque modère-t-elle la relation entre le niveau des risques d'entreprise et la demande d'assurance des hôtels à Goma ?

Eu égard à notre problématique ce papier subodore que les risques d'entreprise exerce un effet positif et significatif sur la demande d'assurance dans le contexte des hôtels à Goma d'une part et que les pratiques de gestion de risque modèrent positivement et significativement la relation entre le niveau des risques d'entreprise et la demande d'assurance par les hôtels à Goma d'autre part.

2 REVUE DE LA LITTÉRATURE

Cette revue porte à la fois sur les concepts du Risque, de l'Assurance et de la relation entre les deux concepts. Toutefois, la gestion des risques ainsi que sa mesure est une activité d'une grande complexité car chaque entreprise – en fonction notamment de ses objectifs personnels, de ses caractéristiques et de sa performance visée – possède sa propre manière d'appréhender, d'évaluer et de gérer le risque (Borraz, 2008). L'assurance est un des moyens de gestion du risque (Dubois, 2002). Malgré que la littérature montre que l'assurance est une traduction du risque, plusieurs raisons peuvent aussi motiver les gestionnaires des entreprises à souscrire à des polices d'assurances telles que la taille de l'entreprise, la notoriété, la diversification des activités, le revenu, la richesse, les contraintes réglementaires, et les caractéristiques démographiques, etc (Benier, 2017). Cette section tente d'esquisser les contours de la relation entre les deux variables.

En effet, les assurances et les risques sont étroitement liés. En premier lieu, parce que la notion de risque et de sinistre est essentielle à la création des assurances (Dubois-Maury, 2002). Ensuite, les risques ont été appréhendés très tôt sous forme d'assurance (Arrow, 1965). Malgré cette association étroite, différentes communautés scientifiques ont adopté ces deux idées et ont créé leur propre littérature et idées. D'un côté, la science actuarielle qui examine les aspects économiques et financiers des risques (Wagner, 2022). D'un autre côté, ce qu'on pourrait appeler « la cindynique », sont les sciences environnementales, de l'ingénierie et sociales qui s'intéressent principalement aux aspects environnementaux, techniques et sociaux du risque et du danger (Officiel Prévention, 2021). Les régimes d'action auxquels appartiennent ces deux notions changent en réponse aux nouvelles formes que prennent actuellement les risques, en particulier ceux liés aux biotechnologies.

C'est ainsi que, Hopkins (2017) offre une vue d'ensemble complète de la gestion des risques dans divers contextes, y compris les risques opérationnels. L'auteur explore les différentes dimensions des risques opérationnels, en mettant l'accent sur la manière dont ils peuvent affecter les activités quotidiennes des entreprises. Ensuite, il examine les méthodes et les outils utilisés pour identifier, évaluer et gérer les risques opérationnels, y compris les techniques de cartographie des risques, les indicateurs de performance clés (KPI) et les audits internes. Enfin, met également en lumière l'importance de la culture organisationnelle et du leadership dans la gestion efficace des risques opérationnels, ainsi que les meilleures pratiques pour intégrer la gestion des risques dans la gouvernance d'entreprise.

Dans une perspective complémentaire, Beasley et al. (2015) examinent des risques d'entreprise (ERM) dans le contexte plus large de la stratégie et de la performance organisationnelle. Les auteurs mettent en évidence l'importance pour les entreprises de prendre une approche holistique de la gestion des risques, en intégrant la gestion des risques opérationnels avec d'autres types de risques, tels que les risques financiers et stratégiques. Ils fournissent des conseils pratiques sur la manière d'intégrer la gestion des risques opérationnels dans le processus de prise de décision stratégique de l'entreprise, en mettant l'accent sur l'identification des risques clés, la mise en œuvre de contrôles internes efficaces et la surveillance continue des risques.

Jorion (2007) propose le concept « Value at Risk » (VaR); un indicateur qui est devenu un outil essentiel pour mesurer et gérer les risques financiers dans les institutions financières. Il passe en revue les différentes approches de calcul de la VaR, y compris les méthodes paramétriques, historiques et de simulation Monte Carlo. Dans l'épilogue de sa rédaction, il discute également des limites et des critiques de la VaR, notamment son incapacité à capturer les événements extrêmes ou les risques de queue de distribution.

Hull (2012) fournit un aperçu global de la gestion des risques dans les institutions financières, en mettant l'accent sur les banques et les marchés financiers. Il ajoute à l'approche VaR le stress testing, ainsi que les instruments financiers dérivés et les stratégies de couverture. Il étudie également les risques spécifiques aux institutions financières, tels que les risques de crédit, de marché, de liquidité et opérationnels, et discute des pratiques de gestion des risques dans ce contexte.

Cependant, Kaplan et Mikes (2012) remettent en question l'efficacité des méthodes traditionnelles de gestion des risques, telles que les matrices de risques et les tableaux de bord, pour identifier et gérer les risques stratégiques. Ils soutiennent que ces approches ne capturent souvent pas les risques les plus importants pour la stratégie de l'entreprise. En effet, mettent en lumière le concept de "risques invisibles", qui sont des risques stratégiques difficiles à quantifier ou à mesurer à l'aide des

méthodes conventionnelles. Ces risques peuvent inclure des facteurs externes tels que les changements réglementaires, les évolutions technologiques ou les disruptions du marché. Les auteurs soulignent l'importance pour les entreprises de développer une réflexion stratégique approfondie pour identifier les risques qui pourraient affecter leur capacité à atteindre leurs objectifs stratégiques à long terme. Cela implique une compréhension claire des facteurs internes et externes qui façonnent l'environnement concurrentiel de l'entreprise. Ils préconisent, enfin, une approche intégrée de la gestion des risques et de la stratégie, dans laquelle la gestion des risques est étroitement alignée avec les objectifs stratégiques de l'entreprise. Ils encouragent un comportement d'aversion aux risques à gravité et probabilité moyenne et recommandent une communication et une collaboration efficaces entre les équipes de gestion des risques et les décideurs stratégiques.

Cherchant à analyser le concept de risque dans les hôtels, plusieurs auteurs nous fournissent une littérature empirique riche que variée.

Nykiel (2005) analyse la gestion des risques dans le secteur de l'hospitalité, en mettant l'accent sur les pratiques spécifiques aux hôtels. Il parcourt les risques liés à divers aspects de l'exploitation hôtelière, tels que la sécurité des clients, la gestion des catastrophes naturelles et les questions juridiques. L'auteur propose des stratégies pratiques pour identifier, évaluer et atténuer ces risques tels que la matrice des risques, offrant aux gestionnaires hôteliers des outils pour maintenir un environnement sûr et sécurisé pour les clients et le personnel.

Tai Ming Wut et al. (2021) ont analysé la gestion des catastrophes et la gestion du risque dans les organisations de l'hôtellerie et du tourisme en contexte de COVID-19. Pour comprendre comment les pratiques de gestion des crises ont été adoptées dans l'industrie, les auteurs ont examiné 512 articles, dont 79 articles sur le COVID-19, couvrant 36 ans, entre 1985 et 2020. Les résultats ont montré que l'accent de la recherche sur la gestion des crises, l'impact de la crise et la reprise, ainsi que la gestion du risque, la perception des risques et la gestion de la catastrophe dominaient la recherche de gestion de crise. Pour gérer les risques liés à la crise le modèle TCM (théorie-contexte-méthode) a été suggérés: les théories de la prévention et de la préparation aux crises, la communication des risques, l'éducation et la formation en gestion de crise, les évaluations de risque et les événements de crise dans le contexte du COVID-19, la confidentialité des données dans l'hôtellerie et le tourisme, les événements de crises liés à la politique, les médias numériques et les méthodes et approches analytiques alternatives.

Popov (2021) insiste sur les risques professionnels dans les hôtels. Il démontre que ces risques ne sont pas une fatalité et que certaines mesures de prévention permettent de protéger la santé et la sécurité des travailleurs. Il renchérit en démontrant que la prévention des risques professionnels est un levier efficace pour améliorer les performances des établissements. Il exhorte les entreprises hôtelières d'élaborer journalièrement un plan d'action spécifique de gestion des risques et d'établir et tenir à jour le document unique d'évaluation des risques (DUER) et de remplir ainsi vos obligations légales (Popov, 2021).

Pour ce qui est de la relation entre le risque et la demande d'assurance, Ulrich Beck (2001) voulant étudier les caractéristiques d'une « société assurantielle » et d'une « société du risque », a démontré que le risque, étroitement lié aux choix et aux actions des individus, est fondamental pour les compagnies d'assurance. Leur objectif principal est de protéger contre les conséquences néfastes (assurance dommages) et, le cas échéant, de compenser les préjudices infligés à autrui en raison de la responsabilité de l'assuré (assurance responsabilité civile) (Beck, 2001).

Une autre dimension importante de la relation entre le risque et la demande d'assurance concerne les effets de la perception du risque sur le comportement d'assurance. Les études empiriques ont examiné comment la perception du risque influence la propension des individus et des entreprises à souscrire à une assurance, ainsi que les implications de cette perception sur le marché de l'assurance.

Une étude de Dionne et al. (2016) a examiné l'effet de la perception du risque sur la demande d'assurance des entreprises face au risque de catastrophes naturelles. Les résultats ont montré que les entreprises sont plus enclines à souscrire à une assurance lorsque leur exposition au risque est plus élevée, mais que leur décision est également influencée par des facteurs tels que la disponibilité de mécanismes de gestion des risques alternatifs et les coûts de l'assurance.

Cependant, d'autres études ont suggéré que l'assurance peut également jouer un rôle positif dans la gestion du risque en fournissant une incitation financière aux individus et aux entreprises pour prendre des mesures de prévention (Cummins & Mahul, 2009). Par exemple, une étude de Clarke et al. (2018) a montré que les primes d'assurance indexées sur le comportement de prévention peuvent encourager les agriculteurs à adopter des pratiques agricoles plus durables pour réduire les risques liés aux aléas climatiques.

De plus, les recherches ont également examiné l'impact des caractéristiques démographiques sur la perception du risque et la demande d'assurance. Par exemple, une étude de Biener et al. (2017) a montré que les femmes ont tendance à avoir une perception du risque plus élevée que les hommes et sont donc plus enclines à souscrire à une assurance. De même, des

recherches ont montré que les individus plus âgés ont tendance à être plus avertis au risque et sont donc plus susceptibles de souscrire à une assurance (Lusardi & Mitchell, 2007).

Dans cette perspective, une relation étroite entre risques et assurances se forme. Cette connexion découle de l'anxiété suscitée par les risques et du désir de sécurité qu'offre l'assurance. Il est évident que l'une des raisons principales pour souscrire à une assurance est la peur de subir un événement aléatoire contre lequel on cherche à se prémunir. Plus un individu redoute un événement, plus il est disposé à payer pour une assurance. En répondant à un besoin essentiel de sécurité dans la société, les assurances offrent une protection contre les risques. Dans une société technologique et industrielle, la réticence face aux risques s'accompagne d'une tendance croissante à renforcer la protection offerte par les assurances.

Cependant, il serait injuste de ne considérer que la peur ou le désir de confort de l'individu. De nombreuses obligations légales contraignent chaque citoyen à souscrire à une assurance contre divers risques, qu'il le veuille ou non, ce qui accroît considérablement la dépendance vis-à-vis des assurances. Par exemple, l'assurance incendie, l'assurance habitation, la responsabilité civile, et bien d'autres sont imposées par la loi. En somme, le système d'assurance actuel, qu'il soit obligatoire ou facultatif, peut être vu comme une réponse compensatoire aux divers risques. Ainsi, l'assurance peut être interprétée comme une forme de traduction des manifestations du risque.

3 METHODOLOGIE

Cette étude portant sur le risque et la demande d'assurance par les PME hôtelières est principalement de nature analytique. Elle suit une approche quantitative d'investigation du fait qu'elle vise à analyser les principaux risques auxquels les hôtels sont exposés et à comprendre leur comportement en matière d'assurance. Elle est du type descriptif-corrélatoire (Nda, 2019) car elle consistera à décrire comment les variables (risque et demande d'assurance) interagissent, comment ils peuvent être associés et leur relation est positive et significative.

La population d'étude est constituée des établissements hôteliers de la ville de Goma. Une attention particulière sera portée sur les hôtels homologués, les hôtels non classés et les centres d'accueil. Ainsi notre population cible est de 100 individus, dont 1 hôtel homologué cinq étoiles, 1 classé quatre étoiles, 4 avec trois étoiles, 8 à deux étoiles, 13 hôtels avec une étoile, 57 avec zéro étoile, 10 non classés et 6 centres d'accueil.

Après avoir utilisé la formule de Cochran (1977), la taille de l'échantillon était de 80 hôtels. Sur 80 hôtels et centres d'accueil visités, 73 ont répondu favorablement à cette enquête, soit un taux de réponse de 91,25%. Certains établissements de l'industrie hôtelière n'ont pas répondu à nos protocoles d'enquête faute du temps d'une part et d'autre part parce que d'autres sont soit en cessation d'activité soit occupé par les militaires.

Pour analyser le lien qui existent entre les risques d'entreprise et la demande d'assurance et évaluer le rôle des différentes pratiques de la gestion de risque en tant que modérateur dans la relation entre le niveau de risques d'entreprise et la demande d'assurance, le modèle logistique a été appliqué. Ce modèle a la forme suivante:

$$ASSURANCE = \beta_0 + \beta_1 RISQUE + \beta_2 GR + \beta_3 ANCIENETE + \beta_4 TAILLE + \beta_5 COMMUNE + \varepsilon_i$$

Avec;

- ASSURANCE: Demande d'assurance
- RISQUE: Risques d'entreprise
- GR: Gestion des risques
- ANCIENETE: Ancienneté de l'hôtel
- TAILLE: Taille de l'hôtel
- COMMUNE: Localisation communale de l'hôtel.

Les analyses des données approfondies (les modèles des équations structurelles et le modèle Logit) ont été facilité par les logiciels LISREL 8.80 (STUDENT EDITION) et STATA 17.0. Ainsi, le traitement des données et l'interprétation des résultats seront effectués sur base de 73 individus qui constituent notre échantillon.

4 RESULTAT

Cette section a pour objet de dégager la relation entre le risque et la demande d'assurance par les hôtels à Goma. Cette relation est ici vérifiée par la régression logistique avec et sans rôle modérateur de la variable gestion de risque. Il sera présenté ici les tests de normalité de la variable dépendante en amont avant de passer à la régression.

4.1 TEST DE NORMALITÉ

Tableau 1. Résultat du test de normalité de Skewness/kurtosis

Skewness/Kurtosis tests for Normality					
Variable	Obs	Pr(Skewness)	Pr(Kurtosis)	adj chi2(2)	joint Prob>chi2
demassur	73	0.0034	0.0000	25.68	0.0000

Source: États de sortie STATA 17.0

Les hypothèses que nous vérifierons pour ce test sont les suivantes:

- H_0 : X suit une loi normale;
- H_1 : X ne suit pas une loi normale

Ainsi, nous acceptons au seuil de 5% l’hypothèse de normalité si la probabilité est supérieure à 0,05. On rejetera l’hypothèse de normalité si la probabilité associée au test de « Kurtosis”, de « Skewnesset » est inférieure ou égale à 0,05.

Dans le cadre du cas présent travail, on est en présence d’une statistique Jarque-Bera, en nous appuyant sur les critères de « Kurtosis”, de « Skewnesset » de Jarque-Bera égaux à 0.000 qui sont inférieure à 0.05 soit.000<0.05, d’où on rejette l’hypothèse H_0 de normalité de la distribution au seuil de 5%. De ce fait, nous rejetons l’hypothèse nulle (H_0) selon laquelle les données suivent une distribution normale et acceptons l’hypothèse alternative (H_1).

La fonction de distribution des résidus ne suit donc pas une loi normale. Elle est gouvernée par un processus non Gaussien. Par conséquent, la méthode appropriée pour en estimer les paramètres est le Logit.

4.2 RÉGRESSION LOGISTIQUE ET INTERPRÉTATION

La contribution de chaque variable exogène à l’explication de la demande d’assurance a été jugé respectivement à partir de certains tests statistiques et la significativité sur une marge d’erreur de 5%.

Tableau 2. Régression logistique sans rôle modérateur

```

Iteration 0:  log pseudolikelihood = -24.146106
Iteration 1:  log pseudolikelihood = -18.425213
Iteration 2:  log pseudolikelihood = -17.340923
Iteration 3:  log pseudolikelihood = -17.29996
Iteration 4:  log pseudolikelihood = -17.299788
Iteration 5:  log pseudolikelihood = -17.299788

Logistic regression              Number of obs   =       73
                                Wald chi2(5)    =       10.10
                                Prob > chi2     =       0.0025
Log pseudolikelihood = -17.299788  Pseudo R2      =       0.2835
    
```

ASSURANCE	Coef.	Robust Std. Err.	z	P>|z|	[95% Conf. Interval]
RISQUE	.7668542	.4188988	1.83	0.007	1.587881 .0541724
GR	1.954923	.7814112	2.50	0.012	.4233854 3.486461
ANCIENNETE	-.0617707	.0428666	-1.44	0.150	-.1457865 .022245
TALLE	.0359513	.0517004	0.70	0.487	-.0653797 .1372823
COMMUNE	.206117	.7534104	0.27	0.784	-1.27054 1.682774
_cons	-3.925929	3.261238	-1.20	0.229	-10.31784 2.46598

Source: États de sortie STATA 17.0

Le tableau 2 affiche les résultats du test Logit, nous remarquons que notre modèle est bon car la probabilité de Khi deux est significative (Prob > chi2 = 0.0025) inférieure à 0,05. Nos données ont été sujets d'interprétations après 5 itérations. L'équation suivante découle de l'estimation:

$$ASSURANCE = -3.926 + .766RISQUE + 1.955GR - .062ANCIENNETE + .035TAILLE + .206 COMMUNE$$

Nous constatons que deux variables entre autre le risque d'entreprise (RISQUE) et la gestion de risque (GR) sont significative au seuil de 5% (0.050) et respectent les signes attendus. Ainsi le risque et la gestion de risque ont une influence positive et significative sur la probabilité qu'ont les hôtels à demander dans le contexte de Goma. Les variables ancienneté, taille de l'hôtel et localisation communale de l'hôtel n'ont pas été significatif dans notre modèle.

Tableau 3. Régression logistique avec rôle modérateur

Iteration 0:	log pseudolikelihood = -24.146106				
Iteration 1:	log pseudolikelihood = -19.417764				
Iteration 2:	log pseudolikelihood = -18.62823				
Iteration 3:	log pseudolikelihood = -18.589989				
Iteration 4:	log pseudolikelihood = -18.589896				
Iteration 5:	log pseudolikelihood = -18.589896				
Logistic regression		Number of obs	=	73	
		Wald chi2 (5)	=	7.44	
		Prob > chi2	=	0.0002	
Log pseudolikelihood = -18.589896		Pseudo R2	=	0.2301	
ASSURANCE	Coef.	Robust Std. Err.	z	P>|z|	[95% Conf. Interval]
RISQUEGR	.554051	.2917318	1.90	0.050	-.0177327 1.125835
RISQUE	-2.832516	1.161263	-2.44	0.015	-5.10855 -.5564821
ANCIENNETE	-.0561645	.042013	-1.34	0.181	-.1385084 .0261794
TAILLE	.0355753	.0480799	0.74	0.459	-.0586596 .1298103
COMMUNE	.2224578	.7409709	0.30	0.764	-1.229819 1.674734
_cons	3.161553	1.720921	1.84	0.066	-.2113901 6.534497

Source: États de sortie STATA 17.0

Le tableau 3 montre une relation positive et significative entre la variable modératrice « risque d'entreprise et gestion de risque combinés » et la demande d'assurance des hôtels à Goma. Eu égard au signe positif du coefficient associé à la variable « RISQUEGR » (+0,554051) ainsi qu'à la probabilité y liée (0,050) inférieure au seuil de 0,05. Autrement dit, le développement des pratiques de gestion de risque modère positivement et significativement la relation entre la relation entre le risque et la demande d'assurance des hôtels à Goma, au point où l'amélioration des pratiques de gestion de risques mène inévitablement à la diminution de la demande d'assurance. Il y a lieu d'affirmer que la gestion de risques au sein des hôtels déclenche une série de comportements, de perceptions et d'attitudes qui ont un effet négatif sur la demande d'assurance (au vue du signe négatif du coefficient associé à la variable « RISQUE » = -2,832516). La prochaine section parlera de la discussion de nos résultats et vérification des hypothèses.

5 DISCUSSION DES RESULTATS DE LA RECHERCHE

Cette section a pour objet de confronter les hypothèses avancées aux résultats et de dégager le parallélisme entre les résultats de cette étude et des résultats d'études antérieures.

Ainsi, par rapport à la première question qui cherchait à savoir si le niveau de risques spécifiques aux hôtels de Goma influence leur demande d'assurance. De ce fait, il a été subodoré que le niveau des risques d'entreprise exerce un effet positif et significatif sur la demande d'assurance. Les résultats ressortis des analyses de régression logistique et présentés au tableau 18 confirment la relation positive et significative entre le niveau du risque et la demande d'une assurance. Ceci se justifie par le signe positif du coefficient associé à la variable « Risque d'entreprise » (+0,7668542) ainsi qu'à la probabilité y liée (0,007) inférieure au seuil de 0,05. Autrement dit, le risque a une influence positive et significative sur la probabilité qu'ont les hôtels à demander dans le contexte de Goma. *Considérant ces deux résultats, la première hypothèse est ici affirmée.*

Les résultats de cette étude quant à ce qui concerne la relation entre le niveau de risques d'entreprise et la demande d'assurance s'inscrivent presque dans le même sens que ceux des études antérieures. C'est le cas de Beck (2001) étudiant les caractéristiques d'une « société assurantienne » et d'une « société du risque », a démontré que le risque, étroitement lié aux choix et aux actions des individus, est fondamental pour les compagnies d'assurance.

De même Dionne et al. (2016) Soutiennent que les entreprises sont plus enclines à souscrire à une assurance lorsque leur exposition au risque est plus élevée, mais que leur décision est également influencée par des facteurs tels que la disponibilité de mécanismes de gestion des risques alternatifs et les coûts de l'assurance. Néanmoins, Rees et Wambach (2008), s'inspirant du modèle de Mossin, disent que la demande dépendra aussi de la prime d'assurance (prix) et du revenu de l'assuré. Le modèle de Mossin montre aussi que plus le risque est élevé, plus l'assuré (les entreprises) sera enclin à souscrire à une assurance.

Enfin, La deuxième question voulait savoir si les pratiques de la gestion de risques jouent un rôle modérateur dans la relation entre le risque et la demande d'assurance des hôtels à Goma. L'hypothèse émise était que les pratiques de gestion de risque modèrent positivement et significativement la relation entre le niveau des risques d'entreprise et la demande d'assurance par les hôtels à Goma. L'investigation empirique a donné les résultats selon lesquels le développement des pratiques de gestion de risque modère positivement et significativement la relation entre la relation entre le risque et la demande d'assurance des hôtels à Goma, au point où l'amélioration des pratiques de gestion de risques mène inévitablement à la diminution de la demande d'assurance. Eu égard au signe positif du coefficient associé à la variable « RISQUEGR » (+0,554051) ainsi qu'à la probabilité y liée (0,050) inférieure ou égale au seuil de 0,05. *La deuxième hypothèse est ainsi affirmée.*

Ces résultats confirment l'analyse de Dumont (2011) la gestion proactive des risques permet de réduire la probabilité de sinistre et par conséquent le cout d'assurance.

Les implications découlant de cette étude sont claires. En identifiant les risques, les hôtels peuvent mettre en œuvre des mesures préventives et des plans d'urgence adaptés, améliorant ainsi la sécurité des clients et du personnel. De plus, une meilleure compréhension des risques permet aux hôtels de renforcer leur gestion des opérations, de protéger leur réputation et d'optimiser leurs performances financières.

De surcroît, Cette recherche contribue à une meilleure compréhension des facteurs qui influent sur la décision des hôtels d'acheter une assurance. En analysant les risques spécifiques auxquels les hôtels sont confrontés, tels que les risques de sécurité, les risques opérationnels ou les risques externes, cela permet aux assureurs de concevoir des produits d'assurance mieux adaptés aux besoins des hôtels et aux gestionnaires d'hôtel de prendre des décisions plus éclairées en matière de gestion des risques.

Par ailleurs, En comprenant les motifs et les comportements de souscription des hôtels, les assureurs pourraient ajuster leurs pratiques de tarification et de souscription pour mieux répondre aux besoins du marché. De plus, les régulateurs pourraient utiliser les résultats de la recherche pour élaborer des politiques qui favorisent un marché de l'assurance efficace et concurrentiel, tout en garantissant la protection des consommateurs.

6 CONCLUSION

Ce travail de recherche a porté sur la relation entre le risque et la demande d'assurance des hôtels. L'exploration s'est limitée sur les entreprises hôtelières de Goma servant comme cadre d'étude. Le développement de cette thématique s'est articulé au tour des questions suivante: « Existe-t-il un lien entre l'exposition au risque et demande d'assurance des PME hôtelières à Goma ? ». Pour répondre à cette question quatre questions spécifiques ont été soulevées, à savoir: « Quel sont les principaux risques d'entreprises auxquels sont exposés les PME hôtelières à Goma ? Comment les hôtels de Goma organisent-il la gestion de risque ? Quel effet le niveau des risques d'entreprise exerce-t-il sur la demande d'assurance des PME hôtelières à Goma ? La gestion de risque modère-t-elle la relation entre le niveau des risques d'entreprise et la demande d'assurance des hôtels à Goma ? ».

Afin de recueillir les données, la technique d'enquête par questionnaire a été utilisée. Les données recueillies ayant porté sur 73 hôtels et ont été soumis au retraitement sous MicroSoft Office Excel 2016 avant d'être exportées vers SPSS.24.0, Lisrel for Student 8.80, STATA 17 pour les analyses statistiques plus avancées. La régression logistique a été mise en œuvre dans le processus de traitement des données. La méthode descriptive, la méthode analytique et la méthode statistique ont permis d'atteindre le résultat de la recherche.

Après traitement des données, analyse et interprétation des résultats, il s'est révélé, dans le contexte des hôtels de Goma, une relation positive et significative entre le niveau du risque et la demande d'une assurance. Ceci se justifie par le signe positif du coefficient associé à la variable « Risque d'entreprise » (+0,7668542) ainsi qu'à la probabilité y liée (0,007) inférieure au

seuil de 0,05 confirmé par les analyses de régression logistique. Autrement dit, le risque a une influence positive et significative sur la probabilité qu'ont les hôtels à demander dans le contexte de Goma.

Néanmoins, il sied de relever que le développement des pratiques de gestion de risque modère positivement et significativement la relation entre la relation entre le risque et la demande d'assurance des hôtels à Goma, au point où l'amélioration des pratiques de gestion de risques mène inévitablement à la diminution de la demande d'assurance. Eu égard au signe positif du coefficient associé à la variable « RISQUEGR » (+0,554051) ainsi qu'à la probabilité y liée (0,050) inférieure au seuil de 0,05. En effet, ces moyens de gestion peuvent être la formation régulière des agents sur la prévention des risques, l'utilisation des matériels ergonomiques et des équipements de protection individuelle (Gants, lunettes de protection, casque antibruit, chaussures de sécurité, les détecteurs de fumée et de chaleur, extincteurs portatifs, alarmes incendies, éclairage de secours, signalisation de sortie, système de ventilation, etc.)

Enfin, à noter cependant que cette étude présente quelques limites, liées essentiellement à l'indisponibilité de données statistiques. En effet, la relation entre le risque et la demande d'assurance a été analysée en adoptant une approche uni sectorielle. Il aurait fallu estimer aussi Cette relation par l'approche multisectorielle. Cela nous aurait permis de comparer les différents niveaux et ces scores du risque et de la gestion du risque dans plusieurs secteurs.

REFERENCES

- [1] Ayyagari, M., Demircuc-Kunt, A., et Maksimovic, V. (2011). Small vs. young firms across the world: Contribution to employment, job creation, and growth. The World Bank.
- [2] Barthélemy, B. (2002), *Gestion des Risques: Méthodes d'optimisation globale*, Paris: Editions des Organisations, deuxième tirage.
- [3] Beck, U. (2001). La société du risque. Sur la voie d'une autre modernité. Paris: Aubier.
- [4] Bremond, J. (2010). *Sciences économiques et sociales*. 2e. Paris: Hatier.
- [5] Briys, E. (2023). Demande d'assurance, décisions de consommation et de portefeuille: une analyse en temps continu. *L'Actualité économique. Revue d'analyse économique*, Vol. 63, 3.
- [6] Bugandwa, D. (2014). Satisfaction au travail et performance organisationnelle des institutions d'enseignement supérieur dans la ville de Bukavu. *Bukavu Journal of Economics and Social Sciences*. Vol. 1, 2.
- [7] Cleary S., Malleret T. (2006)., *Risques, perception, évaluation, gestion*, Paris: Maxima.
- [8] Cohen, E. (2022). *Souveraineté industrielle: vers un nouveau modèle productif*. Paris: Odile Jacob.
- [9] Couilbault, F. (2007). *Les grands principes de l'assurance*. Paris: L'argus de l'assurance.
- [10] Cummins, J.D. & Trainar, P. (2009). Sécurisation, Assurance et Reassurance. *The Journal of Risk and Insurance*. 2009, Vol. 76, 3, pp. 463-492.
- [11] Deloitte (2019), *Hôtellerie 4.0 Tendances du tourisme et de l'hôtellerie*, Paris: Deloitte.
- [12] Dionne, G. (2016). Gestion des risques: histoire, définition et critique. *Financial management*. Vol. 45, 2, pp. 1-22.
- [13] Hassid, O. (2008). La Gestion des risques. 2e. Paris: Dunod.
- [14] Havuma J.B (2021), *Gestion stratégique des ressources humaines et performance financière des entreprises hôtelières de Goma*, Thèse de doctorat, Économie Appliquée /GRH, UPN-Kinshasa,.
- [15] Hull, J.C. (2016). Options, futures, and other derivatives. Londres: Pearson.
- [16] Jorion, P. (2000). Risk Management Lesson from Term Capital Management. *European Financial Management*, 6, 277-300.
- [17] Kaplan, R.S. & Mikes, A. (2012). Managing Risks: A New Framework. *Harvard Business Review*. 2012, Vol. 90, 10, pp. 76-83.
- [18] Kawu, I. M., & Agboneni, O. S. (2017). The role of small and medium enterprises (SMEs) in national development. *Journal of Humanities and Social Science*, 22 (10), 61-68.
- [19] Le Ray, J. (2010). *Gérer les risques: pourquoi ? comment?* Paris: Editeur AFNOR.
- [20] Luzolo, C. (2021). *Les assurances congolaises dans ma poche*. Kinshasa: Editions Média-Paul.
- [21] Mairie de Goma. (2021). *Rapport annuel. 2021*. Goma: Ministère de l'Intérieur et de Sécurité de la R.D.C.
- [22] N'Da P. (2019), *Recherche et méthodologie en sciences sociales et humaines*, Paris: L'Harmattan.
- [23] Nykiel, R.A. (2005). *Hospitality Management Strategies*. New Jersey: Person: Prentice Hall.
- [24] Officiel Prévention: santé et sécurité au travail. [En ligne] 12 Avril 2021. [Citation: 26 Février 2023.] <https://www.officiel-prevention.com/dossier/formation/formation-continue-a-la-securite/la-cindynique-science-du-danger-du-risque-et-de-la-prevention>.
- [25] Popov, A. (2021). *Prévention des risques professionnels dans les hôtels et les restaurants. Industrie Hôtelière*. [En ligne] 14 Octobre 2021. [Citation: 27 Février 2024.] <https://www.industrie-hoteliere.com/fiches-juridique-experts/prevention-des-risques-professionnels-dans-les-hotels-et-les-restaurants/>.

- [26] Rees, R. et Wambach, A. (2008). *The Microeconomics of Insurance*. s.l.: Foundations and Trends in Microeconomics.
- [27] Rejda, G., McNamara, M. et Rabel, W. (2020). *Principles of risk management and assurance*. 14th. New York: Pearson.
- [28] Sbiti, M. et Attabou F. (2016), Le système de Management des Risques dans l'entreprise hôtelière: Quelle démarche pour consolider l'existant ?, *In revue d'Etudes en Management et Finance d'Organisation*, Paris.
- [29] Wagner, J. et Fuino, M. (2022). *Gestion du risque et introduction aux assurances*. Paris: EPFL Press.

Valorisation des coproduits de niébé (*Vigna unguiculata*) dans la ration alimentaire des moutons du Sahel: Cas des fanes et cosses

[Valorization of cowpea (*Vigna unguiculata*) co-products in the feed ration of Sahelian sheep: Case of tops and pods]

Ousseini Mahaman Malam Mouctari, Moustapha Issoumane Sitou, Saidou Touré Ousseina, Abdou Ide Boubacar, and Mahamadou Chaibou

Department Productions Animales, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger

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

ABSTRACT: The valorization of agricultural residues is a major concern in livestock feeding in Niger. The objective of this study is to evaluate digestibility and weight performance of sheep on stakes fed with cowpea by-products (tops and pods). The work was carried out on fifteen (15) entire rams of the Oudah breed, approximately 12 to 15 months old and with an average weight of 26.89 ± 3.13 kg. These animals were randomly divided into four groups. Each group consisted of five (5) animals tied to the stakes. Batch 1 received 56% cowpea tops and 44% wheat bran; ration of batch 2 was composed of 42.04% cowpea husks, 28.66% wheat bran and 29.30% bush straw and that of batch 3 included 41.89% cowpea tops and husks, 27.03% wheat bran and 31.08% bush straw. These results show that animals ingested 99.0 ± 42 ; 112.8 ± 5.78 and 100.9 ± 7.72 g/day/kgP0.75 respectively for batch 1, 2 and 3. Average daily gains ranging from 52.20 ± 34.80 g/animal/day for batch 1 (control); 70.65 ± 47.98 g/animal/day for batch 2 and 108.05 ± 43.88 g/animal/day for batch 4 were recorded. Cowpea co-products can be used in sheep feed by processing them from raw to corked form.

KEYWORDS: by-products, corks, cowpea tops, sheep, Niger.

RESUME: La valorisation des résidus agricoles constitue une préoccupation majeure dans l'alimentation du bétail au Niger. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'ingestibilité et performances pondérales des ovins aux piquets nourris à base des bouchons à base des coproduits de niébé (fanés et cosses). Les travaux ont été conduits sur quinze (15) béliers entiers de race Oudah d'environ 12 à 15 mois et d'un poids moyen $26,89 \pm 3,13$ kg. Ces animaux ont été répartis au hasard en quatre lots. Chaque lot est composé de cinq (5) animaux attachés aux piquets. Le lot1 a reçu 56 % de fanes de niébé et 44 % du son de blé; la ration du lot 2 est composée de 42,04 % de bouchon cosses de niébé, 28,66 % de son de blé et 29,30 % de paille de brousse et celle du lot 3 comportait de 41,89 % du bouchon de fanes et cosses de niébé, 27,03 % de son de blé et 31,08 % de paille de brousse. Il ressort de ces résultats que les animaux ont ingéré $99,0 \pm 42$; $112,8 \pm 5,78$ et $100,9 \pm 7,72$ g/jour/kgP0,75 respectivement pour le lot1, 2 et 3. Des gains moyen quotidien variant de $52,20 \pm 34,80$ g/animal/j pour le lot1 (témoin); $70,65 \pm 47,98$ g/animal/j pour le lot 2 et $108,05 \pm 43,88$ g/animal/j pour le lot 4 ont été enregistrés. Les coproduits de niébé peuvent être utilisés valorisés dans la ration alimentaire des ovins par une transformation de l'état brute à celui transformé en bouchon.

MOTS-CLEFS: coproduits, bouchons, fanes de niébé, ovin, Niger.

1 INTRODUCTION

L'élevage joue un rôle important dans la vie socio-économique et culturelle et contribue à l'équilibre alimentaire des populations du Niger [1], [2], [3], [4], [5]. Les ressources fourragères sont pauvres en nutriments exposant les animaux à une malnutrition qui induit une faible productivité [6]. Il s'avère nécessaire de s'intéresser à l'utilisation des résidus de cultures. Parmi ces résidus, les sous-produits de niébé, notamment les fanes et les cosses de niébé occupent une place de choix dans l'alimentation des animaux. Ils seraient des aliments de bonnes qualités nutritives avec un bon apport à la fois énergétique et azoté [7], [8], [9], [10], [11]. Les fanes représenteraient une part égale à 26%, après le foin de brousse (36%) dans la ration alimentaire des animaux au niveau des élevages urbains et péri-urbains [12]. Malheureusement cette légumineuse perd une bonne partie de ses feuilles principalement lors des manipulations de transport, de conditionnement et de stockage. Dans beaucoup de cas, peu d'attention liée aux pertes des feuilles et tiges de fane de niébé occasionné après la distribution de la ration chez l'animal est accordée par les éleveurs [13]. De telles pratiques ne permettent pas aux animaux d'embouches d'exprimer correctement leurs performances de production de viande. Si la disponibilité des sous-produits de niébé constitue l'un des atouts majeurs dans la communauté urbaine de Niamey, il n'en demeure pas moins que les conditions de leur utilisation optimale par les éleveurs font souvent défaut [14]. La présente étude s'inscrit dans le cadre de la valorisation des coproduits de niébé. Elle vient en complément de celle qui a permis d'évaluer l'ingestibilité des bouchons alimentaires à base des sous-produits de niébé sur des ovins en cage, et a pour objectif d'évaluer l'ingestibilité et performances pondérales des ovins aux piquets nourris à base des bouchons à base des sous-produits de niébé.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL

2.1.1 ZONE D'ÉTUDE

L'étude a été réalisée au parc expérimental de la Faculté d'Agronomie de l'Université de Niamey (figure 1). Cette station avec une altitude de 216 m est située aux coordonnées 18°30' de latitude Nord et 2°08' de longitude Est [15].

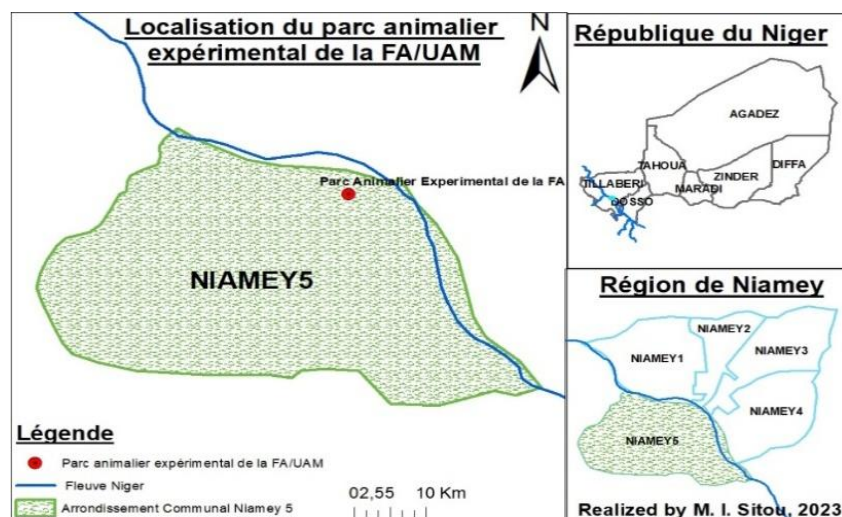


Fig. 1. Parc animalier de la Faculté d'Agronomie de l'UAM

2.1.2 MATÉRIEL BIOLOGIQUE

2.1.2.1 ANIMAUX

Les animaux sont constitués de vingt (20) béliers adultes de race Oudah ou bicolore âgés de 12 à 15 mois et d'un poids moyen de $25,68 \pm 2,64$ kg. Ces animaux ont été achetés aux marchés environnants de Niamey (Youri et Namaro). Ils ont été identifiés à l'oreille avant de recevoir 5 ml de l'introvit injectable (anti-stress) et d'être déparasités la première semaine par Albenol-300 par voie orale et la deuxième semaine par l'injection d'ivermectine BP 1% w/v suivi de rappel chaque moi.

2.1.2.2 ALIMENTS

Les aliments utilisés sont constitués de fane de niébé, paille de brousse (*Andropogon pseudapricus*) et son de blé, achetés sur le marché local. Les coproduits de niébé valorisés en bouchon de cosse de niébé (100% cosse de niébé) et bouchon à base du mélange de fane et cosse de niébé (50% fane et 50% cosse de niébé) ont été fabriqués.

2.1.3 MATÉRIEL TECHNIQUE

Il est constitué d'un broyeur R175A, RATED SPEED: 2600 RPM, MAX OUTPUT: 7HP pour obtenir le broyat de fanes de niébé et d'une machine presse à pellette de type KW MO pour la fabrication des différents types de bouchons.

2.2 MÉTHODES

2.2.1 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Pour la conduite de l'essai, les animaux ont été répartis au hasard, en trois (3) lots. Chaque lot contient cinq (5) animaux, soit quinze (15) animaux au total.

Les animaux sont logés dans une bergerie où chacun a été attaché au piquet individuel. Ils ont d'abord été soumis en une période d'adaptation de dix (10) jours durant laquelle ils se sont habitués au dispositif et à l'alimentation. L'essai proprement dit a duré 90 jours.

Les différentes rations sont distribuées deux fois par jour le matin à 8 heures et l'après-midi à 17 heures. La composition de différente ration est indiquée dans le tableau 1.

Tableau 1. Composition de différentes rations distribuées

Type d'aliment	Lots					
	Lot 1 : Témoin		Lot 2		Lot 3	
	Rations (%)					
	1		2		3	
	Kg brute	%	Kg brute	%	Kg brute	%
<i>Andropogon Pseudapricus</i>			0,46	29,30	0,46	31,08
Fane de niébé	0,91	56,17				
Bouchon de cosse			0,66	42,04		
Bouchon de fane +cosse					0,62	41,89
Son de blé	0,71	43,82	0,45	28,66	0,4	27,03
Total	1,62	100	1,57	100	1,48	100

La ration du lot 1 ou témoin s'apparente à la pratique habituelle des producteurs pour l'embouche ovine et est considérée comme la ration témoin. Les rations du lot 2 et 3 contiennent les bouchons fabriqués à base de sous-produits de niébé. L'eau est distribuée ad libitum et est renouvelé chaque matin. Une pierre à lécher a été offerte à volonté.

2.2.2 ECHANTILLONNAGE

L'échantillonnage a concerné les aliments offerts et refusés. Des échantillons de chaque aliment offert sont prélevés chaque deux jours de la semaine soit trois (3) par semaine, douze (12) par moi et trente-six (36) échantillons au total. Les échantillons des aliments refusés sont aussi prélevés. Les échantillons ont été broyés et introduit dans des sachets étiquetés et conservés au laboratoire à l'abri de l'humidité et de la lumière.

2.2.3 PARAMÈTRES MESURÉS

2.2.3.1 L'INGESTIBILITÉ

Les quantités des aliments distribués sont pesées quotidiennement. Les refus de chaque animal sont collectés et pesés chaque jour avant la distribution d'une nouvelle ration. La quantité ingérée est égale à la quantité offerte diminuée des refus.

2.2.3.2 CROISSANCE PONDÉRALE

Le contrôle de l'évolution du poids des animaux est effectué chaque semaine. Ces animaux sont pesés à jeun avant la distribution de la ration du jour. La croissance pondérale a permis de déterminer le gain moyen quotidien (GMQ). Ce gain de poids moyen quotidien ou gain de croit journalier donne une indication sur la vitesse de croissance d'un animal sur une période donnée. Il est défini comme le différentiel de croit entre deux dates [16]. Le calcul de GMQ entre la période âge 1 à âge 2 est:

$$GMQ = (\text{Poids2} - \text{poids1}) / (\text{Age2} - \text{âge1})$$

2.2.3.3 ANALYSES STATISTIQUES

Les données ont été collectées et soumises à l'analyse de la variance (ANOVA) en utilisant le logiciel SPSS 17.0, les moyennes étaient comparées par le test Port hoc de Scheffé au seuil de 5%.

3 RÉSULTATS

3.1 COMPOSITION CHIMIQUE ET VALEUR NUTRITIVE DES DIFFÉRENTES COMPOSANTES DES ALIMENTS

L'analyse bromatologique montre que la composition chimique varie selon le type d'aliment. Le tableau 2 indique la composition chimique moyenne de ces aliments rapportés en pourcentage de matière sèche.

Tableau 2. Composition chimique et valeur alimentaire des aliments

Aliments	Composition en % de matière sèche							Valeur alimentaire	
	MS (%)	MO	MM	MG	MAT	CB	ENA	VF (U.F./kgMS)	MAD (g/kg MS)
Bouchon de cosse de niébé	91,57	76,89	14,68	1,61	7,23	35,23	32,82	0,30	36,0
Bouchon de fane et cosse de niébé	91,09	79,86	11,23	3,42	13,49	31,22	31,73	0,36	70,3
Son de blé	89,95	82,54	7,41	4,08	19,26	14,89	44,31	0,64	129,3
Fanes de niébé	91,99	84,10	7,89	3,94	15,6	33,34	31,22	0,37	79,8
Paille de brousse	93,72	86,40	7,32	2,86	2,7	38,79	42,05	0,32	13,0

MS: Matière sèche; MO: Matière organique; MM: Matière minérale; MG: Matière grasse; MAT: Matière azotée totale; CB: Cellulose brute; %ENA: Extractif non azoté = %MO- (%CB+%MAT+%MG); VF: Valeur fourragère

Les aliments analysés au cours de l'essai, ont montré une teneur en matière sèche comprise entre 89 et 93%. Il a été observé entre autres des teneurs 7,23 % et 13,94 % en matière azotées totale; 36,0g/kg et 70,3 g/kg en matière azotée digestible et 0,30 UF/kg et 0,36 UF/kg en unité fourragère respectivement pour les bouchons de cosse de niébé et les bouchons de fane et cosse de niébé

3.2 PERFORMANCE ZOOTECHNIQUE

Le tableau 3 présente l'effet de l'incorporation des bouchons à base de sous-produits de niébé sur les performances pondérales des animaux.

Tableau 3. Evaluation des performances zootechniques

Paramètres	Rations		
	1	2	3
Ages des animaux (mois)	13,80±0,84	11,80±0,83	12,20±0,83
Nombre d'animaux	5	5	5
Durée essai (jour)	90	90	90
Poids initial (kg)	29,30±1,7	24,40±1,9	23,64±1,4
Poids final (kg)	33,32±2,3	29,84±3,0	31,96±1,76
Gain de poids en kg/animal	4,02±0,24 ^a	5,44±0,34 ^a	8,32±0,3 ^a
MS distribuée (g/animal/j)			
*MS total	1475,74	1440,24	1355,66
* <i>Andropogon Pseudapricus</i>	0	485,8	431,11
* Fane de niébé	837,10	0	0
* Bouchon de cosse	0	604,36	0
* Bouchon de fane +cosse	0	0	564,75
* Son de blé	638,64	404,77	359,8
MS ingérée total			
g/animal/jour	1311,84	1347,23	1200,86
g/jour/kgP ^{0,75}	99,0±3,42 ^a	112,8±5,78 ^b	100,9±7,72 ^a
*Refus en g de MS/animal/jours	163,9	181,5	154,8
GMQ (g/animal/jours)	52,20±34,80 ^a	70,65±47,98 ^a	108,05±43,88 ^a

Les moyennes marquées par les mêmes lettres (a, b) sur la même ligne ne sont pas significativement différentes à $P < 0,05$ selon le test post hoc de Scheffé. MS: matière sèche; *: quantité des aliments distribués en grammes de MS/animal/jour; GMQ: gains moyens quotidiens

L'analyse du tableau 5 montre que dans le lot 1 (témoin) recevant la ration contenant les fanes vrac de niébé, on constate des refus non négligeables (163,9 g). Les deux types de bouchons ont été bien ingérés.

Le gain moyen quotidien (GMQ) fourni par la ration 2 (70,65±47,98 g/animal/jour) et 3 (108,05±43,88g/animal/jour) sont supérieurs à ceux de la ration 1 (52,20±34,80 g/animal/jour). Chacune des trois rations a permis aux différents lots de réaliser relativement des gains de poids.

3.3 EVOLUTION PONDÉRALE DES ANIMAUX

Les figures 2, 3, 4 et 5 montrent les poids des animaux pendant la période d'essai.

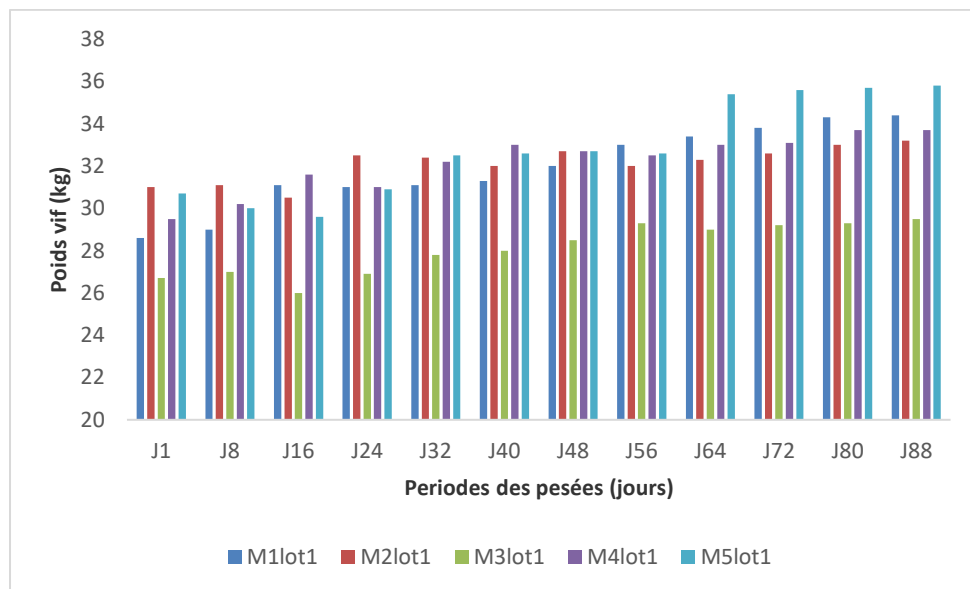


Fig. 2. Evolution du poids vif du lot 1

L'analyse de la figure 2 montre que tous les individus du lot 1 ont connu une variation d'une semaine à l'autre. Cette variation a été surtout remarquée entre la deuxième et la troisième pour tous les quatre sujets excepté le mouton 1.

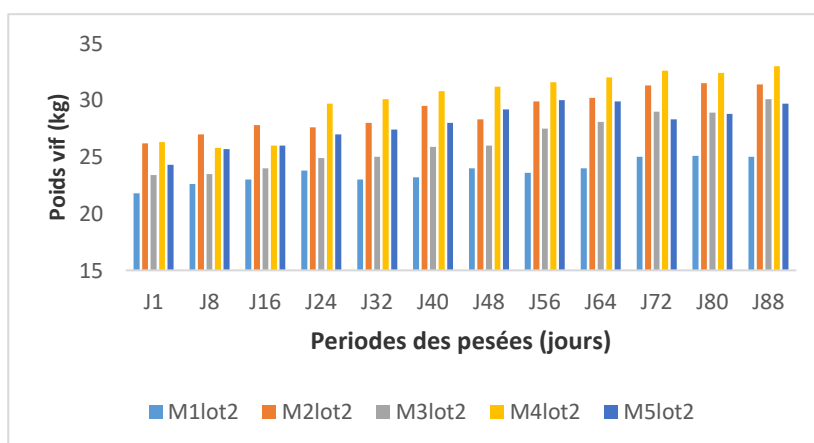


Fig. 3. Evolution du poids vif du lot 2

Après l'analyse de la figure 3, il été constaté que la majorité des sujets (mouton 2, 3, 4 et 5) ont connu une augmentation de poids entre J1 et J88 même si, une régression de poids s'observait en J24 et J40 pour le mouton 1.

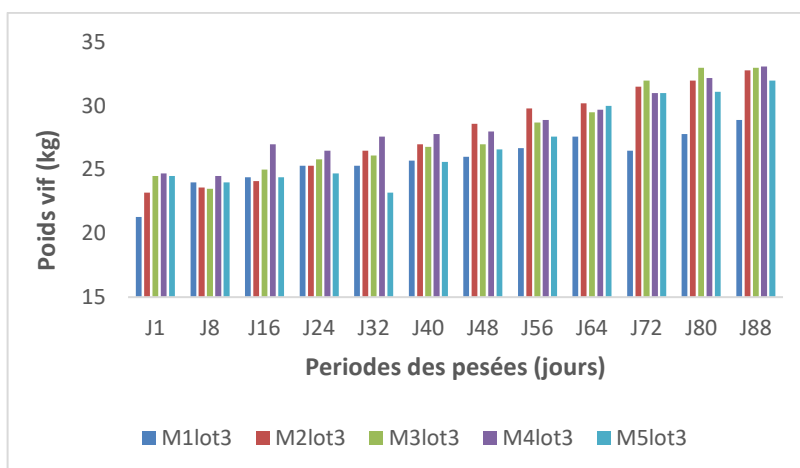
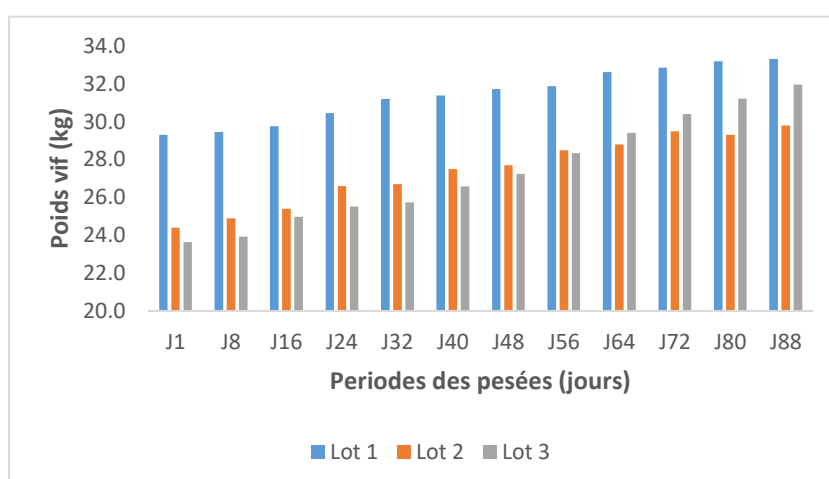


Fig. 4. Evolution du poids vif du lot 3

Au regard du constat de la figure 4, les moutons 1, 2 et 5 ont connu une augmentation du poids durant la période de l'étude. Cependant le mouton 3 et 5 ont connu une diminution de leurs poids respectivement entre J1 et J8 puis J24 et J32 Figure 5: Evolution du poids vif des animaux par lot.



La figure 5 ressort l'évolution du poids vif des animaux par lot. On a constaté une évolution de poids des lots des animaux ayant reçu dans leurs rations les bouchons de fanes et cosse de niébé et ceux qui ont reçu les bouchons de cosse niébé.

4 DISCUSSION

Les aliments analysés au cours de l'essai, ont montré une teneur en matière sèche comprise entre 89 et 93%. Les teneurs en matière organique, matière azotée totale, cellulose brute, matière minérale des fanes de niébé se rapprochent à celles obtenus par de nombreux auteurs [17], [18], [6]. La valeur de la matière azotée totale de paille de brousse (2,7 %) déterminé est comprise dans l'intervalle 2 à 5% trouvé par [19]. Les valeurs de la composition chimiques varient selon la nature du fourrage comme *Adenodolichos rhomboideus* qui est une légumineuse herbacée gardant ses feuilles vertes pendant la saison sèche contient 37% de matière sèche, 13,2% de protéine brute et 4,6 % de cellulose brute [20]. Au niveau des ligneux fourragers, les feuilles sèches de *Khaya senegalensis* contient 13,25±0,03% en matière azotée totale, 93,63±0,36 % en matière sèche et 28,01± 0,52% en cellulose brute [21]. La teneur en protéine brute varie de 10,4 à 11,9 % sur des pâturages selon [22]. La teneur en MAT (2,7%) de la paille de brousse est similaire à celle de sorgho obtenu par [23]. La composition chimique de fanes de niébé de cette étude ressemble à celle des quatre cultivars de *Medicago sativa* au stade bouton floral [24]. Le bouchon de fane et de cosse de niébé et celui et cosse de niébé constituent une principale source non négligeable de protéine utilisable en alimentation animale. Ses teneurs acceptables en énergie et en matière azotée totale font qu'ils peuvent être proposés

pour la complémentation des fourrages pauvres comme la paille comme il a été souligné dans une étude où le mélange d'une légumineuse avec graminée (sorgho-trèfles), donne des meilleures valeurs nutritives [25].

L'ingestibilité est 99 % et 96,87 % respectivement pour les bouchons de fane plus cosse de niébé et bouchons de cosse. Le bouchon de fane plus cosse de niébé est un ingrédient de complémentation appréciables car doté d'une bonne valeur énergétique, il est quasi totalement ingestible. Cette ingestibilité peut atteindre 99 %. Des résultats semblables ont été trouvés par [26] au Mali où l'ingestion de fane de légumineuse à des moutons a donné 97 et 99 g MS/kgPO₇₅ respectivement pour les fanes d'arachide et fanes de dolique. Par ailleurs d'autres auteurs ont obtenu une ingestion de 366,9±19,2 g/j de MS correspondant à 47,3±2,1 MS/kgPO₇₅ de sorgho fourrager de variété Grinkan lors d'une de la digestibilité in vivo de résidus de récolte de quatre variétés améliorées de sorgho à double usage sur les moutons de race Djallonké [23]. Ces bouchons peuvent être considérés comme aliments intéressants pour la ration d'embouche en production animales. Ceci confirme l'étude de [19] selon laquelle les fanes de niébé comme légumineuses sont utilisées pour supplémer les fourrages grossiers sont bénéfiques en productions animales. Cependant les légumineuses peuvent être comme des compléments, comme c'est le cas d'une étude en Algérie a montré que l'alimentation des animaux repose sur l'alternance entre le fourrage des parcours le matin, complétement par du grossier (luzerne) et du concentré (son de blé et orge) le soir [27]. On peut affirmer que l'augmentation du niveau d'apport en bouchons de fanes et bouchons de fanes et cosse de niébé peut améliorer la valeur protéique et le niveau énergétique d'une ration.

Des nombreux travaux ont montré que les ovins recevant des rations contenant des fanes de niébé ont des performances intéressantes de croissance et d'abattage [6], [19], [28].

Malgré la phase d'adaptation du lot1, la variation est probablement liée à la nature de la ration constituée de légumineuse (fane de niébé) et de son de blé. Il a cependant été observée des légères augmentations pour tous les sujets) partir de la sixième semaine de l'expérimentation.

Le bouchon à base de fane et cosse de niébé étant intégré dans la ration du lot 3 peut optimiser le gain de poids. Le croit pourrait s'expliquer par le fait que dans un même lot, les sujets ayant ingéré mieux leurs rations sont plus beaucoup plus nombreux que ceux qui ont ingéré moins. La diminution de poids soit d'un sujet d'un lot à l'autre soit pour les sujets qui sont dans un même lot est probablement liée à la quantité d'aliments non consommés pendant la ration. Cette quantité refusée constatées soit à cause du stress des premières semaines de l'essai soit à cause des diarrhées occasionnelles.

5 CONCLUSION

A l'issue de ce travail sur la valorisation des coproduits de niébé dans la ration alimentaire des moutons du Sahel, des résultats obtenus ont montré qu'avec un taux d'incorporation en matière brute de 41,89 % du bouchon de fanes et cosses de niébé, 27,03 % de son de blé et 31,08 % de paille de brousse d'une part et 42,04 % de bouchon cosses de niébé, 28,66 % de son de blé et 29,30 % de paille de brousse d'autre part, pendant 90 jours, les animaux enregistrent un gain moyen quotidien de 70,65±47,98 g/animal/jour et 108,05±43,88g/animal/jour respectivement pour le lot 2 et lot 3. Les coproduits de niébé peuvent être utilisés autrement qu'habituellement dans la ration alimentaire des ovins. Il faut qu'en perspective diversifier les proportions de ces coproduits et reproduire l'expérimentation sur d'autres espèces.

REMERCIEMENT

Nos remerciements vont au programme de productivité agricole en Afrique de l'Ouest (PAAO) pour l'appui technique et financier pour la réalisation de cet article.

REFERENCES

- [1] Ministère de l'élevage, Stratégie de Développement Durable de L'Élevage, (SDDEL 2013-2035), Tome 1, République du Niger/Niamey, Niger, 61p, 2013.
- [2] A. Laouali, Contribution à l'étude de la dynamique de l'élevage pastorale au Niger: cas de la région de Diffa. Thèse de doctorat en sciences agronomiques et ingénierie biologique. Université de Liège, Belgique 212p.
- [3] H. Djibril, I.T. Imorou, Dynamique des formations végétales riveraines et capacité de charge autour de la retenue d'hydraulique pastorale de Dunkassa au Nord-Est du Bénin», Journal of Animal & Plant Sciences, 2015. Vol.27, Issue 1: 4161-4169, 2015.

- [4] A. Alhassane, I. Soumana, S. Karim, I. Chaibou, A. Mahamane, M. Saadou, Flore et végétation des parcours naturels de la région de Maradi, Niger», *Journal of Animal & Plant Sciences*, 2017. Vol.34, Issue 1: 5354-5375.2017.
- [5] M. M. O. Mahaman, M. Chaibou, D. Abdou, A. B. Idé A, I. M. Sitou et M. MANI, « Evaluation de l'ingestibilité des bouchons alimentaires à base des sous-produits de niébé utilisés pour l'engraissement des ovins », *Revue des BioRessources* Vol 7 N° 2 Décembre 2017 1-11, 2017.
- [6] D.G, Abdou, Influence du type de fourrage et des différents niveaux de supplémentation en son de mil sur les performances de croissance et à l'abattage des ovins au Niger, mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Agronomie, Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II. 71p.1998.
- [7] R. Rivière, Manuel d'alimentation des ruminants domestiques en milieu tropical. IEMVT-FRANCE. 529 pages, 1991.
- [8] G.P, Gongnet, M. Minguey, B.O, Brahim, Valeur nutritive des résidus de récolte et des sous-produits agro-industriels offerts à des moutons peuls du Sahel. Proceeding of second biennial conference of Africa Small Ruminants Research Net Work ACC- Arucha- Tanzanie, pp 169-174, 1995.
- [9] Kaasschieter GA, Attema J, Coulibaly Y, 1996. Utilisation de la fane de niébé (*Vigna unguiculata*) et du tourteau de coton comme suppléments de la paille de riz (*Oryza sativa*) par des taurillons, Rapport PSS n° 25,32 p.
- [10] N. D, Mame, Valorisation des résidus de récolte de niébé dans l'alimentation des animaux. Étude Préliminaire, 6 p, 1998.
- [11] S. Siddo, Supplémentation en fanes de niébé des rations d'embouche ovine à base de paille de sorgho (*Sorghum bicolor*) 34 p, 2002.
- [12] D. Maimouna, Contribution des fanes de niébé (*Vigna unguiculata*) dans l'alimentation du bétail dans la ville de Niamey; Mémoire Master 2 Faculté, d'Agronomie/UAM, 54p, 2012.
- [13] H. Guerin, Le phosphore dans l'alimentation des ruminants tropicaux: risques de carences, effet de fertilisation des fourrages et de la complémentation, possibilité d'utilisation des phosphates naturels. In: Séminaire international sur l'utilisation des phosphates naturels dans la nutrition végétale et animale, Ferphos-Tebessa, Algérie, 8-10 mars 1988. Maisons-Alfort, France, Cirad-Iemvt, 29 p, 1998.
- [14] M. M. Mouctari Ousseini, Chaibou Mahamadou et Mani Mamman, Pratiques 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*, 120: 12006-12017, 2017.
- [15] M. Mani, Caractérisation phénotypique et zootechniques de la chèvre du sahel élevée au Niger. Thèse de Doctorat Unique. Université de Niamey, Niger, Université de Dakar, Sénégal.
- [16] Ministère de la coopération, IEMVT, Manuel et précis d'élevage, Paris, 527 pages, 2013.
- [17] S. G, Vias Franck, B. Bonfoh, A.Naferi, B. Faye, Les élevages laitiers bovins autour de la Communauté Urbaine de Niamey: Caractéristiques, production, commercialisation et qualité du lait. *Etud. et Rech. Sahéliennes*; (8-9): 159-165, 2003.
- [18] N. D, Mame, Valorisation des résidus de récolte de niébé dans l'alimentation des animaux. Etude Préliminaire, 6 p, 1998.
- [19] R. Jarrige, Alimentation des bovins, ovins et caprins INRA, Paris, 476p, 1988.
- [20] M. Chenost et C. Kayouli, Utilisation des fourrages grossiers en régions chaudes. Etude FAO. Production et santé animales, Rome, 226p, 1997.
- [21] 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.* 8 (3): 937-945, June 2014.
- [22] N. A, Wahiba, Détermination du meilleur taux d'incorporation des feuilles de *Khaya Senegalensis* dans l'alimentation des ovins (*Ovis aries* L.) de race Djallonke au Burkina Faso, Mémoire de master 2 ès-Sciences Agronomiques, Mention: Productions Animales, Option: Biotechnologies, Productions et Valorisation des Produits d'Élevage, Faculté d'Agronomie Université Abdou Moumouni, 65P, 2025.
- [23] V. Poirier, Combiner le sylvopastoralisme et la gestion adaptative multiparcelle pour favoriser le stockage de carbone et la biodiversité, Rapport final, No projet: IA121712 (05/2022 – 05/2024), partenariat Canadien pour l'Agriculture et Programme INNOV Action Agroalimentaire, P46, 2025.
- [24] S. Ouédraogo, L. Sanou, I. Gnegne, M. Séré, M. Adam, P. Savadogo, C. Y, Kabore-Zoungrana, Mesure de la digestibilité in vivo de résidus de récolte de quatre variétés améliorées de sorgho à double usage sur les moutons de race Djallonké. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 77: 37116, doi: 10.19182/remvt.37116, 2024.
- [25] F. Alane, M.T. Kerrouche, A. Lahmessi, Valeur alimentaire de quatre cultivars de *Medicago sativa* dans les conditions de la Mitidja, *Recherche Agronomique*, 2024 Vol. 22, N° 1, p. 51-79, 2024.
- [26] R. Frick, E. Dereuder, C. Coudry, B. Raymond, S. Dubois, P. Mariotte et M. Probo, Qualité fourragère et productivité de dérobées pour conditions sèches, *Recherche Agronomique Suisse* 15: 191–198, 2024.
- [27] H. Nantoumé, A. Kouriba, D. Togola, B. Ouologuem, Mesure de la valeur alimentaire de fourrages et de sous-produits utilisées dans l'alimentation des petits ruminants. *Revue Elev.Méd.Vét.Pays trop.*, 2000,53 (3): 279-284, 2000.

- [28] A. Abazi, & A. Senoussi, Typologie et trajectoires des élevages camelins de la région de Ouargla, Sud-Est algérien. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 78, 36967. <https://doi.org/10.19182/remvt.36967>, 2025.
- [29] A. J, Nianogo, O. Ouédraogo, R. Deuson, B Gnomou, S. Nassa, D Kaboré, Étude des systèmes d'embouche commerciale dans la région de Pouytenga (Burkina Faso) In *Actes de colloque de Développement des filières petits ruminants en régions chaudes: le rôle des organisations d'éleveurs*. UCARDEC/Office de l'Élevage et des Pâturages, Djerba, 121-127, 1997.

Le pilotage de la performance globale par les systèmes de contrôle de gestion dans les grandes entreprises marocaines: Cas de la région Béni Mellal-Khénifra

[Managing overall performance through management control systems in large Moroccan companies: The case of the Béni Mellal-Khénifra region]

Abdel-Ylah AMAZZAL and Mustapha BOUMESKA

Faculté des sciences juridiques, économiques et sociales, Université Ibn Zohr, Agadir, Morocco

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

ABSTRACT: The aim of this article is to study the contribution of management control systems to steering the overall performance of large companies. To carry out this research, an exploratory qualitative study was undertaken in the form of a case study of a large Moroccan company. The data was collected via a semi-directive interview conducted with a management control and internal audit manager using an interview guide. The results show that the four control levers presented by Simons' framework are present in the company's management control systems. In addition, the company's overall performance is managed by linking the diagnostic and interactive control levers using an 'ambidextrous' overall performance management control system.

KEYWORDS: management control systems, CSR, global performance, Simons' framework, stakeholder theory.

RESUME: Le présent article a pour objectif d'étudier la contribution des systèmes de contrôle de gestion au pilotage de la performance globale des grandes entreprises. Pour mener à bien ce travail de recherche, une étude exploratoire qualitative a été entamée sous forme d'une étude de cas auprès d'une grande entreprise marocaine. Les données ont été collectées via un entretien semi-directif conduit auprès d'un responsable de contrôle de gestion et d'audit interne en utilisant un guide d'entretien. Les résultats stipulent que les quatre leviers de contrôle présentés par le cadre de Simons sont présents dans les systèmes de contrôle de gestion de ladite entreprise. Également, le pilotage de la performance globale dans cette entreprise se fait par l'articulation des leviers de contrôle diagnostique et interactif à partir d'un système de contrôle de gestion de performance globale « ambidextre ».

MOTS-CLEFS: systèmes de contrôle de gestion, RSE, performance globale, cadre de Simons, théorie des parties prenantes.

1 INTRODUCTION

Le développement durable et la responsabilité sociétale de l'entreprise sont des nouvelles questions ayant sérieusement occupé l'intérêt des entreprises marocaines. Ces dernières sont appelées à s'inscrire dans l'ambition de notre pays, qui a signé des accords internationaux dans ce domaine et qui a mis en œuvre des stratégies ambitieuses telle que la Stratégie Nationale de Développement Durable. Ce contexte n'est pas la seule raison poussant les entreprises marocaines à adopter des politiques responsables. Elles savent bien que l'engagement sociétal, même s'il a un coût, est bénéfique pour elles. Les avantages de cette démarche sont essentiellement non financiers. On peut citer par exemple la réduction des coûts, la fidélisation des salariés, l'amélioration des relations avec les instances territoriales, l'acquisition d'une meilleure réputation [9]. Dans le même ordre d'idées, de nombreux travaux ont essayé de traiter la relation polémique entre la RSE et la performance des entreprises.

Bien que ces études donnent des résultats divergents, le nombre dominant est celui qui conclut à un lien positif entre les deux variables [22].

La RSE représente un véritable défi pour la gestion interne des entreprises, qui doivent mettre en place les meilleurs mécanismes possibles pour piloter cette nouvelle orientation stratégique. Capron et Quairel-Lanoizelée (2004) [16] avancent que « quel que soit le degré d'intégration des objectifs sociétaux dans les stratégies économiques de l'entreprise, la crédibilité externe et l'efficacité passent par la mise en œuvre d'un système de pilotage de cette évolution stratégique ». Les systèmes de contrôle de gestion sont considérés comme l'un des outils pouvant aider les managers à piloter la performance de leur entreprise dans ce domaine, malgré le peu d'expériences et de recherches sur le sujet auxquelles ils peuvent se référer. Seules quelques grandes entreprises, telles que Shell, Novo Nordisk et Skandia AFS, ont partagé leurs expériences en matière de contrôle intégré de la performance globale. Mais leurs expériences et leurs pratiques ne suffisent pas à enrichir le bagage scientifique en la matière.

A travers ce travail, nous souhaitons contribuer à pallier le manque de recherches scientifiques dans ce cadre en tentant de mettre en relation un mode de gouvernance, tel que les systèmes de contrôle de gestion, avec la recherche de la performance globale au sein des entreprises. Nous avons choisi de focaliser notre étude sur le secteur agroalimentaire au Maroc, compte tenu de son importance en tant que prolongement de l'agriculture et de la pêche maritime, deux piliers majeurs de l'économie nationale, et en tant que secteur contribuant à la couverture de la demande locale et jouant un rôle considérable dans les exportations. Également, les entreprises agroalimentaires sont parmi les plus concernées par la question du développement durable et de la RSE, en considération de l'impact potentiel de leurs activités sur l'environnement écologique. Motivés par l'intérêt du sujet, nous tenterons de le traiter d'abord par l'analyse d'une revue de littérature basée sur l'apport du cadre de Simons et de la théorie des parties prenantes, puis par la réalisation d'une étude de cas sur une grande entreprise agroalimentaire de la région de Béni Mellal- Khénifra. L'objectif final est de répondre à la question suivante: dans quelle mesure les systèmes de contrôle de gestion contribuent-ils au pilotage de la performance globale des grandes entreprises agroalimentaires marocaines ?

Pour répondre à cette question, nous avons scindé cet article en deux principaux axes. Le premier axe permet de clarifier les concepts fondamentaux relatifs aux notions de la performance globale et de systèmes de contrôle de gestion. Il permet aussi de mettre l'accent sur la contribution des systèmes de contrôle de gestion au pilotage de la performance globale, en se référant à l'apport du cadre de Simons et de la théorie des parties prenantes. Le second axe expose la méthodologie adoptée, l'entreprise en question et son activité, ainsi qu'une discussion des résultats obtenus à partir de l'étude de cas.

2 CADRE THEORIQUE

2.1 PERFORMANCE GLOBALE ET SYSTEMES DE CONTROLE DE GESTION: PRINCIPALES DEFINITIONS

2.1.1 PERFORMANCE GLOBALE: UNE NOTION POLYSEMIQUE

Remontant au milieu de 19^{ème} siècle, la performance est un concept qui désignait, chez les français, à la fois les résultats obtenus par un cheval de course et le succès remporté dans une course. Elle signifie ainsi dans la langue française le résultat d'une action, voir le succès ou l'exploit. Alors qu'en anglais, elle veut dire à la fois l'action, son résultat et éventuellement son exceptionnel succès [1]. La performance en tant que succès n'existe pas en soi, elle incorpore des jugements de valeur, dans la mesure où tous les groupes sociaux ne se représentent pas de la même manière ce qu'est la réussite. La performance, résultat de l'action, ne contient pas du jugement de valeur. Elle traduit alors la capacité à atteindre les objectifs. Enfin, elle est une action, c'est-à-dire qu'elle est un processus et non un résultat [12].

Compte tenu des trois sens recensés ci-dessus, on peut retenir la définition de Bourguignon (2000) [13]. Ce dernier l'a définie comme « *la réalisation des objectifs organisationnels, quelles que soient la nature et la variété de ces objectifs. Cette réalisation peut se comprendre au sens strict (résultat, aboutissement) ou au sens large du processus qui mène au résultat (action)...* » [13]. Nous pouvons comprendre donc qu'il s'agit d'une notion compliquée et ambiguë, un mot valise et un concept polysémique, la meilleure connotation qu'on peut attribuer à cette notion [8].

La performance peut être définie aussi par le triptyque économie-efficacité-efficace [10]. Selon Bouquin (2004) [10], l'économie est l'action de se procurer les moyens au moindre coût, l'efficacité est l'atteinte des objectifs en minimisant les moyens mis en œuvre. Et enfin, l'efficacité est la capacité à atteindre les objectifs. Toutefois, cette approche reste limitée vue la présence d'une certaine ambiguïté sur la nature de l'objectif elle-même [4].

La situation devient encore plus complexe dès lors que l'on intègre des problématiques de développement durable [4]. Il ne suffit plus d'apprécier la performance d'une entreprise par sa simple performance financière. Elle est devenue plus large en prenant en compte la responsabilité sociétale de l'entreprise vis-à-vis de ses parties prenantes.

On parle par ailleurs de la notion de la performance globale. Un concept qui a apparu aux Etats-Unis suite à de multiples travaux sur la RSE, puis par la suite a émergé en Europe. Elle est mobilisée dans la littérature managériale pour évaluer la mise en œuvre par les entreprises du concept du développement durable [17]. C'est un concept difficile à définir. Il demeure flou, vague et confus comme elle a été confirmée par Bouquin (2004) [10] en affirmant qu'il s'agissait bien « *d'une notion ambiguë maniée par des personnes ambiguës* ». Mais malgré cette ambiguïté, des chercheurs ont essayé de donner de définitions à la performance globale. On peut citer, par exemple, Baret (2006) [3] qui l'a définie comme « *l'agrégation des performances économiques, sociales et environnementales* » ou Germain et Trébuçq (2004) [21] qui l'ont considérée comme « *la résultante de la réunion de la performance financière, de la performance sociale et de la performance sociétale* ». Elle a été aussi définie par M Lepetit comme « *une visée (ou un but) multidimensionnelle, économique, sociale et sociétale, financière et environnementale, qui concerne aussi bien les entreprises que les sociétés humaines, autant les salariés que les citoyens* » [17].

2.1.2 LA NOTION DES SYSTEMES DE CONTROLE DE GESTION

Il y a plusieurs définitions du contrôle de gestion, mais nous retiendrons au titre de ce paragraphe quatre définitions montrant ses principaux aspects.

Nous commençons par celle du Robert N. Anthony (1965) [1] qui est considéré comme le premier à avoir tenté de théoriser ce type de management. En fait, il a défini le contrôle de gestion (management control) comme « *le processus par lequel les managers obtiennent l'assurance que les ressources sont obtenues et utilisées de manière efficace et efficiente pour la réalisation des objectifs de l'organisation* ». Cette définition met en exergue les concepts de la performance et de la stratégie en faisant ressortir le contrôle de gestion comme un outil de pilotage de la performance (recherche de l'efficacité et de l'efficacé) et d'accompagnement pour le déploiement de la stratégie.

En s'inspirant de cette définition, le nouveau plan comptable général français (1982) a défini le contrôle de gestion comme un ensemble de « *dispositions prises pour fournir aux dirigeants et aux divers responsables des données chiffrées périodiques caractérisant la marche de l'entreprise. Leur comparaison avec des données passées ou prévues peut, le cas échéant, inciter les dirigeants à déclencher des mesures correctives appropriées* ». Une simple lecture de cette définition nous permet de s'arrêter sur les similitudes entre le contrôle de gestion et le contrôle interne comptable, dans la mesure où elle le présente comme un ensemble de procédures mécaniques sans tenir compte aux intérêts stratégiques et managériaux de l'organisation.

En 1988, Anthony [2] ajouta quelques modifications sur sa première définition « *le contrôle de gestion est le processus par lequel les managers influencent d'autres membres de l'organisation pour mettre en œuvre les stratégies de l'organisation* ». Cette fois-ci et comparativement à la première définition, le contrôle se fait à travers une interaction entre les managers et les autres membres de l'organisation basée sur l'influence et la communication des grandes orientations pour la mise en œuvre de la stratégie, au lieu de se focaliser seulement sur la simple réalisation des objectifs.

Quant au A. Burlaud et C. Simon (2013) [15], le contrôle de gestion est un outil permettant de coordonner les comportements et de converger les intérêts propres des acteurs vers la réalisation de l'objectif de l'organisation. Il se définit selon eux comme: « *un système de régulation des comportements de l'homme dans l'exercice de sa profession et, plus particulièrement, lorsque celle-ci s'exerce dans le cadre d'une organisation* ».

Au final, il ressort de ces définitions qu'elles s'accordent sur le fait que le contrôle de gestion est un processus finalisé et incitatif.

2.2 LES SYSTEMES DE CONTROLE DE GESTION POUR UNE PERFORMANCE GLOBALE

2.2.1 PERFORMANCE GLOBALE: NOUVEAU CHAMP D'APPLICATION DES SYSTEMES DE CONTROLE DE GESTION

Partout dans le monde, Les entreprises ont tendance à s'orienter vers la RSE. Un phénomène de mode et de mimétisme, elle pose de véritables défis à la gestion interne des entreprises qui doivent mettre en place les meilleurs mécanismes de pilotage de cette nouvelle orientation stratégique. Dans ce sens, Capron et Quairel-Lanoizelée (2004) [16] avancent que « *quel que soit le degré d'intégration des objectifs sociétaux dans les stratégies économiques de l'entreprise, la crédibilité externe et l'efficacité passent par la mise en œuvre d'un système de pilotage de cette évolution stratégique* ». Les systèmes de contrôle

se voient comme le moyen le plus fréquemment utilisé par les managers afin de suivre et de mesurer les performances de l'entreprise.

Cependant, les recherches sur les systèmes de contrôle et les performances au niveau des dimensions RSE sont assez rares. Plusieurs auteurs sont d'accord sur ce constat tel que Quairel (2006) [31] qui a déclaré que « *dans le domaine de la responsabilité sociétale de l'entreprise, les dispositifs actuels d'évaluation de la performance globale sont relatifs aux attentes des parties prenantes et mesurés par des agents extérieurs à l'entreprise (notation extra-financière, classements et prix, enquêtes de réputation...)*. Ces dispositifs d'évaluation et de notation font l'objet de nombreuses publications alors que les systèmes de mesure de performances mis en œuvre en interne par l'entreprise pour accompagner le déploiement d'une stratégie de développement durable annoncée, dans le cadre d'un contrôle de gestion élargi, sont peu voire pas étudiés par la littérature académique », ainsi que Germain et Gates (2007) [20] qui ont souligné que « *le pilotage stratégique de la RSE est une pratique peu répandue dans les entreprises. Ce constat plaide en faveur de l'idée selon laquelle la problématique de la RSE demeure aujourd'hui confinée à des objectifs de communication externe* ».

Les recherches sur ce sujet sont assez limitées. Cela revient aux difficultés relatives à la notion même de la performance globale, qui est difficile à opérationnaliser et dotée de toute l'ambiguïté qu'un concept peut avoir tel qu'il a été affirmé par Pesqueux (2004) [28]: « *la notion de performance globale comme matérialisation de la performance organisationnelle comprend toute l'ambiguïté des évaluations hétérogènes et des injonctions hétéronomes à l'autonomie* ». Elles se heurtent aussi à la difficulté d'intégrer les trois dimensions RSE dans un seul et unique système de contrôle. Peu d'entreprise telle que Shell, Novo Nordisk, Skandia AFS, etc. ont pris le risque en adoptant un contrôle intégré de la performance globale, mais leurs expériences et leurs pratiques ne suffisent pas pour enrichir suffisamment la valise scientifique pour cet axe.

2.2.2 FONDAMENT THEORIQUE DES SYSTEMES DE CONTROLE DE GESTION DE LA PERFORMANCE GLOBALE: L'APPORT DU CADRE DE SIMONS ET DE LA THEORIE DES PARTIES PRENANTES

Le successeur d'Anthony à Harvard, Robert Simons, a formulé en 1987 [34] une définition des systèmes de contrôle en les qualifiant comme étant un ensemble de: « *procédures et systèmes formels qui utilisent de l'information pour maintenir ou faire évoluer l'activité des organisations. Ces systèmes incluent largement des procédures formelles telles que la planification, les budgets, l'analyse de l'environnement et de la récompenses offertes aux employés* » [34]. Avec cette définition, Simons (1987) [34] a élargi le champ d'intervention des systèmes de contrôle en ne se contentant plus à la seule dimension comptable, mais aussi en englobant la dimension non comptable.

En s'appuyant sur les travaux de Mintzberg et Waters (1985), portant sur l'antagonisme stratégie délibérée/stratégie émergente et sur ceux d'Argyris et Schön (1978) relatifs à l'apprentissage organisationnel, Simons menait de multiples recherches sur terrain notamment chez Johnson and Johnson, à propos des modalités d'usage des systèmes de contrôle par les managers. Il a conclu qu'il y a quatre leviers de contrôle que les dirigeants et les managers utilisent pour la mise en œuvre et le contrôle de la stratégie, en cas notamment d'un changement organisationnel: « *En situation de changement stratégique, les systèmes de contrôle sont utilisés par les dirigeants pour formaliser les croyances, établir les garde-fous par rapport à un comportement stratégique acceptable, définir et mesurer les variables de performance critiques, engendrer le débat et la discussion sur les incertitudes stratégiques. Au-delà des fonctions traditionnelles de mesure et de pilotage, les systèmes de contrôle sont utilisés par les dirigeants pour dépasser l'inertie organisationnelle, communiquer de nouvelles étapes stratégiques, établir des cibles et des jalons de la mise en œuvre et assurer une attention continue à de nouvelles initiatives stratégiques* » [35].

Chaque levier de contrôle a pour objectif de gérer une variable clé: les valeurs fondamentales (systèmes de croyances), les risques à éviter (systèmes de garde-fou ou de délimitation), les facteurs clés de succès (systèmes de contrôle diagnostique), les facteurs de risques (systèmes de contrôle interactif) [33].

Ces quatre configurations de contrôle sont définies ainsi par Simons (1994) [35] comme suit:

- Les systèmes de croyances sont les systèmes formels utilisés par les hauts dirigeants pour définir, communiquer et renforcer les valeurs de base, buts et directions de l'organisation;
- Les systèmes garde-fou sont les systèmes formels utilisés par les hauts dirigeants pour établir des limites et règles explicites qui doivent être respectées;
- Les systèmes diagnostiques sont les systèmes formels de feedback utilisés pour piloter les résultats de l'organisation et pour corriger les écarts par rapport aux standards de performance préétablis;
- Les systèmes interactifs sont les systèmes utilisés par les hauts dirigeants pour s'impliquer personnellement et régulièrement dans les processus de décision de leurs subordonnés.

Les deux premiers leviers servent à délimiter le domaine stratégique de l'entreprise. Les systèmes de croyances (ou de valeurs) communiquent les valeurs fondamentales et visent la convergence des buts (la mission ou la vision de l'entreprise sont des exemples des systèmes de valeurs). Alors que les systèmes garde-fous limitent l'opportunisme des managers en fixant des règles d'éthique sous forme des codes de conduite, des procédures, des chartes d'éthiques [33].

Les deux derniers correspondent plus spécifiquement au contrôle de gestion (budgets, tableaux de bord, plans opérationnels, gestion de projets,...) [33] et visent à formuler et à mettre en œuvre la stratégie [36]. Le système de contrôle de gestion est utilisé de manière diagnostique pour déployer la stratégie délibérée ou de manière interactive pour contribuer à l'émergence de nouvelles stratégies pour faire face à des événements imprévus [33].

Étant donné l'objet de notre travail, on se focalisera sur ces deux derniers leviers.

La démarche du contrôle diagnostique est assez différente de celle du contrôle interactif dans la mesure où leurs objectifs sont divergents. Les dirigeants et les fonctionnels du contrôle n'interviennent pas de la même façon, ainsi que le processus de transmission des informations est différent d'un système à l'autre (par des procédures formelles dans le contrôle diagnostique et par des débats et dialogues dans le contrôle interactif) [33].

En dépit de ces contradictions, ils sont en même temps complémentaires comme l'indiquent Naro et Travaillé (2010) [26]: « *les leviers de contrôle constituent en fait les deux faces complémentaires d'un système de contrôle de gestion. En les conjuguant ainsi, l'organisation pourrait concilier deux exigences contradictoires: l'aptitude à innover, gérer les incertitudes stratégiques, saisir de nouvelles opportunités et favoriser l'éclosion des stratégies émergentes, au moyen d'un contrôle interactif; la maîtrise des variables critiques de performance, sur une sphère stable d'activités parvenues à maturité et dans le cadre de la mise en œuvre des stratégies délibérées, à l'aide de systèmes de contrôle diagnostique* ». La combinaison et l'articulation des deux leviers contribuent à l'amélioration de la performance des organisations en permettant la formulation et la mise en œuvre de la stratégie ([36], [37]). Cette articulation se fait par « glissement » d'un levier à l'autre [6]. C'est-à-dire qu'« *un même dispositif de contrôle est utilisé, selon différentes phases de son cycle de vie, tour à tour de manière interactive et de manière diagnostique* » [26]. Ou elle peut se faire de façon parallèle à partir d'un système de contrôle de gestion « ambidextre », en utilisant un seul et même système de contrôle pour répondre simultanément à des objectifs contradictoires: le déploiement et l'émergence de nouvelles stratégies [27].

Maintenant revenons à la thématique de la RSE et de la performance globale, qui est l'objet de notre travail. Il s'agit d'un champ plus vaste et plus compliqué d'application des systèmes de contrôle de gestion. Il concerne non seulement la dimension financière ou économique, mais aussi la dimension sociale et environnementale. L'information sur laquelle se base le système de contrôle de gestion et les configurations des activités à entamer dans le cadre de ce système concernent ainsi la dimension de la RSE et de la performance globale [5]. Et par extension à la définition initiale de Simons (1987) [34], le système de contrôle de gestion de la RSE ou de la performance globale peut être définie comme l'ensemble des procédures et systèmes formalisés, fondés sur l'information extra financière, environnementale et sociétale, que les managers utilisent pour maintenir ou modifier certaines configurations des activités de l'organisation cherchant à améliorer la performance globale de l'entreprise [5].

Dans le domaine de la RSE et de la performance globale, l'environnement est souvent incertain et comporte toujours une part d'imprévu. Ce contexte impose aux dirigeants de réfléchir en profondeur aux changements stratégiques et d'adapter leurs stratégies en fonction des exigences du moment.

Or, le pilotage de la performance globale ne peut se faire que dans le but d'un véritable renouvellement stratégique et doit être de ce fait analysé selon les grilles qui prennent en compte cet objectif [5]. Les leviers de Simons cherchent en effet à apporter des réponses adéquates à ce questionnement et servent de base à d'autres recherches, comme celles de Marquet de Pondeville (2003) [24] dont l'objet est d'étudier en particulier les sous-systèmes environnementaux et sociaux [5].

À l'instar du contrôle de gestion traditionnel, le contrôle de gestion de la performance globale peut être analysé à travers le filtre des leviers de contrôle diagnostique et interactif ([24], [6]). Leur articulation se fait par « glissement » d'un levier à l'autre [6], ou bien à partir d'un système de contrôle de gestion de performance globale « ambidextre » qui vise à répondre simultanément à des objectifs contradictoires: le déploiement et l'émergence des stratégies [33]. Ce qui permet enfin d'améliorer la performance globale des organisations [33].

Les systèmes de contrôle diagnostique de la performance globale disposent d'un ensemble d'outils qui leur permettent de jouer leur rôle en tant que « *systèmes formels de feedback, utilisés par les dirigeants pour surveiller les résultats organisationnels et corriger les déviations par rapport aux standards de performance fixé préalablement* » [35]. On peut recenser par exemple: le tableau de bord prospectif durable, le bilan sociétal, le Global Reporting Initiative (GRI), Navigateur Skandia, la comptabilité sociétale, etc [6].

Les systèmes de contrôle interactif, quant à eux, se basent sur les débats et dialogues une fois qu'un événement imprévu se produit [35]. Le domaine de la RSE semble plus propice au contrôle interactif, compte tenu des incertitudes stratégiques qui le caractérisent (réglementations sociétales contraignantes, risques sociétaux, un marché vert qu'on ne peut prévoir,...) et des nombreux débats qu'il suscite entre les organisations et leurs parties prenantes [33].

Celles-ci ne se résument plus uniquement aux acteurs internes, mais concernent également des acteurs externes qui cherchent même à influencer le processus de décision dans l'entreprise: « *ces acteurs qui incluent notamment les médias, les pouvoirs publics, les organisations non gouvernementales, les consommateurs et les associations de riverains ne se contentent plus uniquement d'évaluer les performances réalisées par les entreprises dans ces différents domaines (économiques, sociaux et environnementaux) et de leur demander des comptes sur le passé. Ils cherchent à influencer le processus même de décision dans les entreprises afin que celui-ci intègre leurs intérêts en amont, dès qu'il s'agit de définir les objectifs futurs* » [7].

Cette approche fait l'objet de la théorie des parties prenantes qui constitue une référence en matière de la RSE ([14], [29], [18]). Elle a élargi la relation d'agence dirigeants-managers intermédiaires à l'ensemble des parties prenantes internes et externes de l'organisation, et s'intéresse aussi à l'étude de l'implication de ces dernières dans le processus décisionnel des dirigeants [33]. Son fondateur Freeman (1984) [19] met en relation la pérennité des stratégies des organisations à l'attention accordée à ces parties prenantes, qu'elles soient internes ou externes, et à leur bien-être. En conséquence de ces idées, Renaud Angèle (2013) [32] propose d'appréhender le contrôle interactif, en prenant en considération l'apport de la théorie des parties prenantes, dans le domaine environnemental comme « *un processus de dialogue et d'échange ouvert aux parties prenantes internes et externes intéressées par les performances environnementales des entreprises* ». De notre côté, il nous semble acceptable de généraliser cette définition à toutes les dimensions de la performance globale.

3 CADRE METHODOLOGIQUE ET RESULTATS DE L'ETUDE

3.1 METHODOLOGIE DU TRAVAIL

Notre travail de recherche a pour objectif d'étudier la contribution des systèmes de contrôle de gestion au pilotage de la performance globale des grandes entreprises agroalimentaires marocaines. C'est-à-dire de savoir et d'explorer comment les systèmes de contrôle de gestion se pratiquent-ils dans ces entreprises afin de piloter leur stratégie RSE et de contribuer à leur performance globale. L'étude de la revue de littérature sur le sujet révèle qu'il s'agit d'un sujet peu étudié, avec une quasi-absence d'un construit théorique et empirique en la matière. Ce constat est confirmé par Quairel (2006) [31] qui a déclaré que « *dans le domaine de la responsabilité sociétale de l'entreprise, les dispositifs actuels d'évaluation de la performance globale sont relatifs aux attentes des parties prenantes et mesurés par des agents extérieurs à l'entreprise (notation extra-financière, classements et prix, enquêtes de réputation...)*. Ces dispositifs d'évaluation et de notation font l'objet de nombreuses publications alors que les systèmes de mesure de performances mis en œuvre en interne par l'entreprise pour accompagner le déploiement d'une stratégie de développement durable annoncée, dans le cadre d'un contrôle de gestion élargi, sont peu voire pas étudiés par la littérature académique.», ainsi que Germain et Gates (2007) [20] qui ont souligné que « *le pilotage stratégique de la RSE est une pratique peu répandue dans les entreprises. Ce constat plaide en faveur de l'idée selon laquelle la problématique de la RSE demeure aujourd'hui confinée à des objectifs de communication externe* ».

La méthode qualitative est la plus convenable à ce genre de sujet. Cette approche nous permettra d'accéder à une connaissance plus approfondie sur l'interaction entre les acteurs participants à la recherche, leurs sentiments, opinions et comportements. C'est une méthode appropriée lorsque la question de recherche s'intéresse au pourquoi ou au comment des phénomènes complexes et peu explorés [38]. A l'aide de cette méthode, nous pouvons étudier et explorer de façon plus approfondie et plus détaillée l'apport des systèmes de contrôle de gestion au pilotage de la performance globale et répondre à la question du comment se fait-il.

Dans le cadre de cette recherche, nous optons pour une étude de cas. De solides travaux d'auteurs ((Yin, 1994) [38], (Miles et al, 2003) [25], Prévost, 2012) [30]) montrent que cette dernière s'impose dans l'approche qualitative.

Nous avons choisi d'étudier le cas d'une grande entreprise agroalimentaire située dans la région de Béni Mellal-Khénifra que, pour des raisons de confidentialité et respectant la demande du responsable interviewé, nous l'avons appelée Entreprise Alpha. Grâce à son potentiel agricole, cette région abrite un nombre considérable d'entreprises actives dans l'industrie agroalimentaire, dont Alpha. Le choix du secteur agroalimentaire se justifie par le rôle important qu'il joue dans l'économie nationale, comme nous l'avons mentionné dans l'introduction de ce travail. Nous voulons contribuer, via une contribution scientifique, à sa structuration et à son développement. Ainsi, parce que ce secteur est parmi les plus concernés par la problématique du développement durable, et est perpétuellement exposé à de fortes pressions de la part des parties prenantes qui ne cessent de s'interroger sur la pertinence des choix des entreprises de ce secteur d'activité. Alors que le choix

d'une grande entreprise revient au fait qu'elle devrait être plus structurée et plus développée en matière de la RSE et de son système de contrôle de gestion de telle sorte à apporter les éléments de réponse empirique à la question principale du présent travail. Disposant d'une direction toute entière dédiée au contrôle de gestion et à la finance, et faisant des pas avancés en matière de la RSE, sécurité et qualité, l'entreprise Alpha semble certainement un choix parfait pour une telle étude.

Au sens de Prévost et Roy (2012) [30], « *lorsque la recherche qualitative est employée pour réaliser une étude de cas, trois méthodes sont particulièrement populaires pour recueillir les données: l'entretien, l'observation et l'analyse documentaire* ». Pour notre travail, nous avons choisi de collecter les données via un entretien semi directif à l'aide d'un guide d'entretien préétabli. Nous avons adressé 15 questions ouverte et non ouvertes à un responsable du contrôle de gestion de l'entreprise Alpha, que nous l'avons contacté sur place, ainsi que par voie téléphonique dans trois reprises pendant le mois Septembre 2024. Enfin, nous avons analysé l'ensemble des données rapportées lors de cet entretien par la méthode de l'analyse de contenu.

3.2 PRESENTATION DE L'ENTREPRISE ALPHA

Située dans la région de Béni Mellal-Khénifra, Alpha est une filiale d'un grand groupe marocain spécialisé dans la production de sucre blanc. Elle extrait le sucre des sucreries locales, raffine le sucre brut importé, conditionne, distribue et exporte le sucre blanc sous différentes formes. Cette filiale a contribué aux investissements cumulés du groupe à hauteur de 10 milliards de dirhams et à la création de plus de 5 000 emplois. Le groupe est un agrégateur pour environ 80 000 agriculteurs. Alpha s'engage à mettre en œuvre la stratégie du Groupe qui est de devenir un acteur régional majeur du sucre en Afrique, diversifié dans ses activités, durablement créateur de valeur et socialement responsable, en recherchant en permanence la performance et l'innovation.

En 2009, elle a été désignée par la FAO comme agrégateur modèle. Elle s'engage au quotidien pour le développement de l'industrie sucrière et la satisfaction de ses parties prenantes.

Les initiatives d'Alpha en matière de RSE sont nombreuses. Qualité, sécurité et respect de l'environnement sont au cœur de la politique proactive d'Alpha. Elle s'engage à garantir des conditions de travail optimales pour la production d'un produit sain et satisfaisant pour ses clients.

Les actions du groupe lui ont valu un certain nombre de récompenses, dont:

- Label CGEM RSE pour l'ensemble de ses filiales;
- Prix "Top-performer" décerné par Vigeo en 2011;
- Pionniers de la responsabilité sociale des entreprises et de l'économie verte en Afrique" lors du 2e Forum RSE Afrique qui s'est tenu à Tunis en 2013;
- Prix du Rotary Club Mers Sultan "Entreprise citoyenne de l'année 2013";
- Prix "Modèle d'écosystème productif" décerné par les organisateurs du Forum PME et ses partenaires;
- Certification FSSC 22000 délivrée par l'ONSS;
- Triple certification en matière de sécurité, de santé et d'environnement: ISO 9001, OHSAS 18001 et ISO 14001.

D'après l'analyse de l'interface électronique d'Alpha dont nous avons extrait les informations ci-dessus, l'entreprise est pleinement engagée dans le développement durable. Elle mobilise toutes ses ressources pour maintenir ses actions dans cette direction. Alpha dispose d'une fonction de contrôle de gestion appartenant à la direction financière et du contrôle de gestion dotée de bons moyens et de compétences. Nous visons, à travers cette étude, de savoir dans quelle mesure les systèmes de contrôle de gestion de l'entreprise Alpha peuvent-ils contribuer au pilotage de sa stratégie en matière de développement durable et de la RSE, et par conséquent une contribution au pilotage de sa performance globale.

3.3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.3.1 RSE ET PERFORMANCE GLOBALE: PERCEPTION DES CONCEPTS

3.3.1.1 RSE

La première question que nous avons posée au responsable interviewé concernait la mise en œuvre de la RSE chez Alpha. Notre objectif avec cette question était de vérifier la place de la stratégie RSE dans la politique globale de l'entreprise, et en même temps de mettre en évidence les actions entreprises dans ce domaine. Avec enthousiasme et fierté, la personne interrogée a déclaré que la RSE reste toujours une priorité pour l'entreprise et fait partie intégrante de sa politique générale.

Il a dit à ce propos: « *La RSE est évidemment au cœur de notre politique. Nous nous engageons depuis longtemps à travailler de manière responsable avec nos partenaires pour créer de la valeur partagée. Chacun peut témoigner de notre responsabilité bien assumée à l'égard de nos parties prenantes. Tout d'abord, nous fabriquons un produit essentiel et important pour notre corps. Nous participons au développement socio-économique de la région dans laquelle nous opérons. Et nous contribuons à l'offre d'emplois, tant directs qu'indirects, en termes de quantité et de qualité. Bref, l'entreprise est un exemple et un modèle à suivre en matière de RSE. Nos nombreuses actions responsables ont valu à notre entreprise plusieurs distinctions, dont le Trophée Top Performer de Vigeo et le label RSE décerné par la CGEM.* ».

3.3.1.2 PERFORMANCE GLOBALE

La recherche de la performance globale est un objectif stratégique de l'entreprise Alpha, comme le confirme la personne interrogée. Il a déclaré: « *Nous parlons d'une entreprise qui cherche toujours à concilier ses intérêts avec ceux de ses partenaires, à partager avec eux la valeur et la richesse qu'elle crée, à réfléchir sérieusement au développement de son environnement, à participer à la création d'emplois et à veiller à qualifier une main-d'œuvre de qualité. Nous parlons d'une entité qui participe en permanence à la résolution des problèmes de notre pays et assume une part de ses soucis, comme dans le cas de la pandémie Covid 19. Nous parlons, Monsieur, d'une entreprise qui contribue par excellence au rapatriement des devises vers notre pays à travers l'exportation de ses produits, notamment vers l'Afrique. Il suffit de regarder les entrées de nos sites pour se rendre compte de la contribution de notre entreprise à l'économie locale. Sans oublier que le respect de l'environnement fait partie intégrante de notre stratégie. Nous sommes certifiés ISO 14001 et détenons le label CGEM RSE grâce à notre gestion responsable de l'environnement. Nous assurons ainsi la sécurité de nos produits et la satisfaction de nos clients. Ce ne sont là que quelques-unes des actions que nous menons pour enrichir notre entreprise et ses partenaires. Je viens d'énumérer quelques exemples de ce que nous faisons pour assurer notre performance et celle de nos partenaires. Ce n'est pas seulement la performance économique que nous recherchons. Nous avons depuis longtemps dépassé la recherche de la seule performance économique. Nous recherchons la performance globale* ». Cette réponse indique que le manager interrogé maîtrise bien le concept de performance globale et peut nous aider à éclairer la gestion de cette performance au sein de cette entreprise. Il a tenté d'énumérer quelques exemples d'actions entreprises par cette entité pour justifier qu'elle est un type d'entreprise à la recherche d'une performance partagée et durable. Ces actions visent non seulement la performance économique, mais aussi la performance sociale et environnementale.

3.3.2 CONTRIBUTION DES SYSTEMES DE CONTROLE DE GESTION A LA PERFORMANCE GLOBALE DE L'ENTRPREISE ALPHA

Une partie importante des questions de notre interview a été consacrée au concept des systèmes de contrôle de gestion. Notre objectif tout d'abord est de savoir comment le responsable perçoit ce concept, puis mettre l'accent sur les leviers de contrôle utilisés dans l'entreprise pour piloter la performance globale.

En réponse à notre questionnement, l'interviewé avança: « *Vous savez monsieur, le contrôle de gestion est aujourd'hui beaucoup plus large qu'il ne l'était auparavant, lorsqu'il se limitait à remplir une mission comptable. Aujourd'hui, le contrôle de gestion peut aider les chefs d'entreprise à atteindre leurs objectifs. Le système de contrôle de gestion intervient depuis la définition des objectifs jusqu'à leur réalisation. Il est également une source d'information pour la haute hiérarchie, si celle-ci en a besoin pour prendre des décisions stratégiques. Je peux également ajouter que tout type de stratégie peut être abordé par les systèmes de contrôle de gestion. Vous venez de mentionner le développement durable et la RSE. Je reconnais l'utilité du contrôle de gestion pour soutenir la politique de RSE menée par notre entreprise depuis de nombreuses années. Il a permis d'identifier nos valeurs fondamentales en se référant aux principes du développement durable. Les départements RSE et contrôle de gestion travaillent ensemble pour sensibiliser et communiquer ces valeurs à toutes les parties prenantes de notre organisation. L'élaboration de notre charte interne de développement durable a été une tâche cruciale. La fonction de contrôle de gestion n'a pas été la seule à jouer un rôle dans la définition des règles en la matière. Toutes les fonctions internes et tous nos partenaires ont proposé leurs idées pour contribuer à l'élaboration des règles de notre charte interne de développement durable. De même, lorsqu'un nouvel événement intéressant notre société dont on fait partie survient, comme la pandémie Covid 19 ou la sécheresse, nous l'affrontons avec une approche participative, en demandant à toutes nos parties prenantes de partager leurs connaissances et leurs idées afin de trouver des solutions et de prendre les bonnes décisions. Sans oublier le rôle traditionnel du contrôle de gestion, qui est d'aider l'organisation à atteindre ses objectifs. En résumé, le système de contrôle de gestion, comme son nom l'indique, est un système dont la mission dépasse celle de la fonction de contrôle de gestion ou celle des contrôleurs de gestion. Il nécessite l'intervention de plusieurs acteurs* ».

Il est aisé de constater que le responsable a une connaissance approfondie de la nouvelle approche du contrôle de gestion. Il a affirmé que le champ d'application de cette dernière a été élargi pour englober non seulement la dimension comptable, mais aussi une dimension non comptable. De même qu'il a confirmé la présence, dans l'entreprise Alpha, des quatre formes

de systèmes de contrôle de gestion identifiées par Simons. Les systèmes de croyances ont permis à l'entreprise d'identifier ses valeurs fondamentales en se basant sur les principes universellement reconnus du développement durable. Comme ils ont contribué à communiquer ces valeurs à toutes les parties prenantes de l'entreprise. Il convient de noter que l'objectif de ces systèmes est de communiquer les orientations à suivre par les employés, de concentrer l'attention sur les éléments clés et d'inspirer et de promouvoir l'engagement en faveur des valeurs de l'entreprise. Les systèmes de garde-fou ont pour leur part contribué à l'élaboration des règles de la charte interne de développement durable de l'entreprise. Seules les grandes entreprises et les plus performantes disposent d'une telle charte. Cette dernière consiste en un ensemble de règles contraignantes destinées à faire comprendre aux employés ce qu'ils ne doivent pas faire par rapport à la question du développement durable, sans pour autant limiter leur créativité. Le troisième levier de contrôle est le contrôle diagnostique qui, selon l'interrogé, aide l'entreprise à réaliser ses objectifs en matière de la RSE. Selon lui, le rôle de ce type de contrôle correspond au rôle traditionnel du contrôle de gestion. Il a pour objectif de surveiller les progrès réalisés par rapport aux objectifs stratégiques importants, de corriger les écarts et d'ajuster et de finaliser les intrants et les processus de manière à ce que les résultats soient plus proches des objectifs. Enfin, les systèmes interactifs permettent à l'entreprise Alpha de surmonter les aléas et de s'adapter à l'incertitude environnementale. Par exemple, lors de la crise de Covid 19 ou de la période de sécheresse, l'interviewé a reconnu l'utilité de ces systèmes pour prendre les décisions les plus judicieuses en mobilisant toutes les parties prenantes à ce sujet.

Nous avons demandé au responsable interrogé de nous parler un peu du contrôle diagnostique. Selon lui, le contrôle diagnostique est un système, un ensemble de règles formelles très précises utilisées par les responsables d'organisation pour évaluer les résultats, les comparer aux objectifs fixés, identifier les lacunes et les corriger. Après avoir exposé sa perception du contrôle diagnostique à travers cette définition, qui semble plus identique à celle présentée par Simons, il ajoute dans le même sens: « *Par rapport à l'objet de votre recherche, le rôle des systèmes de contrôle diagnostique en ce qui concerne la gestion de la performance globale de notre entreprise est important. On peut dire que cela revient principalement à l'usage d'un ensemble d'outils d'évaluation et de mesure de la performance globale, comme le Balanced Scorecard (BSC) et les lignes directrices des normes ISO 26000, ISO 14000, ISO 9001 et OHSAS 18001. Par exemple, le BSC destiné au management de la RSE englobe un ensemble d'indicateurs nous permettant de se renseigner à tout moment sur la santé et la performance globale de l'entreprise. Il permet de faciliter la communication et la compréhension de notre stratégie RSE par l'ensemble de nos personnels. Je tiens à tirer mon chapeau à cet outil, surtout pendant la période Covid 19, qui a été marquée par une succession d'événements majeurs dans notre pays. Dans de telles circonstances, une entreprise responsable ne doit pas rester indifférente à ce qui se passe. Elle est au cœur de cette préoccupation et doit utiliser tous les atouts à sa disposition pour contribuer à limiter l'impact de la crise. Dans la plupart des cas, nos dirigeants se sont appuyés sur le BSC pour prendre leurs décisions. Je crois d'ailleurs que vous êtes conscients de la précieuse contribution que nous avons apportée pendant la pandémie à la gestion de cette crise. Nous citons l'exemple du parrainage par notre entreprise de la réalisation d'un prototype de respirateur artificiel à modes multiples destinés à différents centres médicaux dans notre pays. Un geste aimable dont tous les marocains étaient fiers et reconnaissants* ».

Comme évoqué ci-dessus dans la présentation de l'entreprise Alpha, l'entreprise dispose d'un certain nombre de certifications de premier plan, notamment ISO 26000, ISO 14000, ISO 9001 et OHSAS 18001. Les lignes directrices de ces normes servent de référence et de base pour contrôler la réalisation des objectifs de l'entreprise en matière de RSE. Les systèmes de contrôle diagnostique s'y réfèrent pour évaluer les résultats, les comparer aux objectifs fixés, identifier les lacunes et les corriger. Ils utilisent également le BSC pour mesurer en permanence la performance globale de l'entreprise. Cet outil reste le seul capable d'évaluer la performance globale, malgré l'absence d'un consensus total sur le sujet [23]. Kaplan et Norton (2006) [23] présentent le BSC avant tout comme un système de contrôle diagnostique dont l'objectif est de contrôler la mise en œuvre d'une stratégie délibérée. Ils le considèrent comme le fer de lance d'un système de déploiement de la stratégie depuis le sommet stratégique jusqu'aux unités opérationnelles. Le responsable interviewé a commencé à énumérer les avantages du BSC en termes de mise en œuvre de la stratégie RSE, notamment lors de périodes critiques telles que la pandémie de Covid 19. Durant cette période, Alpha a entrepris des actions responsables et héroïques telles que le sponsoring du développement d'un prototype de respirateur artificiel multi-mode destiné à être utilisé dans différents centres médicaux au Maroc.

Même question lui a été adressée sur les systèmes de contrôle interactif. Il nous a répondu en confirmant l'utilisation par l'entreprise de ce type de contrôle. Selon lui, ce dernier consiste à organiser des réunions, des débats et dialogues sur un événement imprévu se présentant et pouvant avoir un éventuel impact sur la performance globale de notre entreprise. Il a affirmé que la RSE est un corollaire de l'incertitude stratégique, et que l'imprévu est toujours présent. L'entreprise doit toujours être attentive à son environnement et constamment à l'écoute de toutes ses parties prenantes. Il rajoute: « *Une fois on se lâche, notre entreprise s'exposerait à de multiples risques. Les débats et les réunions qui se tiennent pour discuter de ces aléas semblent utiles et bénéfiques à notre entreprise dans la mesure où ils nous apportent des solutions intelligentes aux différents*

problèmes et nous permettent d'opérer des améliorations sur nos stratégies, voire même de créer de nouvelles plus adaptées à notre potentiel et à l'ordre du jour... ».

Ensuite, l'interviewé se mettait à lister de nombreux cas où ils ont fait appel au contrôle interactif.

Il a cité le rôle de ce système dans trois périodes de crise, à savoir: Covid 19, sécheresse et inflation. A l'aide d'une approche participative, l'entreprise a accordé un soutien technique, financier et social à ses collaborateurs et aux agriculteurs partenaires pour surmonter les conséquences de la crise sanitaire. Elle a aussi apporté un soutien financier et technique aux agriculteurs touchés par la sécheresse qui a frappé notre pays ces dernières années. L'entreprise en question a également pris en compte l'effet pervers de l'inflation sur ses collaborateurs, ses consommateurs et ses partenaires dans les différentes transactions qu'elle a conclues avec eux. Il s'agit là d'un exemple concret de l'efficacité des systèmes de contrôle interactif dans la gestion des crises et le pilotage de la performance globale dans un environnement incertain. Nous exposons un extrait de ce qu'il a dit à ce propos: *« le recours aux systèmes interactifs était intense pendant la période Covid 19. Cette crise a pu mettre à genou le monde entier. Les conséquences de cette dernière sur l'économie nationale, le pouvoir d'achat des citoyens, la performance des entreprises, etc. étaient désastreuses. Nous étions au centre de cette préoccupation. Nous avons supporté ce qui nous a directement touchés, et nous avons aussi essayé de partager avec nos partenaires leurs inquiétudes face à cette crise. Nos collaborateurs se sont touchés dans leur santé ainsi que dans leur pouvoir d'achat. De ce fait, nous avons pris en charge leurs salaires même s'ils n'ont pas travaillé pendant le confinement. Les agriculteurs qui nous fournissent les produits agricoles à la base de notre industrie ont également bénéficié d'un soutien financier, technique et social généreux de notre part. Les actions volontaristes et caritatives de notre entreprise ont été dirigées et orientées par une bonne gouvernance. Le contrôle interactif a joué un rôle considérable dans ce cadre. Les réunions, débats... étaient presque quotidiens. Pendant le confinement, nous avons eu recours à diverses techniques pour discuter et solliciter l'avis de nos employés et de nos partenaires sur cette question. Nous avons utilisé par exemple la visioconférence, la messagerie, les groupes privés sur les réseaux sociaux et, bien sûr, les réunions après le confinement dans le siège de l'entreprise, en respectant les règles de distanciation. Cette approche participative via ce contrôle interactif a permis d'aboutir effectivement à des solutions efficaces pour surmonter cette crise avec un minimum de dégâts. C'est grâce à ce système que nous sommes fiers de nos actions durant cette période. J'ajouterai également notre réussite à limiter les effets de la sécheresse sur nos activités, et par conséquent sur nos performances. Comme vous le savez, Monsieur, notre pays est confronté depuis quelques années à une crise de l'eau étouffante. Une pénurie d'eau aurait certainement un impact sérieux sur le secteur agricole, et par conséquent sur l'industrie agro-alimentaire. La recherche de solutions semble bien évidemment nécessaire pour éviter cette crise. Dans ces circonstances, les systèmes interactifs ont également prouvé leur efficacité pour présenter des solutions et de nouvelles stratégies qui intègrent nos intérêts ainsi que ceux de nos partenaires, en particulier les agriculteurs. Nous leur avons apporté un soutien technique et financier pour faire face à la crise de l'eau. Nous avons encouragé, par nos moyens, les agriculteurs à adopter de nouvelles techniques telles que les applications d'azote à libération lente, l'adoption de l'irrigation au goutte-à-goutte et des techniques de culture novatrices. Je peux citer aussi notre contribution favorable à la limitation de l'impact de l'inflation sur les consommateurs, nos collaborateurs et sur nos partenaires. Ces mesures n'auraient pas été possibles sans les nombreuses réunions des différents comités de notre entreprise, particulièrement le comité de direction, le comité des risques et d'audit, le comité stratégique ainsi que le comité environnement et social. ».*

Comme nous l'avons vu dans la partie théorique, l'articulation des leviers de contrôle diagnostique et de contrôle interactif, en ce qui concerne la gestion de la performance globale, se fait soit par glissement d'un levier à l'autre, soit de façon parallèle à partir d'un système de contrôle de gestion « ambidextre » [33]. La combinaison des deux leviers permet d'améliorer la performance globale des entreprises [33]. Dans le présent cas, les systèmes diagnostiques et systèmes interactifs interviennent en même temps pour le pilotage de ladite performance. Les systèmes de contrôle sont utilisés de manière diagnostique afin d'assurer la mise en œuvre de la stratégie définie, et de façon interactive pour contrôler les performances de l'entreprise au niveau sociétal et tenter d'améliorer les stratégies définies initialement. Dans ce cadre, le responsable avançait: *« Enfin, et pour ne pas oublier un point important, l'intervention de nos systèmes diagnostiques et interactifs, comme vous les appelez, dans la mise en œuvre des stratégies en question se fait de façon parallèle. Les personnes appelées pour les réunions demandent les données provenant des systèmes diagnostiques afin de soutenir leurs propos. Ainsi, les systèmes diagnostiques s'intéressent aux décisions prises à l'aide des systèmes de contrôle interactif. Il s'agit d'un système de mission continue, pourrait-on dire. ».*

En guise de conclusion, nous comprenons de cet entretien que les quatre leviers de contrôle présentés par le cadre de Simons, pour la gestion de la performance globale, sont présents dans les systèmes de contrôle de gestion de l'entreprise Alpha. De plus, les systèmes de contrôle diagnostique de cette entreprise, en vue d'un pilotage de la performance globale, sont des systèmes identiques à ceux décrits par Simons (1994) [35]. Ils sont alors des systèmes formels de feedback utilisés pour piloter les résultats de l'organisation et pour corriger les écarts par rapport aux standards de performance préétablis [35]. Ils utilisent une série d'outils tels que le tableau de bord prospectif et les lignes directrices des certifications internationalement reconnues dans ce domaine.

Quant aux systèmes de contrôle interactif dans cette entreprise, pour un pilotage de la performance globale, sont décrits conformément à ceux présentés par Simons (1994) [35]. Il s'agit donc de systèmes utilisés par les hauts dirigeants pour impliquer les subordonnés dans le processus de prise de décision par le biais du débat et du dialogue [35]. Dans l'entreprise en question, l'utilité de ce système était indiscutable dans des périodes marquées par une certaine incertitude comme indiqué par l'interrogé.

En outre, les propos du responsable interrogé indiquent que la combinaison des deux leviers dans l'entreprise Alpha, à l'égard de la question RSE, contribue à l'amélioration de la performance globale. L'articulation se fait de façon parallèle à partir d'un système « ambidextre ». C'est-à-dire que les systèmes de contrôle de gestion de cette entreprise utilisent les dispositifs des systèmes diagnostiques en même temps que l'utilisation de ceux des systèmes interactifs. Les premiers visent à déployer la stratégie, tandis que les seconds sont conçus pour favoriser l'émergence de nouvelles stratégies pour une meilleure gestion de la performance globale.

4 CONCLUSION

Dans le cadre de la présente étude, nous rappelons que l'objectif de ce travail de recherche est d'étudier la contribution des systèmes de contrôle de gestion au pilotage de la performance globale des grandes entreprises. L'étude théorique, basée sur l'analyse de l'apport du cadre de Simons et de la théorie des parties prenantes, nous a permis de comprendre comment les systèmes de contrôle de gestion prennent-ils part au pilotage de la performance globale au sein des entreprises. Le cadre théorique de ce travail de recherche postule que le pilotage et l'amélioration de la performance globale dans les organisations se fait par l'articulation des leviers de contrôle diagnostique et interactif. Cette combinaison se fait soit par « glissement » d'un levier à l'autre, soit de façon parallèle à partir d'un système de contrôle de gestion « ambidextre ». À travers une étude exploratoire basée sur le cas d'une grande entreprise marocaine opérant dans le secteur de l'agroalimentaire, il s'est avéré que les quatre leviers de contrôle présentés par le cadre de Simons sont présents dans les systèmes de contrôle de gestion de ladite entreprise. Ainsi, le pilotage et l'amélioration de la performance globale de cette entreprise se fait par l'articulation des leviers de contrôle diagnostique et interactif à partir d'un système de contrôle de gestion de performance globale « ambidextre ».

Notre recherche présente des implications managériales et scientifiques importantes dans la mesure où elle met en lumière l'utilité des systèmes de contrôle de gestion dans la formulation et la mise en œuvre des stratégies d'entreprise telles que celles relatives à la RSE. Elle contribue également à sensibiliser les dirigeants d'entreprises à la nécessité de mettre en place des systèmes de contrôle de gestion efficaces et capables de piloter la performance globale de leurs entreprises, comme ceux décrits dans la partie théorique.

Cependant, il paraît aussi que notre recherche présente des limites. Le traitement d'une telle question via l'étude d'un seul cas semble insuffisant. Il sera intéressant de mener une étude similaire mais sur plusieurs cas de différentes tailles et appartenant à différents secteurs d'activité. Enfin, nous suggérons pour les futurs travaux de recherche de mener une étude visant à explorer la démarche des systèmes de contrôle de gestion de type « ambidextre » afin d'inspirer les entreprises à reconsolider leurs systèmes de contrôle de gestion pour un meilleur pilotage de leur performance globale.

REFERENCES

- [1] Anthony, R. (1965). *Planning and control systems, a framework for analysis*. Boston: Division of research, Harvard Business School.
- [2] Anthony, R. (1988). *The management control fonction*. Boston: The Harvard Business school.
- [3] Baret, P. (2006). L'évaluation contingente de la Performance Globale des Entreprises: Une méthode pour fonder un management socialement responsable ? *2 ème journée de recherches du CEROS*.
- [4] Berland, N. (2014). *Le contrôle de gestion* (éd. 1). Paris: Presses Universitaires de France.
- [5] Berland, N., & Essid, M. (2010, Mars). systèmes de contrôle et pilotage de la performance globale. *halshs-00460538*.
- [6] Berland, N., & Essid, M. (2011). Les impacts de la RSE sur les systèmes de contrôle. *Comptabilité - Contrôle - Audit*, 59-88.
- [7] Berthoin, A., & Sobczak, A. (2010). Nouvelles perspectives sur l'engagement des parties. *Hal Open Science*.
- [8] Bessire, D. (1999, Septembre). Définir la performance. *Comptabilité-Contrôle-Audit*, 127.
- [9] Bonneveux, E., & Calme, I. (2010). Le processus d'appropriation d'une démarche de RSE par des dirigeants de petites entreprises: Rôle et portée d'une démarche collective menée au sein d'un réseau de pairs. *10ème CIFEPME*. université Montesquieu Bordeaux IV.
- [10] Bouquin, H. (2004). La notion de performance. *journée d'étude I.A.E. de Tours*. Tours.
- [11] Bourguignon, A. (1995, Juillet-août). Peut-on définir la performance ? *Revue Française de Comptabilité*, p62.

- [12] Bourguignon, A. (1997). Sous les pavés, la plage... ou les multiples fonctions du vocabulaire comptable: l'exemple de la performance. *Comptabilité, Contrôle, Audit*, 3 (1), 89.
- [13] Bourguignon, A. (2000). Performance et contrôle de gestion. *encyclopédie de Comptabilité, Contrôle de gestion et audit*, 407.
- [14] Bowen. (s.d.). (1953) in Lépineux F. et al. (2016). La RSE la responsabilité sociétale des entreprises: théories et pratiques. Paris: Dunod.
- [15] Burlaud, A., & Simon, C. (2013). *Le contrôle de gestion*. Paris: La Découverte.
- [16] Capron, M., & Quairel-Lanoizelée, F. (2004). *Mythes et Réalités de l'entreprise Responsable*. Paris: La Découverte.
- [17] Capron, M., & Quairel-Lanoizelee, F. (2005). Evaluer les stratégies de développement durable des entreprises: l'utopie mobilisatrice de la performance globale. *Journée Développement Durable- AIMS- IAE – IAE d'Aix-en-Provence*, (p. 22).
- [18] Carroll. (s.d.). (1979) in Lépineux F. et al. (2016). La RSE la responsabilité sociétale des entreprises: théories et pratiques. Paris: Dunod.
- [19] Freeman. (s.d.). (1984) in Lépineux F. et al. (2016). La RSE la responsabilité sociétale des entreprises: théories et pratiques. Paris: Dunod.
- [20] Germain, C., & Gates, S. (2007). Le niveau de développement des indicateurs de responsabilité sociale dans les outils de pilotage de contrôle de gestion: une analyse des pratiques des entreprises. *Actes du 28^{ème} Congrès de l'AFC*. Poitiers.
- [21] Germain, C., & Trébucq, S. (2004). La performance globale de l'entreprise et son pilotage: quelques réflexions. *Semaine sociale Lamy*, (p. 35).
- [22] Hamdoun, M., & al. (2016). La responsabilité sociale de l'entreprise et la performance financière des entreprises tunisiennes: Rôle médiateur de la réputation et du capital humain. Récupéré sur *strategie-aims*: <https://www.strategie-aims.com/events/conferences/27-xxveme-conference-de-l-aims/communications/>.
- [23] Kaplan, R., & Norton, D. (2006). *Alignment*. Boston: Harvard Business School Press.
- [24] Marquet-Pondeville, S. (2003). L'impact de la stratégie environnementale, des pressions perçues des « stakeholders » environnementaux et de l'incertitude perçue de l'environnement écologique sur un système de contrôle de gestion environnemental formel. *Post-Print halshs-00582803*.
- [25] Miles, A., & Huberman, A. (2003). *A.M., Huberman A.M., Analysing Qualitative Data: a*. Bruxelles,: De Boeck.
- [26] Naro, G., & Travaillé, D. (2010). Construire les stratégies avec le Balanced Scorecard: vers une approche interactive du modèle de Kaplan et Norton. *Revue Finance Contrôle Stratégie*, 13 (2), 33-66.
- [27] O'Reilly, A., & Tushman, M. (2004). The ambidextrous organization. *Harvard Business Review*, 82 (4), 74-81.
- [28] Pesqueux, W. (2004). La notion de performance globale. 5^{ème} forum international sur « La Performance Globale de l'Entreprise, Université Tunis Carthage, 1^{er} – 2 Décembre 2004. Tunis.
- [29] Preston, & Post. (s.d.). (1975) in Lépineux F. et al. (2016). La RSE la responsabilité sociétale des entreprises: théories et pratiques. Paris: Dunod.
- [30] Prévost, P., & Roy, M. (2012). Les études de cas: un essai de synthèse. *Revue Organisations & Territoires*, 1 (21), 67–82.
- [31] Quairel, F. (2006). Contrôle de la performance globale et RSE. *Actes du congrès de l'Association Francophone de Comptabilité*.
- [32] Renaud, A. (2013). Les configurations de contrôle interactif dans le domaine environnemental. *Comptabilité Contrôle Audit*, 2, 101-132.
- [33] Renaud, A. (2015).: *Management et contrôle de gestion environnementale*. Paris: Edition EMS.
- [34] Simons, R. (1987). Accounting control systems and business strategy: an empirical analysis. *Accounting, Organization and Society*, 12, 357-374.
- [35] Simons, R. (1994). How new top managers use control systems as levers of strategic renewal. *Strategic Management Journal*, 15, 169.
- [36] Simons, R. (1995). *Levers of control: how managers use innovative control systems to drive strategic renewal*. Boston, Massachusetts: Harvard Business School Press.
- [37] Widener, S. (2007). An empirical analysis of the levers of control framework ». *Accounting, Organizations and Society* 32, 757–788.
- [38] Yin, R. (1994). *Case study research: Design and methods 2*. New York: Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

Evaluation of the antioxidant, hypoglycemic, and anti-hyperglycemic potential of a fermented drink made from tamarind, ginger, and turmeric in rabbits

Anoh E. Raïssa Inès Stéphanie¹, Agbo Adouko Edith¹, Konan Kouassi Pierre Alain², Gbogbo Moussa³, and Brou Kouakou¹

¹Nutrition and Food Security Laboratory, Nangui ABROGOUA University, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

²Laboratory of Bioorganic Chemistry and Natural Substances (LCBOSN), Nangui ABROGOUA University, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

³Department of Biochemistry and Microbiology, Jean Lorougnon GUÉDÉ, University, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: Beverages are important in the diet because they help humans stay hydrated. However, they are implicated in the development of metabolic diseases due to their variable sugar content. A study was therefore conducted to develop and evaluate the antioxidant and hypoglycemic properties of a drink made from tamarind, turmeric and ginger, given the nutritional potential of these foods. For this, turmeric and ginger were added to tamarind in a ratio of 10%. The drinks were fermented spontaneously for 36 hours. The analyses were on pH, total polyphenols, and antioxidant activity according to DPPH determination. These beverages were then administered to healthy 2-month-old rabbits to assess their impact on blood sugar levels. Results revealed that beverages pH remained acidic and below 3 during fermentation. The combination of tamarind (90%), turmeric (5%), and ginger (5%) increased polyphenol content from 1.498 to 1.514 mg GAE/g. Fermented tamarind-turmeric and tamarind-turmeric-ginger drinks DPPH inhibitory concentrations (IC₅₀) were 2.14 and 2.23 µg/ml respectively, revealing respective anti-radical powers of 37.74 and 44.84 µmol of reduced DPPH. Combination of tamarind (90%), turmeric (5%), and ginger (5%) also led to a decrease in blood sugar levels 2.5 hours after glucose induction from 126.6±15.30 to 112.8±5.63 (mg/dL) and from 121±9.72 to 112.6±6.65 (mg/dL), respectively. The anti-hyperglycemia test revealed a decrease in blood glucose levels for all beverages. Beverages made from tamarind, turmeric, and ginger have good antioxidant properties that promote lower blood sugar levels, contributing to fight against metabolic diseases.

KEYWORDS: tamarind, ginger, turmeric, fermentation, antioxidant, blood sugar.

1 INTRODUCTION

Hyperglycemia is a real health problem that is part of the metabolic syndrome, resulting in high blood sugar levels, very often caused by oxidative stress but also by poor eating habits such as excessive consumption of sugary drinks [1]. However, the amount of sugar added to these drinks is not always controlled by the manufacturer [2], [3]. So, population is increasingly turning to a healthy, so-called functional diet based on fruits and vegetables rich in phytonutrients. These Phytonutrients, found in plant-based foods, are attracting considerable interest in the fight against metabolic diseases [4].

To address the resurgence of metabolic diseases, it would be beneficial to boost the potential of tamarind by adding antioxidant spices, particularly ginger and turmeric, and by using the process of spontaneous lactic fermentation. Indeed, lactic acid fermentation is a biological process that transforms food through the action of lactic acid bacteria. This age-old process is used for preservation, to improve flavor, taste, and nutritional value of food, to increase the bioavailability of bioactive compounds, and to promote the production of metabolites beneficial to health [5].

Furthermore, fermented foods and beverages, rich in probiotics and bioactive compounds, are generating increasing interest due to their potential positive effects on health and nutrients (phenolic compounds, B vitamins, essential amino acids,

etc.) improvement [6]. In addition, spices with antioxidant properties have the ability to eliminate free radicals, which are the basis of oxidative stress. Indeed, [7] in her study has shown that adding ginger and turmeric to tamarind increased also antioxidant potential without fermentation. But, a hepatoprotective effect of fermented turmeric rhizome was observed in rats and, during plant fermentation, lactic acid bacteria are able to hydrolyze phenolic compounds present in polymer form, thus releasing bioactive molecules and increasing their bioavailability [8].

However, these studies did not assess the impact of these nutrient- and antioxidant-dense beverages on metabolic diseases, particularly hyperglycemia. This study therefore aims to evaluate the antioxidant, hypoglycemic, and antihyperglycemic effects of fermented beverages based on tamarind, ginger, and/or turmeric in rabbits.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 BIOLOGICAL MATERIAL

Plant materials used in this study were tamarind pods (*Tamarindus indica*), turmeric (*Curcuma longa* L.), and ginger (*Zingiber officinale*). Tamarind pods were harvested in Lagnonkaha, a village in Korhogo department of the PORO region, located in northern Côte d'Ivoire, approximately at 600 kilometers from Abidjan, the economic capital. Turmeric and ginger rhizomes were collected in Divo, in the LÔH-DJIBOUA region, in southwestern Côte d'Ivoire, at approximately 187.9 km from Abidjan.

Animal materials consisted of 30 Hyplus rabbits, aged two months, with body weights ranging from 600 to 1800 grams. The rabbits were acclimatized for one week in cages and received daily water and pellets (IVO-GRAINS). They were divided into 10 groups of 3 rabbits and received treatments over a period of 28 days. All rabbits were used for *in vivo* tests, and the experimental protocol and animal handling procedures were conducted in accordance with the guidelines of the Ethics Committee of Nangui ABROGOUA University (Côte d'Ivoire).

2.2 BEVERAGE FERMENTATION

Tamarind beverage was prepared by adding 800 mL of water to 250 g of tamarind. Tamarind-turmeric and tamarind-ginger beverages were prepared by mixing 800 mL of water with 90% tamarind (225 g) and 10% turmeric or ginger (25g), respectively. The tamarind-turmeric-ginger beverage was prepared by mixing 800 mL of water with 90% tamarind, 5% turmeric, and 5% ginger. The mixtures were transferred into sterilized glass jars, sealed hermetically, and 10 g of salt was added as a preservative and as a nutrient for bacterial growth. Samples of each beverage were taken at time 0 (T0H), representing the non-fermented beverages. The remaining mixtures underwent spontaneous fermentation for 36 hours at 37°C, maintaining a pH below 3 for each beverage. Samples were then taken every 12 hours for analysis. However, for *in vivo* analysis, only T0H and T36H samples were used.

2.3 BLOOD SAMPLING

Blood samples were collected using a glucometer with test strips (One Call Vivid) via puncture of the marginal vein of the ear. Samples were taken before force-feeding at T0min, then at 30, 60, 90, and 150 min after induction of hyperglycemia.

2.4 DETERMINATION OF PH, PHENOLIC COMPOUNDS AND ANTIOXIDANT ACTIVITY

The pH was determined using the [9] method, and total polyphenols were determined using the [10] method. Antioxidant activity according to DPPH was determined using the method of [11]. The IC₅₀ was determined on the graph and used to calculate the anti-radical power using [12] method according to the following equation:

$$\text{ARP} = \frac{\text{Concentration of DPPH solution (mg sample / } \mu\text{mol DPPH)}}{\text{IC}_{50} \times 10^{-3} (\mu\text{g/ml)}} \quad (1)$$

2.5 EVALUATION OF HYPOGLYCEMIC AND ANTIHYPERGLYCEMIC EFFECT

2.5.1 INDUCTION OF HYPERGLYCEMIA

Hyperglycemia was induced using anhydrous glucose in solution at a concentration of 4 g.l⁻¹ via an intubation cannula. The volume administered was 0.2 ml of glucose per 20 g of body weight (bw), 10 mg/kg bw [13]; [14]. Rabbits that had been fasting for 12 hours were used for the tests [15].

2.5.2 EVALUATION OF THE HYPOGLYCEMIC EFFECT

Thirty minutes after the induction of hyperglycemia by anhydrous glucose (10 mg/kg bw), rabbits from batches 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, and 10 received extracts of fermented or unfermented beverages. Those in groups 1 and 2 received water and glybenclamide, respectively, after induction of hyperglycemia. Blood glucose levels were monitored at 0, 30, 60, 90, and 150 min.

2.5.3 EVALUATION OF THE ANTI-HYPERGLYCEMIC EFFECT

For this test, rabbits from different groups were given water, glybenclamide, and 2 ml per 100 g of fermented or unfermented beverage extract (groups 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, and 10) via gavage. Thirty minutes later, hyperglycemia was induced by administering anhydrous glucose (10mg/kg bw). Blood glucose levels were monitored at 0, 30, 60, 90, and 150 minutes.

2.6 STATISTICAL ANALYSIS

The results statistical analysis was processed using XLSTAT 2016 and Statistica7.1 software. An ANOVA followed by Tukey and Newman-Keuls post hoc tests were used to compare the means at a significance level of 5% (p=0.05).

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 RESULTS

3.1.1 EVOLUTION OF PH DURING FERMENTATION

Table 1 shows beverages pH values during fermentation. From T0h to T36h, the pH of the beverages varied but remained acidic and below 3. However, the pH of the TC10 beverage fluctuated between 2.78 and 2.52. The pH remained stable from T24h to T36h. However, TG10, TCG10, and T100 beverages pH increased from T0h to T36h, rising from 2.38 to 2.48 for the TG10 beverage, from 2.27 to 2.47 for the TCG10 beverage, and from 2.1 to 2.42 for the T100 beverage.

Table 1. Evolution of pH during fermentation

Time	Beverages			
	T100	TC10	TG10	TCG10
T0H	2,1±0,02 ^a	2,78±0,02 ^c	2,38±0,01 ^a	2,27±0,02 ^a
T12H	2,25±0,01 ^b	2,52±0,1 ^b	2,42±0,01 ^a	2,56±0,1 ^c
T24H	2,2±0,02 ^b	2,62±0,1 ^b	2,43±0,01 ^a	2,43±0,01 ^b
T36H	2,42±0,01 ^c	2,62±0,1 ^b	2,48±0,01 ^c	2,47±0,01 ^b

T100: drink made with 100% Tamarind. TC10: drink made with 90% Tamarind and 10% Turmeric; TG10: drink made with 90% Tamarind and 10% Ginger; TCG10: drink made with 90% Tamarind, 5% Turmeric and 5% Ginger. Values followed by the same letter in line do not differ significantly, Newman keul (p=0.05).

3.1.2 CHANGES IN PHENOLIC COMPOUNDS IN FERMENTED AND NON-FERMENTED BEVERAGES

Figure 1 shows the total phenolic compound content generally increased between T0h and T36h during beverage fermentation. In fact, total phenolic compounds increased from 1.431 to 1.528 mg GAE/g DM (in T100 beverage) and from 1.305 to 2.011 mg GAE/g DM (in TC10 beverage). However, peaks were observed at T12H for TG10 beverage (1,326 mg GAE/g DM) and for TCG10 beverage (1.12 to 1,514 mg GAE/g DM).

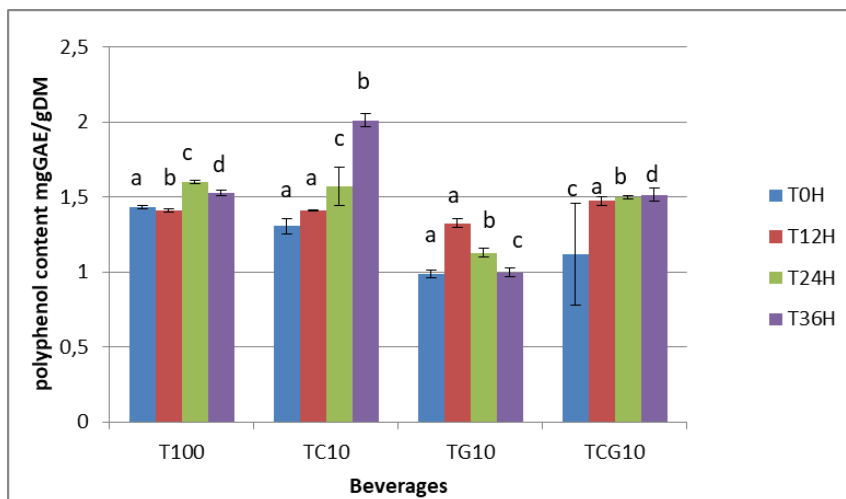


Fig. 1. Changes in total polyphenols during beverage fermentation

T100: drink made with 100% Tamarind. TC10: drink made with 90% Tamarind and 10% Turmeric; TG10: drink made with 90% Tamarind and 10% Ginger; TCG10: drink made with 90% Tamarind, 5% Turmeric and 5% Ginger; Values followed by the same letter in line do not differ significantly, Newman keul ($p=0.05$).

3.1.3 EVOLUTION OF TANNINS IN FERMENTED AND NON-FERMENTED BEVERAGES

Figure 2 shows the evolution of tannins during fermentation of the different beverages from T0h to T36H. These values decrease for TC10 and TG10 beverages, ranging from 0.497 to 0.481mg TAE/l for TC10 beverage, and from 0.749 to 0.591mg TAE/l for TG10 beverage. However, there was an increase in TCG10 and T100 beverages from T0h to T24h and then a decrease until T36h. The variation rank from 0.509 to 0.665mg TAE/l for TCG10 beverage, and from 0.471 to 0.553mg TAE/l for T100.

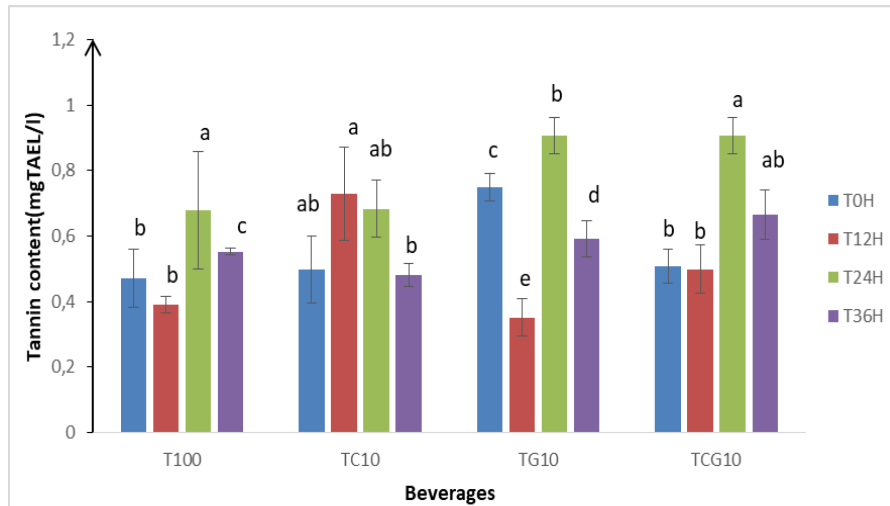


Fig. 2. Evolution of tannins

T100: drink made with 100% Tamarind. TC10: drink made with 90% Tamarind and 10% Turmeric; TG10: drink made with 90% Tamarind and 10% Ginger; TCG10: drink made with 90% Tamarind, 5% Turmeric and 5% Ginger; Values followed by the same letter in line do not differ significantly, Newman keul $p=0.05$

3.1.4 EVOLUTION OF ANTIOXIDANT ACTIVITY

Beverages’ antioxidant activity evolution during fermentation is presented in figure 3. In general, this antioxidant activity increases with concentration. Moreover, tables 2 and 3 show IC₅₀ and free radical scavenging capacity. Vitamin C (standard) IC₅₀ is about 1.61 µg/ml, revealing a free radical scavenging capacity of 62.11 mg of sample/µmol of reduced DPPH. Only

Tamarind-Turmeric (TC10) beverage IC_{50} at T0h (1.82 $\mu\text{g}/\text{ml}$) is close to that of vitamin C (Table 2). From T0h to T36h, there is an increase in antioxidant activity for the TG10 and TCG10 beverages. This increase is marked by a decrease of IC_{50} from 4.86 to 3.5 $\mu\text{g}/\text{ml}$ and from 2.65 to 2.23 $\mu\text{g}/\text{ml}$, respectively (Table 2), and an increase in free radical scavenging capacity from 20.58 to 28.57 and from 37.74 to 44.84 $\text{mg}/\mu\text{mol}$ of reduced DPPH, respectively (Table 3). However, the TC10 beverage has the highest free radical scavenging capacity, at 54.95 $\text{mg}/\mu\text{mol}$ of reduced DPPH. But this free radical scavenging capacity decreases to 46.73 $\text{mg}/\mu\text{mol}$ of reduced DPPH after 36 hours of fermentation.

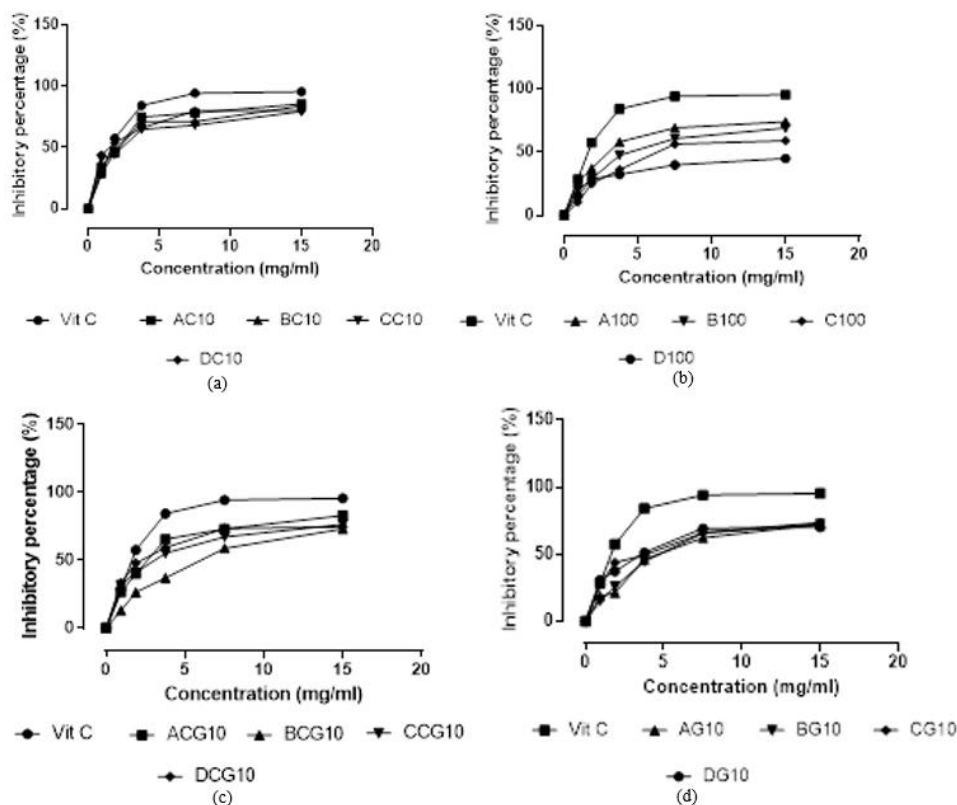


Fig. 3. Evolution of the Percentage of Inhibition of Beverages and Vitamin C as a Function of Concentration: (a) tamarind-based beverage, (b) tamarind-turmeric beverage, (c) tamarind-ginger beverage, (d) tamarind-turmeric-ginger beverage

A100: Tamarind at T0; B100: Tamarind at T12; C100: Tamarind at T24; D100: Tamarind at T36; AC10: Tamarind-turmeric at T0; BC10: Tamarind-turmeric at T12; CC10: Tamarind-turmeric at T24; DC10: Tamarind-turmeric at T36; AG10: Tamarind-ginger at T0; BG10: Tamarind-ginger at T12; CG10: Tamarind-ginger at T24; DG10: Tamarind-ginger at T36; ACG10: Tamarind-turmeric-ginger at T0; BCG10: Tamarind-turmeric-ginger at T12; CCG10: Tamarind-turmeric-ginger at T24; DCG10: Tamarind-turmeric-ginger at T36.

Table 2. Inhibitory concentration (IC_{50}) of non-fermented and fermented beverages

Time	IC_{50} ($\mu\text{g}/\text{ml}$)				
	Vitamin C	T100	TC10	TG10	TCG10
T 0H	1.61	3.11 \pm 0.1 ^a	1.82 \pm 0.1 ^a	4.86 \pm 0.2 ^c	2.65 \pm 0.1 ^b
T 12H	1.61	4.51 \pm 0.1 ^c	2.32 \pm 0.2 ^c	4.86 \pm 0.2 ^c	6.08 \pm 0.2 ^e
T 24H	1.61	6.35 \pm 0.2 ^j	2.46 \pm 0.2 ^j	4.07 \pm 0.2 ^b	3.18 \pm 0.2 ^j
T 36H	1.61	6.3 \pm 0.2 ^j	2.14 \pm 0.1 ^b	3.5 \pm 0.2 ^a	2.23 \pm 0.1 ^a

T100: drink made with 100% Tamarind. TC10: drink made with 90% Tamarind and 10% Turmeric; TG10: drink made with 90% Tamarind and 10% Ginger; TCG10: drink made with 90% Tamarind, 5% Turmeric and 5% Ginger. Values followed by the same letter in line do not differ significantly, Newman keul ($p=0.05$).

Table 3. Evolution of anti-radical power in non-fermented and fermented beverages

Time	ARP (μmol. ml/μg)				
	Vitamine C	Beverages			
		T100	TC10	TG10	TCG10
T0H	62.11±0.2 ^a	32.15±0.2 ^d	54.95±0.2 ^e	20.58±0.1 ^a	37.74±0.2 ^d
T12H	62.11±0.2 ^a	22.17±0.1 ^b	43.10±0.1 ^c	20.58±0.1 ^a	16.45±0.1 ^a
T24H	62.11±0.2 ^a	15.75±0.1 ^a	40.65±0.1 ^b	24.57±0.2 ^c	31.45±0.1 ^b
T36H	62.11±0.1 ^a	15.87±0.1 ^a	46.73±0.2 ^d	28.57±0.2 ^d	44.84±0.2 ^e

T100: beverage prepared from 100% tamarind; TC10: beverage prepared from 90% tamarind and 10% turmeric; TG10: beverage prepared from 90% tamarind and 10% ginger; TCG10: beverage prepared from 90% tamarind, 5% turmeric, and 5% ginger. Note: In any given column, values followed by the same letter do not differ significantly at the $p = 0.05$ level, according to Dunnett's test.

3.1.5 ASSESSMENT OF BEVERAGES GLYCEMIC PARAMETERS

3.1.5.1 ASSESSMENT OF BEVERAGES HYPOGLYCEMIC POTENTIALITIES

Figure 4 shows the hypoglycemic effect of fermented and unfermented beverages over time (T0 to T150 min) on rabbits' blood glucose levels after oral administration of anhydrous glucose. At T0, i.e., before treatment of the rabbits, fasting blood glucose levels showed significant differences among the 10 experimental groups. Group 2 (150 ± 0.33 mg/dL) had the highest fasting blood glucose level, and the lowest was observed in group 5 (93.4 ± 5.27 mg/dL). Anhydrous glucose was administered after the fasting blood glucose level was measured, resulting in an exponential variation between T0 and T30, with 305.8 ± 52.52 mg/dL being the maximum observed blood glucose value for these different rabbit groups. Furthermore, after treatment of the experimental rabbit groups with the studied extracts and glibenclamide, particularly at times T30 and T150, a significant and very significant decrease in blood glucose was observed in these groups compared to the control group that received distilled water. However, in rabbits that received glibenclamide and those in groups 7 and 10, the blood glucose value at T150 was lower than the starting blood glucose, namely 84.6 ± 12.58 mg/dL, 110.2 ± 81.76 mg/dL, 112.8 ± 5.63 mg/dL, and 112.6 ± 6.65 mg/dL at T150 versus 124 ± 1.58 mg/dL, 115 ± 5.45 mg/dL, 126.6 ± 10.06 mg/dL and 126.6 ± 15.30 mg/dL at T0.

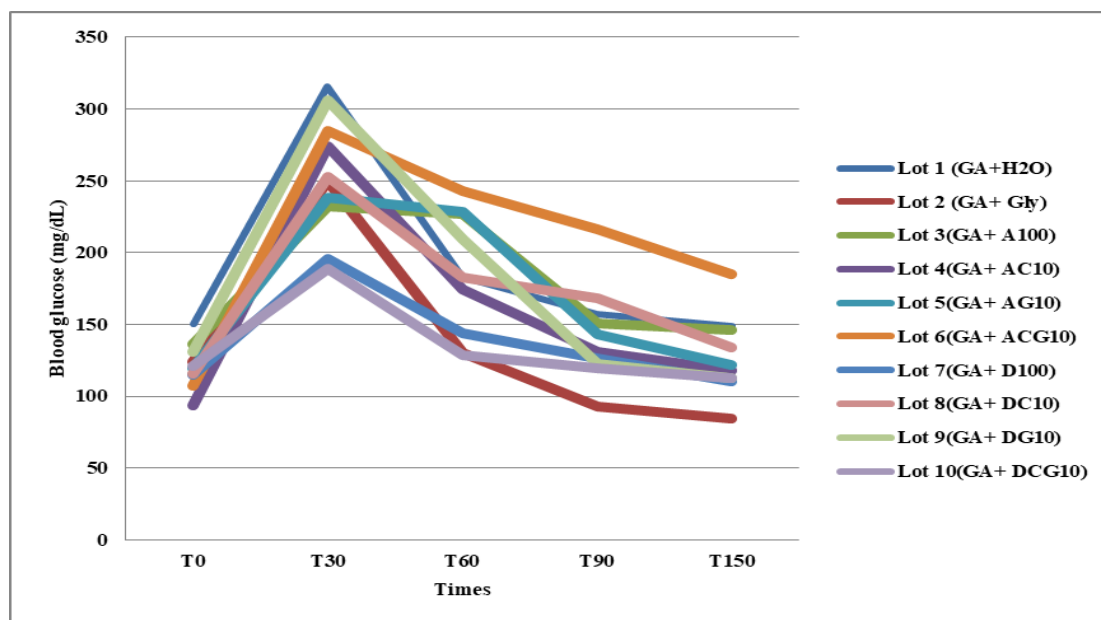


Fig. 4. Hypoglycemic effect of fermented and unfermented beverages

AC10: beverage composed of 90% tamarind and 10% turmeric T0H, AG10: beverage composed of 90% tamarind and 10% ginger TOH; ACG10: beverage composed of 90% tamarind, 5% turmeric, and 5% ginger TOH; A100: beverage composed of 100% tamarind TOH DC10: beverage composed of 90% tamarind and 10% turmeric T36H, DG10: beverage composed of 90% tamarind and 10% ginger T36H; DCG10: drink composed of 90% tamarind, 5% turmeric, and 5% ginger T36H; D100: drink composed of 100% tamarind T36H, GLY (glibenclamide), GA (anhydrous glucose), H2O (water).

3.1.5.2 EVALUATION OF BEVERAGES ANTI-HYPERGLYCEMIC POTENTIAL

Figure 5 shows the antihyperglycemic effect of the beverages on the blood glucose levels of rabbits after oral administration of unfermented and fermented beverages followed by anhydrous glucose. Fasting blood glucose levels ranged from 103.4 ± 5.18 mg/dL to 152 ± 5.15 mg/dL. For this test, the beverages and glibenclamide were administered by gavage before the introduction of anhydrous glucose at T30, i.e., 30 minutes after. Analysis of the results revealed a significant decrease in blood glucose levels between T0 and T30 for all 10 groups except the control group. However, at T150, only a significant decrease in blood glucose was observed in the rabbits treated with glibenclamide and the extracts compared to the control group that received only distilled water. In rabbits that received water and pure unfermented tamarind juice, blood glucose levels increased up to T60 before decreasing at T150, although still higher than blood glucose levels at T0. However, in rabbits that received glibenclamide and in those from groups 4 to 10, i.e. those that received the drinks enriched with unfermented turmeric and ginger and those that received the fermented drinks, blood glucose increases at T30 and decreases at T90.

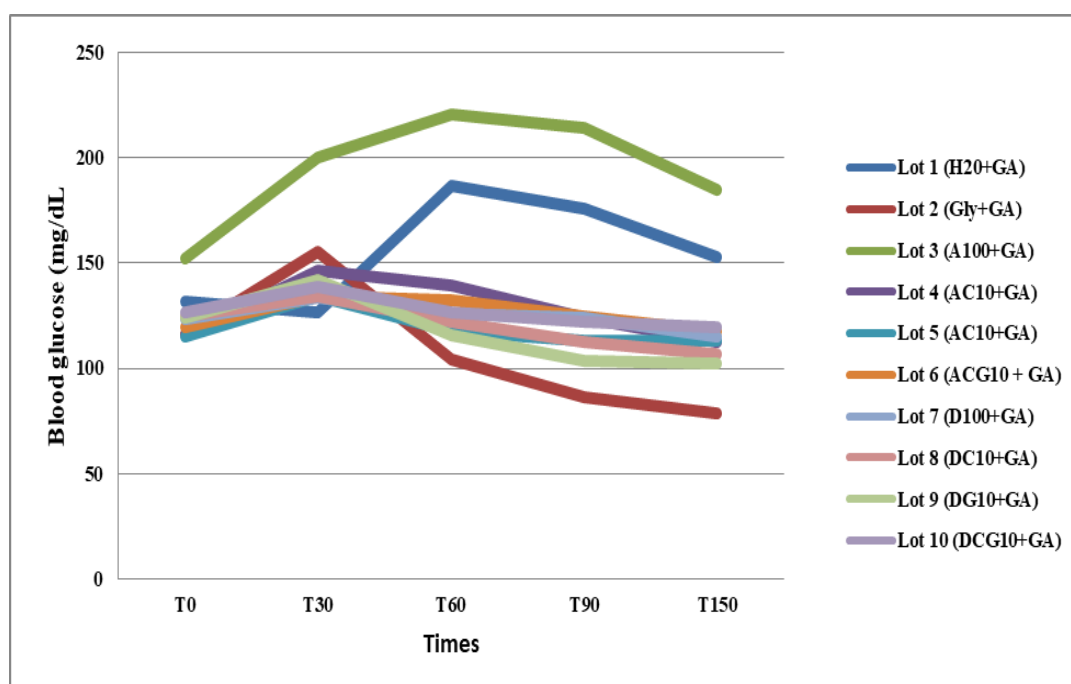


Fig. 5. Evolution of the anti-hyperglycemic effect of unfermented and fermented drinks

AC10: unfermented beverage composed of 90% tamarind and 10% turmeric; AG10: unfermented beverage composed of 90% tamarind and 10% ginger; ACG10: unfermented beverage composed of 90% tamarind, 5% turmeric, and 5% ginger; A100: unfermented beverage composed of 100% tamarind DC10: fermented beverage composed of 90% tamarind and 10% turmeric, DG10: fermented beverage composed of 90% tamarind and 10% ginger; DCG10: fermented beverage composed of 90% tamarind, 5% turmeric, and 5% ginger; D100: fermented beverage composed of 100% tamarind, GLY (glibenclamide), GA (anhydrous glucose), H2O (water).

3.2 DISCUSSION

The study results showed that the beverages pH remained acidic throughout the fermentation process. This could be explained by the production of lactic acid bacteria during the fermentation process [16]. However, [17] showed a decrease in pH from 6.13 before fermentation to 3.9 after 72 hours of fermentation in fermented kale juice. These results are higher than the values obtained during fermentation and differ from those found by [18] in pineapple wine, where the pH was around 4.5.

Regarding the evolution of total polyphenols during fermentation, an increase in polyphenols was observed in the T100%, TC10%, and TCG10% beverages. According to [19], microorganisms are thought to be the cause of this increase, which could be due to the release of phenolic compounds during fermentation. However, it would depend on the species or strain of bacteria present in the beverage during fermentation [20]. Furthermore, [21]; [22] also found an increase in total polyphenols in fermented kale juice. This result is consistent with that obtained for fermented beverages. However, a decrease in

polyphenols was observed in the TG10% beverage. This could be due to different interactions between polyphenols and nutrients. Indeed, according to [23], the interaction between polyphenols and proteins makes polyphenols less extractable.

According to [24], the lower the IC₅₀, the greater the antioxidant capacity of the food. This is the case for the 10% TC fermented beverage compared to other fermented beverages after 36 hours of fermentation. This decrease confirms the greater antioxidant activity of this beverage. These results are consistent with those of [25], who demonstrated an increase in the antioxidant activity of lemon juice after fermentation. They also corroborate the findings of [26], who reported an increase in IC₅₀ after kambuncha fermentation ranging from 9 to 21 µg/mL. The decrease of antinutritional factors rate during fermentation, particularly tannins, can be explained either by the hydrolysis of polyphenolic compounds into simple compounds by polyphenol oxidase, or by the degradation of tannin complexes (tannin-protein, tannin-starch, tannin-iron), [27].

Regarding the evaluation of the hypoglycemic effect of beverages, analysis of the results showed an increase in blood glucose levels after administration of anhydrous glucose to rabbits via gavage. However, this increase was followed by a rapid decrease after the drinks and glibenclamide were administered. According to [28], the hypoglycemic effect of the drinks is likely linked to their polyphenol and flavonoid composition. Indeed, flavonoids reduce the risk of diabetes, probably due to their strong inhibition of α -amylase and α -glucosidase, thereby decreasing glycogen breakdown. This potential mechanism is similar to that of hypoglycemic biguanides (metformin), which inhibit glucose absorption in the small intestine and thus decrease gluconeogenesis in the liver [29]. These beverages could therefore act via this same mechanism to reduce blood glucose levels in consumers or patients with diabetes. Furthermore, in the evolution of the hypoglycemic effect, consumption of the DCG10% and DG10% beverages led to a decrease in blood glucose levels, ultimately reaching a value below the baseline blood glucose level (T0h).

The fermented beverages DCG10 and DG10 thus promoted blood glucose regulation blood glucose levels by inhibiting the enzymes responsible for glucose absorption, thereby stimulating insulin production [30]. These results corroborate those of [31], who demonstrated the hypoglycemic effect of the ethanolic extract of *Anthocleista djalensis* roots after administration at doses of 37 to 111 mg/kg in rabbits made diabetic by alloxan. With regard to the anti-hyperglycemic effect of the beverages produced, analysis of the results revealed a significant decrease in blood glucose levels in rabbits treated with glibenclamide and in those fed with the beverages produced between T60 and T150. These results would suggest that the beverages had an antihyperglycemic effect in rabbits. For 2 and a half hours, they regulated blood glucose levels in rabbits fed a high concentration of anhydrous glucose. These beverages could therefore correct orally induced hyperglycemia in rabbits thanks to certain phytochemical compounds contained in tamarind, turmeric and ginger.

Indeed, according to [32] and [33], turmeric and ginger have good antioxidant potential, partly due to their phenolic compounds. However, [34] revealed that the hypoglycemic effect of wild olive leaves on blood sugar levels in rabbits was due to oleuropein, a powerful antioxidant contained in these leaves. The antioxidant activity generated by phenolic compounds could also have an impact on blood sugar levels. Indeed, in a study conducted by [35], it was reported that fruits may contain several active components that effectively regulate blood glucose levels in hyperglycemic rats and rabbits. These constituents may exert their effect by potentiating insulin secretion from residual insulin-producing cells or by increasing the cells' capacity to maintain glucose, including insulinotropic and protective and/or regenerative effects on pancreatic β -cell mass.

4 CONCLUSION

This study reveals that tamarind drinks enriched with ginger and turmeric contain phenolic compounds, giving them significant antioxidant potential. Furthermore, these drinks have a hypoglycemic effect on postprandial blood glucose and a pronounced antihyperglycemic effect when fermented. Evaluation of the antihyperglycemic potential of these drinks in rabbits showed very low oral glucose tolerance activity compared to the hypoglycemic test. In other words, the consumption of tamarind drinks enriched with ginger and turmeric would help restore blood glucose levels to normal within 2.5 hours in cases of food-induced hyperglycemia. The results for the drinks fermented at 36 hours (T36H) open the door to further investigation of the effect of fermentation time on blood glucose regulation in hypoglycemic and hyperglycemic situations.

ACKNOWLEDGMENT

The authors express their sincere thanks to the Nutrition and Food Security Laboratory and the Animal Production Laboratory of Nangui ABROGOUA University.

REFERENCES

- [1] V. S. Malik, B. M. Popkin, G. A. Bray, J. P. Després, and F. B. Hu, «Sugar-sweetened beverages, obesity, type 2 diabetes mellitus, and cardiovascular disease risk,» *Circulation*, vol. 121, no. 11, pp. 1356–1364, 2010.
- [2] T. Komutarin, S. Azadi, L. Butterworth, D. Keil, B. Chitsomboon, M. Suttajit, and B. J. Meade, «Extract of the seed coat of *Tamarindus indica* inhibits nitric oxide production by murine macrophages in vitro and in vivo,» *Food and Chemical Toxicology*, vol. 42, no. 4, pp. 649–658, 2004.
- [3] L. Thibodeau, «Dossier spécial sur les boissons sucrées,» *Bulletin de Santé Publique*, 2010.
- [4] F. Gigon, «Le gingembre, une épice contre la nausée,» *Phytothérapie*, vol. 10, no. 2, pp. 87–91, 2012.
- [5] C. Lamine, *Intermittent du bio pour une sociologie pragmatique des choix alimentaires*, 2008, 344 p. [Online] Available: <https://hal.inrae.fr/hal-02803992/document>.
- [6] O. Corona, A. Alfonzo, G. Ventimiglia, A. Nasca, N. Francesca, A. Martorana, G. Moschetti, and L. Settanni, «Industrial application of selected lactic acid bacteria isolated from local semolinas for typical sourdough bread production,» *Food Microbiology*, vol. 59, pp. 43–56, 2016.
- [7] A. S. Kouamé, «Enquête de consommation sur le tamarin (*Tamarindus indica* L.), le gingembre (*Zingiber officinale*) et le curcuma (*Curcuma longa*) et formulation de boisson à fort potentiel antioxydant,» Mémoire de Master 2, Université Nangui Abrogoua, 53 p., 2022.
- [8] C. Zhao and N. P. Shah, «Concomitant ingestion of lactic acid bacteria and black tea synergistically enhances flavonoid bioavailability and attenuates D-galactose-induced oxidative stress in mice via modulating glutathione antioxidant system,» *The Journal of Nutritional Biochemistry*, vol. 38, pp. 124–136, 2016.
- [9] AOAC, *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*, 15th Ed. AOAC International, 1990.
- [10] V. L. Singleton, R. Orthofer, and R. M. Lamuela-Raventós, «Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent,» *Methods in Enzymology*, vol. 299, pp. 152–178, 1999.
- [11] I. Pajero, C. Codina, C. Petrakis, and P. Kefalas, «Evaluation of scavenging activity by Co (II) /EDTA-induced luminol chemiluminescence and free radical DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) assay,» *Journal of Pharmacological and Toxicological Methods*, vol. 44, pp. 507–512, 2000.
- [12] G. T. Kroyer, «Red clover extract as antioxidant active and functional food ingredient,» *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, vol. 5, no. 1, pp. 101–105, 2004.
- [13] E. G. Kwashié, A. Kodjo, and G. Messanvi, «Effet de *Sterospermum kunthianum* et *Oxynanthera abyssinica* sur la glycémie,» *Revue de Médecines et Pharmacopées Africaines*, vol. 12, pp. 89–98, 1998.
- [14] L. Gharras, M. Hmamouchi, D. Lamnouar, and M. Bengoumi, «Étude comparative de l'effet hypoglycémiant de six plantes de la pharmacopée traditionnelle marocaine,» *Revue Médecine et Pharmacie Afrique*, vol. 13, pp. 71–80, 1999.
- [15] H. Djédjé, «Étude prospective pour la réduction et la stabilisation de la glycémie chez le Lapin diabétique, par DIACODA, une substance de source végétale,» Diplôme d'Études Approfondies de Biotechnologie, Université de Cocody-Abidjan, U.F.R. Biosciences, Laboratoire de Biochimie, pp. 5–31, 2002.
- [16] R. Malbaša, E. Lončar, M. Djurić, M. Klačnja, L. J. Kolarov, and S. Markov, «Scale-up of black tea batch fermentation by Kombucha,» *Food and Bioproducts Processing*, vol. 84, no. 3, pp. 193–199, 2006.
- [17] S. K. Malik and A. K. Adoubi, «Propriétés phytochimiques et évaluation de l'activité antioxydante des extraits de tamarin (*Tamarindus indica*),» *Journal de la Société Ouest Africaine de Chimie*, 2018.
- [18] O. E. Idise, «Studies of wine produced from pineapple (*Ananas comosus*),» *International Journal for Biotechnology and Molecular Biology Research*, vol. 3, no. 1, pp. 1–7, 2012.
- [19] T. N. Huynh, J. Van Camp, G. Smaghe, and K. Raes, «Improved release and metabolism of flavonoids by steered fermentation processes: A review,» *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 15, no. 11, pp. 19369–19388, 2014.
- [20] B. Kabak and A. D. W. Dobson, «An introduction to the traditional fermented foods and beverages of Turkey,» *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 51, no. 3, pp. 248–260, 2011.
- [21] F. Sosulski, K. Krygier, and L. Hogge, «Free, esterified, and insoluble-bound phenolic acids. Composition of phenolic acids in cereal and potato flours,» *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 30, pp. 337–340, 1982.
- [22] B. Bartolome and C. Gomez-Cordoves, «Barley spent grain: Release of hydroxycinnamic acids (ferulic and p-coumaric acids) by commercial enzyme preparations,» *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 79, pp. 435–439, 1999.
- [23] C. Baranowski, M. A. Welsh, L.-T. Sham, H. A. Eskandarian, H. C. Lim, K. J. Kieser, J. C. Wagner, J. D. McKinney, G. E. Fantner, T. R. Ioerger, S. Walker, T. G. Bernhardt, E. J. Rubin, and E. H. Rego, «Maturing *Mycobacterium smegmatis* peptidoglycan requires non-canonical crosslinks to maintain shape,» *eLife*, vol. 7, e37516, 2018.
- [24] M. Hebi and M. Eddouks, «Évaluation de l'activité antioxydante de *Stevia rebaudiana*,» *Phytothérapie*, vol. 14, pp. 17–22, 2016.

- [25] S. M. B. Hashemi, A. Mousavi Khaneghah, F. J. Barba, Z. Nemati, S. Sohrabi Shokofti, and F. Alizadeh, «Fermented sweet lemon juice (*Citrus limetta*) using *Lactobacillus plantarum* LS5: Chemical composition, antioxidant and antibacterial activities,» *Journal of Functional Foods*, vol. 38, pp. 409–414, 2017.
- [26] S. A. Villareal-Soto, S. Beaufort, J. Bouajila, J. P. Souchard, T. Renard, S. Rollan, and P. Taillandier, «Impact of fermentation conditions on the production of bioactive compounds with anticancer, anti-inflammatory and antioxidant properties in kombucha tea extracts,» *Process Biochemistry*, vol. 83, pp. 44–54, 2019.
- [27] O. B. Oloyede, M. O. Sunmonu, and M. O. Adeniji, «Effects of processing pineapple-based must into wines by anaerobic fermentation,» *Asian Journal of Food and Agro-Technology*, vol. 4, no. 4, pp. 162–171, 2014.
- [28] M. A. Deziderio, H. F. de Souza, E. S. Kamimura, and R. R. Petrus, «Plant-based fermented beverages: Development and characterization,» *Foods*, vol. 12, no. 22, 4128, 2023.
- [29] N. A. Khatune, B. M. Rahman, R. K. Barman, and M. I. Wahed, «Antidiabetic, antihyperlipidemic and antioxidant properties of ethanol extract of *Grewia asiatica* Linn. bark in alloxan-induced diabetic rats,» *BMC Complementary and Alternative Medicine*, vol. 18, 16-295, 2016.
- [30] F. Melini, V. Melini, F. Luziatelli, A. G. Ficca, and M. Ruzzi, «Health-promoting components in fermented foods: An up-to-date systematic review,» *Nutrients*, vol. 11, no. 5, 1189, 2019.
- [31] J. E. Okokon, B. S. Antia, and J. A. Udobang, «Antidiabetic activities of ethanolic extract and fraction of *Anthocleista djalensis*,» *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, vol. 2, no. 6, pp. 461–464, 2012.
- [32] A. E. Agbo, S. Méité, G. A. Gbogouri, A. D. Gouekou, C. E. Kouamé, K. Kouassi, and K. Brou, «Impact des épices antioxydantes sur la vitamine B9 et le β -carotène dans les feuilles de patate douce cuites à la vapeur,» *Acta Horticulturae*, vol. 1292, no. 1, pp. 383–392, 2020.
- [33] A. C. E. Kouamé-Osnou, A. E. Agbo, M. Gbogbo, and A. Gbogouri, «Impact of spices on micronutrients, phenolic compounds, in vitro and in vivo antioxidant potentialities in eggplant leaves cooked with water,» *American Journal of BioScience*, vol. 11, no. 2, 2023.
- [34] H. Jemai, M. Bouaziz, I. Fki, A. El Feki, and S. Sayadi, «Hypolipidemic and antioxidant activities of oleuropein and its hydrolysis derivative-rich extracts from Chemlali olive leaves,» *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 57, no. 19, pp. 8861–8868, 2009.
- [35] H. Benmehdi, R. Azzi, R. Djaziri, F. Lahfa, N. Benariba, and B. Tabti, «Effect of saponosides crude extract isolated from *Citrullus colocynthis* (L.) seeds on blood glucose level in normal and streptozotocin induced diabetic rats,» *Journal of Medicinal Plants Research*, vol. 5, no. 31, pp. 6864–6868, 2011.

Apport de la lithostratigraphie dans la mise en évidence du contact anormal entre le socle et le bassin sédimentaire ivoirien dans la région d'Alépe (Côte d'Ivoire)

[Contribution of lithostratigraphy in revealing the anomalous contact between the basement and the ivoirian sedimentary basin in the Alepe region (Côte d'Ivoire)]

Kouao Assiè François, Ouattara Ismaël Ben, and Kra Akoua Clarisse

Department of earth sciences and mining resources, Felix Houphouët-Boigny University, Abidjan, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: Alépé region is located in the southeastern part of the sedimentary basin Ivorian Onshore. Lithostratigraphic characterization helps clarify lithological facies, define sedimentary sequences and highlight the contact between the basement and the Ivorian sedimentary basin. The lithostratigraphic characterization rocks reveal an abnormal contact between Alépé formations and those of the base of the sedimentary basin. Tertiary-Quaternary deposits recover in discordance the Precambrian basement. The stratigraphic sequence occurs from the bottom up as follows: basal conglomerates, clays in various colors; conglomerates, sandy clays, clayey sands, ferruginous quartz sandstone with cement, stone line, earth bar. These sedimentary formations were deposited in fluvial channels to meandering braided type.

KEYWORDS: Alépé (Côte d'Ivoire), sedimentary basin, lithostratigraphic, Tertiary-Quaternary, fluvial channels.

RESUME: La région d'Alépé est située dans la partie sud-est du bassin sédimentaire ivoirien « Onshore ». La caractérisation lithostratigraphique contribue à préciser les faciès lithologiques, à cerner les séquences sédimentaires et à mettre en évidence le contact entre le socle et le bassin sédimentaire ivoirien. La caractérisation lithostratigraphique des roches révèlent à Alépé un contact anormal entre les formations du socle et celles du bassin sédimentaire. Les dépôts Tertiaire-quatérinaires recouvrent en discordance le socle Précambrien. La séquence lithostratigraphique se présente de bas en haut comme suit: conglomérats de base; argiles à diverses colorations; conglomérats; argile sableuse; sables argileux; grès quartzeux à ciment ferrugineux; stone line; Terre de barre. Ces formations sédimentaires se sont déposées dans des chenaux fluviaux de type anastomosés à méandriformes.

MOTS-CLEFS: Alépé (Côte d'Ivoire), bassin sédimentaire, lithostratigraphique, Tertiaire-quatérinaire, chenaux fluviaux.

1 INTRODUCTION

Les affleurements de roches observés sur l'axe Abidjan-Alépé (sud-est de la Côte d'Ivoire) font partie du bassin sédimentaire émergé de la Côte d'Ivoire. Ces formations géologiques Tertiaire-quatérinaires (Spengler et Deteil, 1964; Martin, 1973 et 1977; Tastet, 1979; Yacé, 2002) présentent un intérêt économique indéniable aux vues des nombreuses carrières industrielles et artisanales (exploitation de sables, graviers, etc.) observées dans la région d'Alépé. C'est donc à juste titre que cette région a été l'objet de nombreux travaux (Bacchiana 1981; Soro, 1987; Dighehi et *al.*, 2001; Akobé 2010, Kouao, 2010. etc...).

Ces études avaient des objectifs tant économiques (recherche d'indice d'hydrocarbures, de carrières, etc.) que fondamentaux (compréhension des processus pétro-sédimentaires). Toutefois ces études présentent quelques insuffisances, citons entre autres: *i*) la détermination des termes lithologiques n'est pas assez précise, *ii*) les séquences sédimentaires sont le plus souvent incomplètes voir absentes, *iii*) les épaisseurs des strates ne sont pas définies.

La présente étude propose une meilleure connaissance de la lithostratigraphie des dépôts Tertiaire-quaternaires de la région d'Alépé. Une telle approche permettra la reconstitution paléoenvironnementale de cette région du bassin sédimentaire de Côte d'Ivoire.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

La région d'Alépé sur laquelle porte cette étude est située au Sud-est de la Côte d'Ivoire. Le périmètre d'étude est localisé sur le tronçon Abidjan-Alépé, précisément entre les villages Ahoué et Ahoutoué (figure 1). Dans cette région notre étude a concerné deux secteurs que nous avons nommé CNRA et la Mé. Trois (3) faciès ont été défini dans le secteur « CNRA ». Dans ces deux secteurs une quarantaine d'échantillons a été prélevé sur des coupes verticales (tableau 1).

Au cours de cette étude lithostratigraphique, les strates de chaque station sont décrites, les termes lithologiques et les structures sédimentaires sont définis. Il s'agira pour chaque affleurement de:

- Définir les successions lithologiques (minéralogie, composition, couleur);
- Décrire les différentes structures (géométrie, épaisseur, Granoclassement, etc.);
- Identifier la présence ou non de débris animaux et/ou végétaux;
- Estimer par le toucher et la vue, l'abondance et le type de grains de sable ou de galets présents au niveau des différentes couches;
- Déceler la présence ou non de structures sédimentaires (lamination, bioturbation, etc.).

L'étude des sédiments consolidés est faite à l'échelle macroscopique. Cette étude permettra de cerner la lithologie ainsi que la classification pétrographique de ces roches;

En plus de la détermination des faciès sédimentaires; des corrélations ont été établies dans les secteurs (CNRA et la Mé). Finalement une synthèse lithostratigraphique de la région d'Alépé est proposée

Tableau 1. Coordonnées géographiques des affleurements étudiés

Faciès	Coordonnées géographiques
Faciès CNRA I	5°29'48.57"N et 3°56'46.83"W
Faciès CNRA II	5°29'06.35"N et 3°52'45.84"W
Faciès CNRA III	5°28'16.51"N et 3°50'27.18"W
Faciès La « Mé »	5°28'30.83"N et 3°49'38.75"W

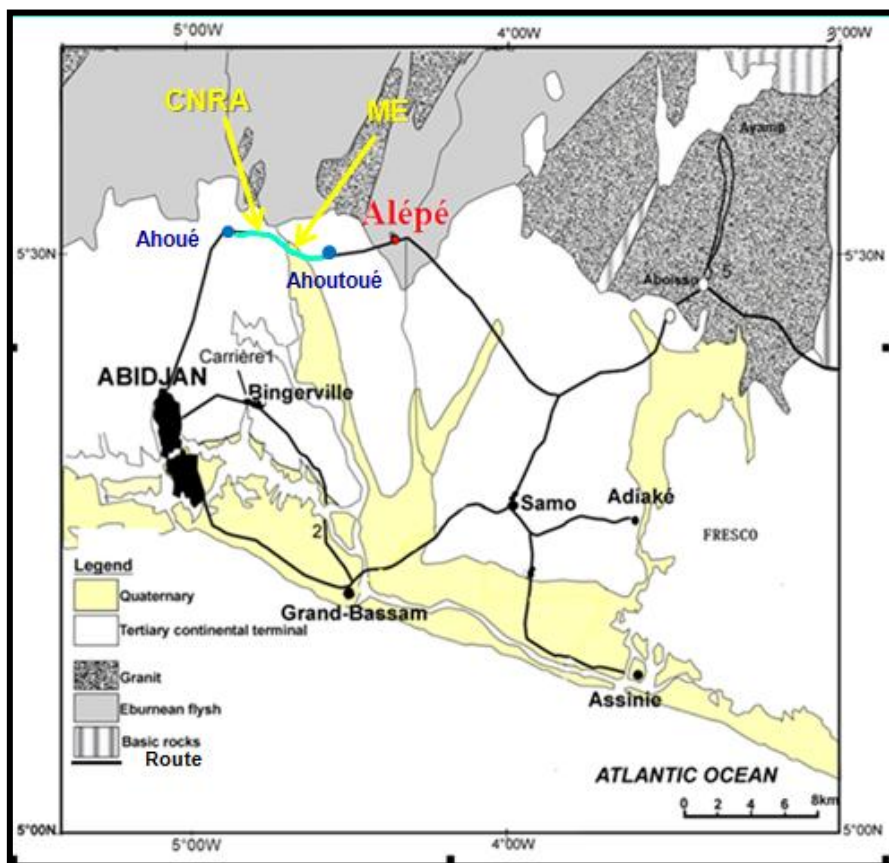


Fig. 1. La région d'Alépé en Côte d'Ivoire

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 CARACTÉRISATION LITHOSTRATIGRAPHIQUE DU SECTEUR CNRA (RÉGION D'ALÉPÉ)

L'analyse lithostratigraphique des formations du secteur « CNRA » met en évidence trois (3) faciès:

3.1.1 FACIÈS « CNRAI »

Ce faciès présente trois (3) termes lithologiques dont l'épaisseur est environ de 6 m. Il s'agit de bas en haut (photo 1):

- Un niveau de conglomérat. Son épaisseur varie de 10 à 40 cm. Il contient des galets de quartz laiteux (3 à 6 cm de diamètres) cimentés par du sable argileux ocre. Les galets de ce conglomérat sont anguleux à subanguleux. En outre nous notons la présence de particules ferrugineuses. Le toit de cette couche est subhorizontal;
- Un niveau de sable argileux ocre d'environ 3 m d'épaisseurs. Ce niveau est très induré;

La Terre de barre, d'une épaisseur d'environ 2 m se situe au sommet de cet affleurement. Cette couche présente des traces de racines et sert de terrier.



Photo. 1. Faciès « CNRA₁ »

3.1.2 FACIÈS « CNRAII »

Ces formations présentent quatre (4) niveaux (photo 2):

- A la base, on a une couche d'argile non litée d'environ 60 cm d'épaisseurs. Ces argiles présentent diverses colorations qui varient du blanc au rouge violacée en passant par du jaune. Ces argiles sont probablement d'âge Mio-pliocène (Bachiana, 1981);
- Au-dessus des argiles nous avons un niveau de conglomérat. Son épaisseur varie de 1 m à 2 m. Les galets de ce conglomérat sont subanguleux avec des diamètres de 3 à 6 cm;
- Un niveau discontinu de galet de quartz (*stone line*) dans la Terre de barre. Ces galets sont subarrondis à subanguleux. Ils ont des diamètres variant de 3 à 4 cm.
- Au sommet, on a la Terre de barre. Son épaisseur est de 1 m environ.

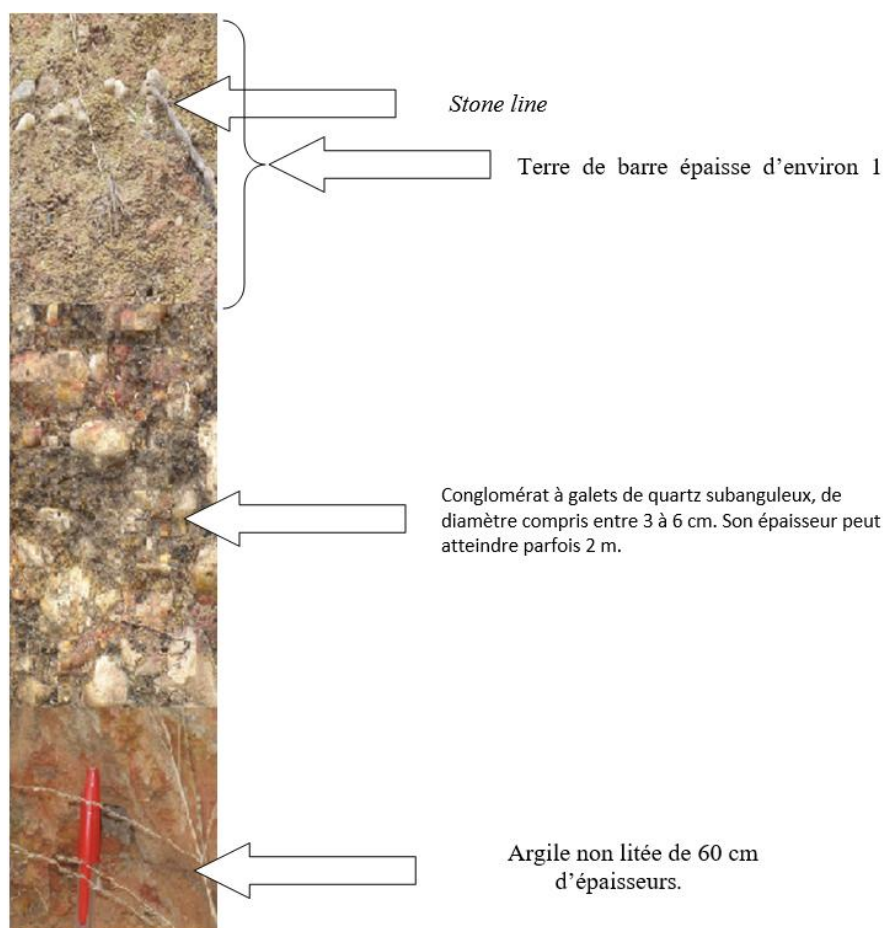


Photo 2. Faciès « CNRAII »

3.1.3 FACIÈS « CNRAIII »

La séquence lithostratigraphique, observée de bas en haut, se présente comme suit (photo 3 et figure 2):

- Un niveau de conglomérats. Son épaisseur n'est pas constante (2 à 3 m) et il est constitué de galets de quartz dont les diamètres varient de 4 à 5 cm. Ce conglomérat est cimenté par de l'argile sableuse ocre à rouge. Il présente des concrétions ferrugineuses;
- Un niveau d'argiles sableuses ocre à rouge dont la partie superficielle est très indurée. Ce niveau présente une épaisseur variable de 1 à 1,50 m. Le mur de cette couche est très sinueux. Cette sinuosité est soit due au paléorelief des argiles sableuses, soit au ravinement provoqué par le charriage des conglomérats avant le dépôt du niveau argileux. Il s'agirait d'un paléochenal. Dans ces argiles sableuses, il y a drainage du fer qui précipite dans les fissures. Ce niveau se termine en biseau sur le niveau de conglomérat;
- Un niveau de sable argileux ocre. Son épaisseur est variable (1 m à 20 cm);
- Un niveau de stone line épais de 3 à 5 cm. Il est constitué de galets de quartz subanguleux à subarrondis dont les diamètres sont d'environ 3 cm. La « stone line » traduirait un transport bref et une baisse brutale du niveau d'énergie de dépôt (Bachiana, 1981). Ces galets sont dispersés dans une matrice de sable argileux ocre;
- La Terre de barre termine la séquence. Elle est homogène avec une épaisseur très variable, allant de 80 à 10 cm. On y observe des terriers d'organismes et des racines de plantes. L'activité biologique et pédologique au niveau de cette couche est un facteur pouvant expliquer son homogénéité texturale.

A cette station nous avons remarqué une alternance du niveau de conglomérat et du niveau d'argile sableuse de manière latérale sur une longue distance. Nous observons une lacune de la Terre de barre à certain endroit due peut-être à une érosion.



Photo 3. Faciès « CNRA_{III} ».

A: le niveau de conglomérat; B: argile sableuse très indurée; C: sable argileux ocre; D: la stone line à galet de quartz; E: Terre de barre.

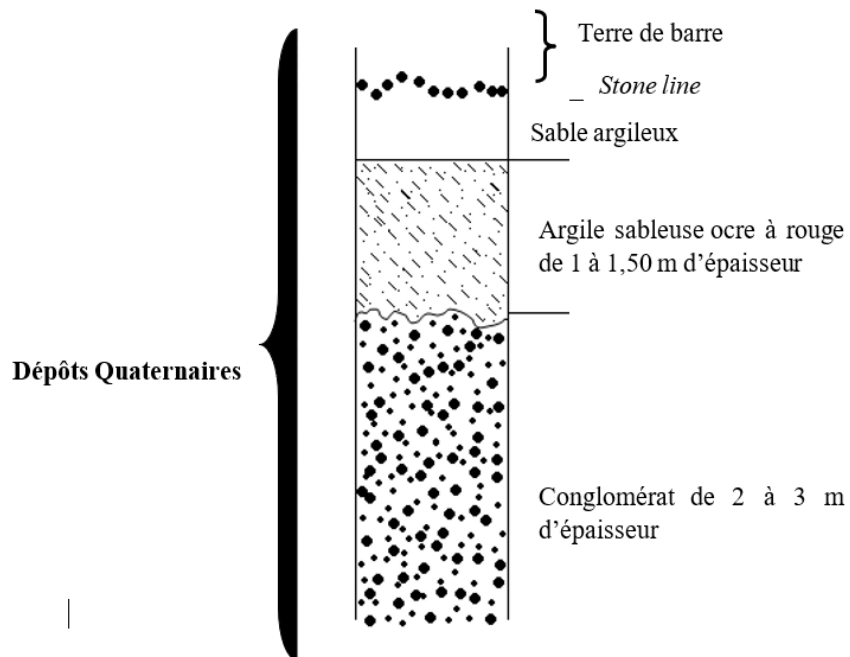


Fig. 2. Esquisse lithostratigraphique des roches du faciès « CNRA_{III} »

3.1.4 CORRÉLATION LITHOSTRATIGRAPHIQUE DES FACIÈS DU SECTEUR « CNRA »

L'analyse corrélative de la lithostratigraphie des formations du secteur « CNRA » montre quelques similitudes entre les termes lithologiques (photo 4). Les conglomérats sont présents sur tous les trois (3) faciès. Au niveau des faciès « CNRA_I » et « CNRA_{III} », les conglomérats se trouvent à la base de la séquence. Par contre au niveau du faciès « CNRA_{II} » les argiles sont à la base de la séquence. Etant donné que nous ne voyons pas le mûr des couches de conglomérats des stations « CNRA_I et CNRA_{III} », nous pourrions penser trouver des argiles en dessous de ces conglomérats. Les argiles sableuses ont été soit érodées au niveau des faciès « CNRA_I » et « CNRA_{II} » ou ne se sont déposées en supposant que le terrain devait être surélevé lors du dépôt. La stone line est absente sur le faciès « CNRA_{II} ». La Terre

de barre se situe au sommet des séquences des 3 faciès du secteur « CNRA ». On remarque que toutes ces couches sédimentaires présentent des épaisseurs très variables.

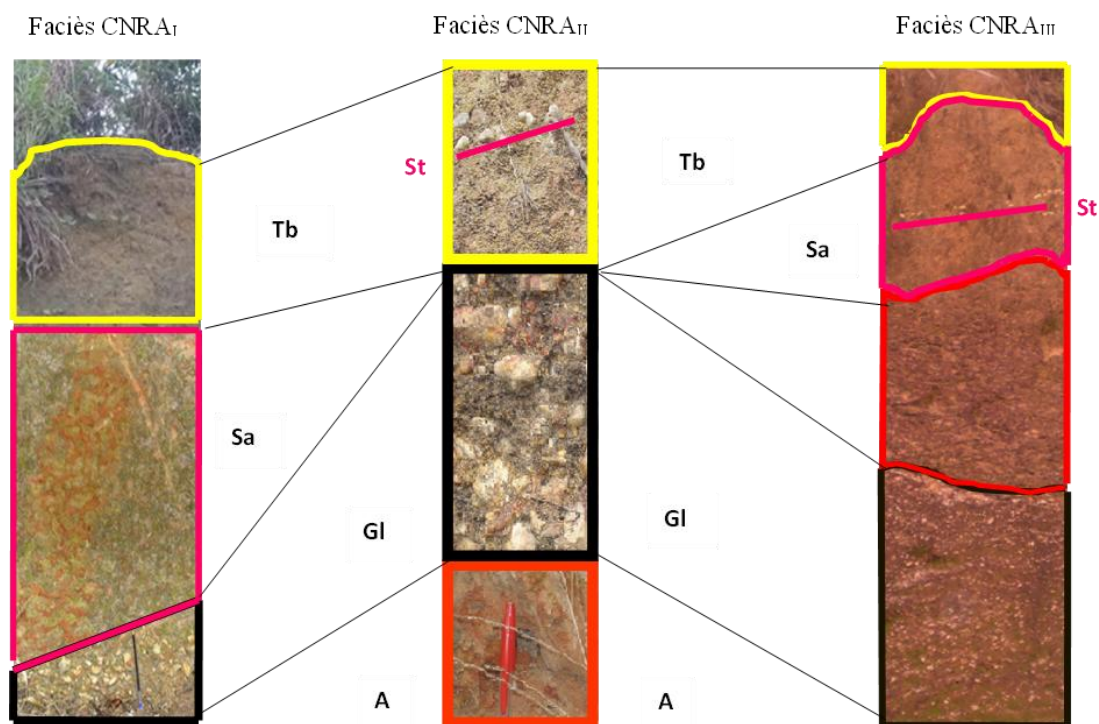


Photo. 4. Corrélation lithostratigraphique du secteur « CNRA ». A: Argiles non litées; Gl: Conglomérats; As: Argiles sableuses; Sa: Sables argileux; St: Stone line; Tb: Terre de barre.

4 CARACTÉRISATION LITHOSTRATIGRAPHIQUE DU SECTEUR LA « MÉ »

Les formations de la « Mé » se situent dans une ancienne carrière à environ 1 km de la rivière la « Mé ». Cet affleurement, haut d'une dizaine de mètre, présente une alternance de niveau conglomératique et de sables argileux (photo 5). Cette alternance traduit plusieurs épisodes de dépôt dans ce secteur. On note également la présence d'un banc de grès ferrugineux. De bas en haut on observe la séquence suivante:

- Un niveau de conglomérat d'une épaisseur d'environ 35 cm. Il contient des galets de quartz imbriqués très blancs de 3 à 4 cm de diamètre. Le ciment se compose de sable blanc. Ces galets de quartz présentent diverses orientations, les paléocourants sont donc multidirectionnelles, reflétant la courbure des méandres (Saaidi, 1991);
- Une couche de conglomérat à stratification oblique présentant une épaisseur de 1,30 m. Cette couche est constituée de galets de quartz blancs laiteux et de galets de kaolinites dont les diamètres varient de 3 à 6 cm. Le ciment se compose de sables argileux jaune-ocre à rouge;
- Un niveau de conglomérat épais d'environ 1,40 m. Il présente un granoclassement normal (positif). Ce granoclassement est lié à la diminution progressive de la compétence de l'agent de transport (eau);
- Une couche de sable argileux ocre de 60 cm d'épaisseur et comportant quelques graviers de quartz de taille centimétrique;
- Un niveau de conglomérat avec un granoclassement normal et une épaisseur 1,10 m environ;
- Une couche de conglomérat ferrugineux mal stratifiée et en dépôt lenticulaire. Son épaisseur est de 15 cm;
- Un banc de grès ferrugineux monoclin avec un pendage de 10° à 15°. Il se présente sous forme de lentille avec une épaisseur d'environ 50 cm. Cette disposition en lentille traduit l'existence de paléochenaux dans ce périmètre d'étude (Saaidi, 1991). Ce banc de grès est constitué de grain de sable moyen à grossier enrobé par un ciment ferrugineux. C'est un grès consolidé, sans stratification interne ce qui nous mène à penser que ces dépôts se sont effectués dans des chenaux fluviaux de type anastomosé (Digbéhi et al., 2001).
- Un niveau de conglomérat à stratification pas nette avec une épaisseur de 50 cm et contenant des galets de quartz cimentés par du sable argileux jaune.
- Une couche de sable argileux jaune de 40 cm d'épaisseur;
- Au niveau de ce secteur, la dynamique de dépôt est de type fluviale. Elle s'est effectuée dans un milieu de haute énergie.

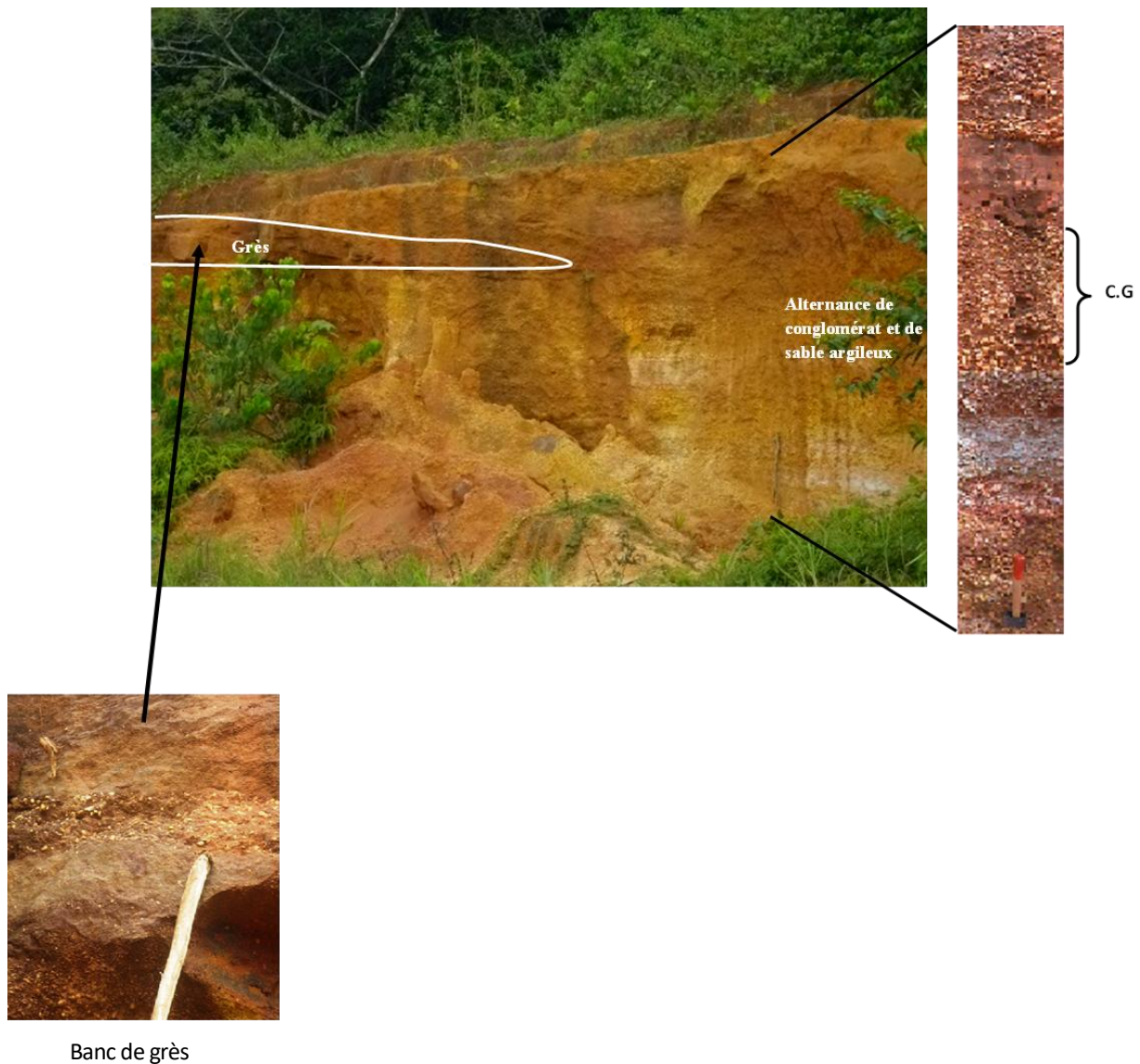


Photo. 5. Faciès de la « Mé. CG (conglomérat granoclassé)

5 CORRELATION LITHOSTRATIGRAPHIQUE DE LA REGION D'ALEPE

L'analyse corrélative des faciès du secteur « CNRA » et de la « Mé », montre une différence entre les termes lithologiques (photo 6). Les faciès « CNRA » sont caractérisés par un seul épisode de dépôt. Dans ce secteur les argiles à diverses colorations se trouvent à la base de la séquence. La terre de barre vient achever cette séquence avec une épaisseur variable. Par contre au niveau des faciès de la « Mé », nous avons noté plusieurs épisodes de dépôts avec une alternance de couches de conglomérats (souvent granoclassé) et de sables argileux. Le fait particulier à la « Mé » est l'apparition d'un banc de grès ferrugineux incliné. A la « Mé » nous n'avons pas de *stone line*. Les faciès « CNRA » et la « Mé » sont dépourvues de faciès typiquement sableux et sont azoïques.

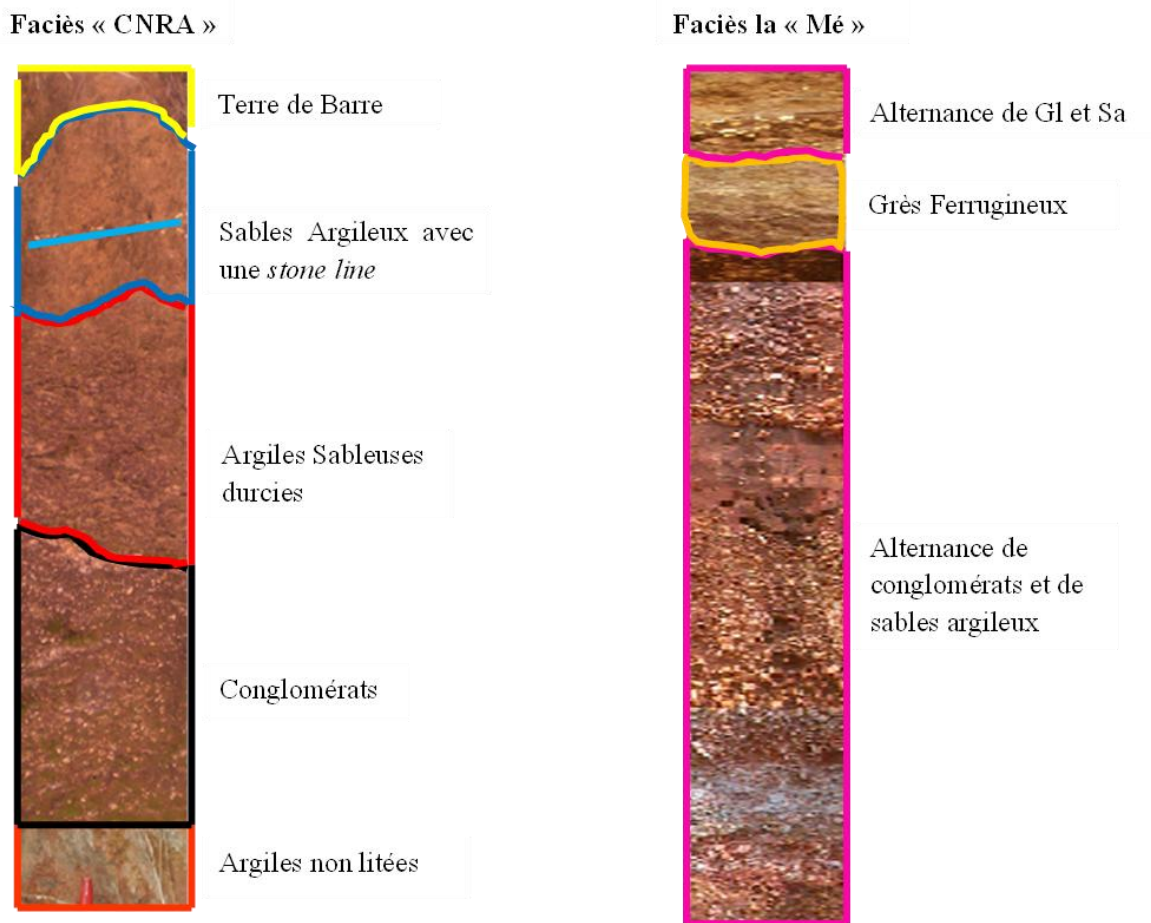


Photo. 6. Corrélation lithostratigraphique de la région d'Alépe (Gl: Conglomérats; Sa: Sables argileux).

Dans la région d'Alépe nous avons noté la présence du contact anormal entre le socle précambrien et le bassin sédimentaire. En effet les témoins de la présence du socle sont observés dans le secteur la « Mé ». Ces indicateurs se caractérisent par:

- Le gisement: veine de quartz laiteux fissurés (photo 7);
- La roche métamorphique: schistes birimiens (soro, 1987) très altérés dont la schistosité est subverticale d'azimut n 40° à n 60° (photo 8);
- La minéralogie: présence de feuillets de muscovite (photo 9).

Le contact de base des formations sédimentaires sur le socle est fréquemment marqué par des lits de galets de quartz, de granites et de roches métamorphiques (8 à 15 cm de diamètres). Ces galets constituent des conglomérats de base (photo 10).

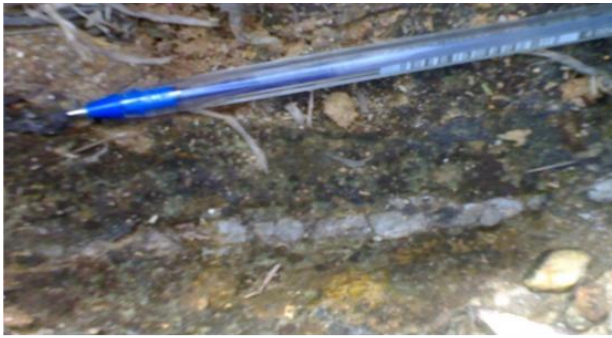


Photo 7 : Veine de quartz



Photo 8 : Schistes altérés



Photo 9: Feuilletés de muscovite












Photo 10 : Conglomérats de base

6 SYNTHÈSE LITHOSTRATIGRAPHIQUE DE LA RÉGION D'ALÉPÉ

Dans la région d'Alépé nous avons distingué une discordance angulaire majeure entre les formations du bassin et celles du socle. Ce contact est marqué par les conglomérats de base qui reposent en discordance sur les schistes altérés du socle. La synthèse lithostratigraphique est la suivante de bas en haut (tableau II): les conglomérats de base, argiles non litées, conglomérats, argiles sableuses, sables argileux, grès ferrugineux, *stone line*, et la Terre de Barre.

Tableau 2. Synthèse lithostratigraphique de la région d'Alépe

LITHOLOGIE	DESCRIPTION LITHOLOGIQUE	AGE
	Terre de barre	Plio-quaternaire
	Stone line	
	Grès quartzeux à ciment ferrugineux	
	Sables argileux	
	Argiles sableuses durcies	
	Conglomérats (Brèches)	
	Argiles non litées	Mio-pliocène
	Conglomérats de bases	Antérieur au Mio-pliocène
	Schistes altérés	Eburnéen

7 DISCUSSION

Les travaux de Bachiana (1981) sur les formations de la région d'Alépe montrent des horizons à galets alors que dans nos travaux nous avons plutôt utilisé le terme de conglomérat. Nos résultats présentent des horizons à stratification typiquement fluviatile tout comme ceux de Bachiana (1991). Ces dépôts se sont réalisés à l'intérieur des paléoméandres (Assalé, 2010). Ces travaux ont également montré à Alépe la présence de sables ferruginisés, de sable argileux et d'argiles sableuses. Nous remarquons que dans ses travaux, Bachiana (1981) ne fait pas cas des niveaux de grès ferrugineux que nous avons identifié dans cette région.

Selon Akobé (2010) la séquence lithostratigraphique se présente de haut en bas comme suit: Terre de Barre; grès ferrugineux; argile sableuse et graveleuses; *Hard-ground* dans les argiles sableuses. Comparé à nos résultats, nous pouvons dire que cette séquence est incomplète. Dans nos résultats nous n'avons pas noté la présence de *Hard-ground*.

8 CONCLUSION

Les principaux résultats de cette étude portent sur la caractérisation lithostratigraphique des formations Tertiaire-quaternaire de la région d'Alépe. Cette approche lithostratigraphique permet de distinguer dans la région d'Alépe plusieurs entités lithologiques. La succession des couches des plus anciennes au plus récentes est la suivante: argiles à diverses colorations; conglomérats; argiles sableuses durcies; sables argileux; grès ferrugineux; stone line; Terre de barre.

Les formations sédimentaires d'Alépe reposent en discordance sur des schistes altérés du socle. A Alépe, ce contact est marqué par la présence de lits graveleux non consolidés (conglomérats de base) déposés sur le socle. Les épaisseurs des couches sédimentaires d'Alépe sont très variables. Nous notons la présence de structures et de phénomènes sédimentaires (bancs en lentilles, stratification subparallèle à oblique, granoclassement, oxydation, etc.) caractérisant une sédimentation continentale dans des chenaux fluviatiles de type anastomosé à méandrique.

REFERENCES

- [1] SPENGLER A, DELTEIL J. R. (1964). Le bassin secondaire et tertiaire de Côte d'Ivoire (Afrique Occidentale). Bassins sédimentaires du littoral africain – D Reyre, Ass. Serv. Géol. Afr., Paris, pp. 99-113.
- [2] MARTIN L. (1973). Morphologie, Sédimentologie et Paléogéographie au quaternaire récent du plateau continental ivoirien. Thèse Doctorat Etat, Univ. Paris VI, ORSTOM, 340 p.
- [3] TASTET J. P. (1979). Environnements sédimentaires et structuraux quaternaires du littoral du Golfe de Guinée (Côte d'Ivoire, Togo, Bénin). Thèse Doctorat Etat, Univ. Bordeaux I, n°621, 175 p.
- [4] YACE I. (2002). Initiation à la géologie. L'exemple de la Côte d'Ivoire et de l'Afrique de l'Ouest. E CEDA, 183 p.
- [5] BACHIANA C. (1981). L'étude de la région Abidjan, Anyama, Alépé, Bassam. Ministère des Mines, DH., 110 p.
- [6] SORO N. (1987). Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du Sud-Est de la Côte d'Ivoire. Bassin versant de la Mé, Thèse 3^{ème} cycle, Univ. Grenoble 1, Inst. Dolomieu, France, 218 p.
- [7] DIGBEHI Z.B., AFFIAN K., MONDE S., POTHIN K., AKA K. (2001). Analyse sédimentologique de quelques faciès du «Continental terminal» de la région de Bingerville, environ d'Abidjan. *Bioterre. Rev. Inter. Sc. de la vie et de la terre*. Vol. 2, n°1, pp. 71-84.
- [8] SAAIDI E. (1991). Traité de sédimentologie. Pétrographie, environnements sédimentaires. Edition Ellipses, 393 p.
- [9] AKOBE A. C. (2010). Caractérisation des grès de la Côte d'Ivoire et du Ghana (Golfe de Guinée): environnement de dépôt, maturité et potentialité énergétique (réservoirs à hydrocarbure) Thèse Doctorat, Univ. Cocody Abidjan, 166 p.
- [10] KOUAO A.F.A. (2010). Caractérisations lithostratigraphique et pétro-sédimentaire des formations Tertiaire-quaternaires de la région d'Alépé (Côte d'Ivoire). D.E.A Sciences de la Terre, Univ. Cocody, 72 p.
- [11] ASSARE F.P. (2010). Caractérisation lithostratigraphique et pétro-sédimentologique des formations tertiaire-quaternaires de la région de Bingerville (Côte d'Ivoire). D.E.A Sciences de la Terre, Univ. Cocody, 72 p.²

Déterminants de l'adoption de l'outil informatique de contrôle de gestion au sein des petites et moyennes entreprises de la ville de Beni

[Determinants of the adoption of the IT management control tool in small and medium-sized enterprises in the city of Beni]

Mumbere Sihingirwa Clovis¹, Matata Makalamba Patrick², and Kimbuani Mabella Gaston³

¹Doctorat à l'Université de Kisangani, Faculté des sciences économiques et de gestion, Institut Supérieur de Commerce de Beni, Beni, Nord Kivu, RD Congo

²Professeur à la Faculté des sciences économiques et de gestion, Université de Kisangani, Kisangani, Tshopo, RD Congo

³Professeur ordinaire à la Faculté de Science de l'éducation, Université de Kisangani, Kisangani, Tshopo, RD Congo

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

ABSTRACT: This article aims to determine the factors underlying the adoption of IT management control tools in SMEs. A questionnaire survey was conducted on a population of 181 SMEs operating in the city of Beni. Data processing was performed using logistic regression with SPSS software. This technique allowed for the evaluation of the relationship between the adoption of IT tools and management control tools. The results show that the adoption of IT tools is associated with manager training and budget implementation. Factors such as SME size, age, professional experience, manager's level of education, and the implementation of accounting within the SMEs were excluded from the model.

KEYWORDS: management control, IT tools, SMEs, Beni, Technology adoption.

RESUME: Cet article se propose comme objectif de déterminer les facteurs à la base de l'adoption de l'outil informatique de contrôle de gestion des PME. Une enquête par questionnaire a été initiée sur une population de 181 PME évoluant dans la ville de Beni. Le traitement des données s'est effectué par la régression logistique en exploitant le logiciel SPSS. Cette technique a permis d'évaluer la relation entre l'adoption de l'outil informatique et les outils de contrôle de gestion. Les résultats montrent que l'adoption de l'outil informatique est associée à la formation du dirigeant et l'implémentation du budget. Il a été exclu du modèle des facteurs tels que la taille des PME; l'âge, l'expérience professionnelles, le niveau de formation du dirigeant; et l'implantation de la comptabilité au sein des PME.

MOTS-CLEFS: contrôle de gestion, outil informatique, PME, Beni, Adoption technologique.

1 INTRODUCTION

L'intégration de l'outil informatique dans le contrôle de gestion apparaît aujourd'hui comme une condition incontournable de l'émergence des entreprises (Gilles et al., 2021). Elle facilite l'accès à une information pertinente en temps réel, son analyse rapide, sa diffusion et son archivage sécurisé (Lahoussine, 2023). Pourtant, malgré les preuves empiriques de l'impact positif du contrôle de gestion sur la performance des PME, la contribution spécifique de l'outil informatique demeure insuffisamment

explorée, en particulier dans les pays en développement (Mongane et al., 2020; Ekuli, 2021; Ngongang, 2013; Boubakary & Moussa, 2017).

En Afrique, les PME souffrent fréquemment de résultats économiques décevants, liés à une gestion chaotique et à l'absence de fonctions managériales essentielles, notamment le contrôle de gestion (Djimnadjingar, 2012). Or, ces entreprises, reconnues comme un levier essentiel du développement économique et du pilotage de la performance organisationnelle, jouent un rôle de locomotive dans les économies modernes, ce qui impose une gestion adaptée et modernisée (Hamdi & Omri, 2012; Bureau international du Travail, 2015; Ngokana et al., 2021; Meyssonier, 2019).

Cependant, le contrôle de gestion dans les PME africaines demeure complexe en raison des turbulences technologiques et des difficultés d'adaptation structurelle (Abi, 2011). Gumel (2017) souligne l'importance pour les petites entreprises d'adopter l'outil informatique afin de rester compétitives. L'intégration des progiciels de gestion intégrée (PGI) peut transformer l'organisation, mais dépend fortement du contexte socio-économique et organisationnel (Payette, 2017).

Ainsi, l'adoption de l'outil informatique doit s'appuyer sur une stratégie claire, identifiant les problèmes internes, définissant des solutions et mesurant leur impact sur la performance (Auberger et al., 2017). Bien qu'érigée en norme mondiale, elle demeure pour les PME un processus complexe, coûteux et entravé par des défis liés au choix, à la mise en œuvre et à l'appropriation des systèmes informatiques (Salum & Rozan, 2015; Mourrain & Deltour, 2016; Tome et al., 2014). Les grandes entreprises disposent de ressources pour acquérir des PGI, contrairement aux PME limitées par leurs budgets. En Europe, l'adoption de l'outil informatique varie selon la taille: 68 % des grandes firmes, 44 % des moyennes et seulement 18 % des petites structures (Deltour et al., 2014).

En République démocratique du Congo, et particulièrement à Beni, peu d'études ont analysé les déterminants de l'adoption de l'outil informatique dans le contrôle de gestion des PME, alors que celles-ci jouent un rôle crucial dans le secteur privé. Certaines entreprises ayant adopté ces outils affichent des performances mitigées (DGI, 2020), ce qui interroge sur leur capacité à exploiter pleinement les avantages. La problématique centrale demeure donc: quels sont les facteurs déterminant le choix ou l'adoption de l'outil informatique de contrôle de gestion au sein des PME opérant dans la ville de Beni ?

2 REVUE DE LA LITTÉRATURE

Le contrôle de gestion est reconnu comme un levier essentiel du pilotage de la performance organisationnelle, bien que les recherches sur les PME demeurent limitées (Ngokana et al., 2021; Meyssonier, 2019). Les outils de contrôle de gestion, largement étudiés, structurent les modalités de déploiement et d'adaptation de la performance (Giraud et al., 2004). L'outil informatique, bien qu'identifié comme facteur clé du contrôle de gestion et de la comptabilité analytique, reste insuffisamment exploré dans les PME (Ngongang, 2013; Boubakary & Moussa, 2017).

Dans les pays en développement, l'adoption de l'outil informatique est freinée par des contraintes juridiques et technologiques, mais dépend fortement du capital humain et des compétences des dirigeants (Fambeu, 2017; Kossai, 2013). La littérature schumpétérienne souligne que la taille de la firme, la R&D et le capital humain sont des déterminants majeurs de l'adoption (Cohen & Levinthal, 1989; Dosi & Winter, 2003). Les grandes entreprises sont mieux positionnées pour intégrer les technologies de l'information et de la communication, tandis que la formation et le niveau d'éducation des dirigeants accroissent la probabilité d'adoption de l'outil informatique (Chapellier, 1997; Correa et al., 2014).

Le secteur d'activité influence également l'intégration des technologies, avec des disparités entre industrie, services et commerce (Rowe & Monod, 2000; Kalika et al., 2007). L'âge et l'expérience professionnelle des dirigeants apparaissent comme des variables explicatives, les jeunes étant plus innovants et les expérimentés plus enclins à adopter des systèmes sophistiqués (Boubakary & Moussa, 2017; St-Pierre et al., 2006). L'outil informatique améliore la qualité de l'information comptable, réduit les coûts et renforce la confiance des partenaires (Ngongang, 2013; Colombier et al., 2007). Enfin, la mise en œuvre du contrôle budgétaire, notamment via les progiciels intégrés, rationalise les systèmes d'information et favorise la performance organisationnelle (Boitier, 2011; Deltour & Tremembert, 2008).

3 MÉTHODOLOGIQUE

3.1 VARIABLES

La variable dépendante est l'adoption de l'outil informatique (AOI). Selon la revue de la littérature, il ressort les variables indépendantes de plusieurs ordres. Dans la présente recherche l'attention a porté sur le niveau d'éducation du dirigeant (ED), l'âge du dirigeant (AD), l'expérience professionnelle du dirigeant (FD), le type de formation du dirigeant (TF), la taille de la PME

(TE), le secteur d'activité de la PME (SA), le niveau d'implantation de la comptabilité au sein des entreprises (IC) et la mise en œuvre du contrôle budgétaire (IB).

3.2 PARTICIPANTS À L'ÉTUDE

La population de cette recherche est constituée des petites et moyennes entreprises (PME) à but lucratif implantées dans la ville de Beni, dont le nombre total s'élève à 240 unités. Sur l'ensemble de ces entreprises, 181 ont été effectivement retenues dans la recherche. Le tableau 1 décrit la répartition des PME.

Tableau 1. Effectif de l'échantillon selon la Forme et Secteur d'activité

Secteur Activité			
Forme	Individuelle	SARL	Total
Commercial	98	13	111
Industriel	8	2	10
Services	30	23	53
Agricole	1	6	7
Total	137	44	181

3.3 OUTIL DE COLLECTE DES DONNÉES

Pour collecter les données nécessaires à la réalisation de cette recherche, une enquête par questionnaire a été adoptée. Ce questionnaire a permis d'exploiter cinq thèmes qui correspondent aux facteurs. Le tableau 2 précise la spécification des items selon ces thèmes.

Tableau 2. Spécification des questions par thèmes

Thèmes	Question	Total
Organisation	1, 2, 3, 4,5	5
Gestionnaire	6, 7, 8,9	4
Outil Informatique		4
Matériel	10, 11, 12	
Logiciel	13	
Contrôle de Gestion		5
Budget	14, 15,16	
Comptabilité	17,18	
Performance	19, 20, 21, 22, 23, 24	6
Total		24

Le questionnaire a été administré aux gestionnaires des PME de la ville de Beni. Sur les 240 questionnaires distribués, 181 ont été correctement remplis et retenus pour l'analyse. C'est sur cette base que les analyses ont été effectuées.

3.4 TRAITEMENT DES DONNÉES

L'approche quantitative a été adoptée pour vérifier les hypothèses et atteindre nos objectifs. Cette approche a consisté à utiliser des outils d'analyse mathématiques et statistiques, en vue de décrire, d'expliquer et de prédire des phénomènes par le biais de données historiques sous forme de variables mesurables.

Il s'est agi d'une analyse statistique au travers laquelle le test d'indépendance entre les variables a été fait, suivi de la modélisation logistique (modèle logit) grâce au logiciel SPSS. Le modèle recherché se décline à travers l'équation ci-après: $AOI = f(TE, FD, SA, TF, AD, ED, IC, IB)$. Ce modèle reprend les facteurs retenus pour déterminer l'adoption de l'outil informatique.

4 RÉSULTATS

4.1 QUALITÉ D'AJUSTEMENT

À l'issue des analyses, le modèle observé a été dégagé. Le tableau 3 donne plusieurs indicateurs de la qualité du modèle (ou qualité de l'ajustement). La valeur la plus importante est le log ratio (L.R.). C'est l'équivalent du test F de Fisher du modèle linéaire: on essaie d'évaluer si les variables apportent une quantité d'information significative pour expliquer la variabilité de la variable cible.

Tableau 3. Coefficients d'ajustement

Statistiques	Valeurs
Observations	181
-2 Log likelihood	56,248
Cox et Snell R Square	0,230
Nagelkerke R Square	0,527

L'analyse par régression logistique menée sur les données de 181 PME de Beni confirme la pertinence des variables retenues pour expliquer l'adoption de l'outil informatique de contrôle de gestion. La valeur du -2 Log Likelihood (56,248) montre que le modèle réduit significativement l'erreur par rapport au modèle nul. Ce résultat valide l'idée que l'adoption n'est pas aléatoire mais dépend de facteurs identifiables. Le coefficient de Cox & Snell R² (0,230) indique que le modèle explique environ 23 % de la variance. Cela traduit l'influence de déterminants internes tels que la taille, les compétences managériales et les ressources financières.

Le Nagelkerke R² (0,527) révèle que le modèle explique près de 53 % de la variance, niveau substantiel en sciences de gestion. Ces résultats confirment la pertinence méthodologique et la capacité du modèle à rendre compte des comportements observés. Ils montrent que l'adoption est conditionnée par des facteurs organisationnels et managériaux. Cependant, une part importante reste liée à des contraintes contextuelles comme l'environnement socio-économique ou la culture organisationnelle.

4.2 EQUATION DE RÉGRESSION

Le tableau 4 reprend les coefficients de l'équation de régression. La variable dépendant est l'adoption de l'outil informatique dans le contrôle de gestion. Les variables indépendantes se rapporte individuellement et conjointement au niveau d'éducation du dirigeant, à son âge, à son expérience professionnelle du dirigeant, à son type de formation, à la taille de la PME, au secteur d'activité de la PME, au niveau d'implantation de la comptabilité au sein de la PME et à la mise en œuvre du contrôle budgétaire.

Tableau 4. Résultats de la régression logistique binaire

Variabes	Coefficients	Erreur standard	Probabilités
TE	11,00	5352,414	0,998
FD	0,433	0,213	0,042
SA	-0,185	0,322	0,567
TF	-0,215	0,522	0,681
AD	-19,807	5197,029	0,997
ED	0,114	6895,709	1,000
IC	-0,042	0,699	0,952
IB	1,589	0,788	0,044
Constante	-0,191	2847,140	1,000

De ce tableau, le modèle d'estimation est le suivant:

$$\frac{\ln(p(AIO))}{1-p(AIO)} = -0,191 + 11*TE + 0,433*FD - 0,185*SA - 0,215*TF - 19,807*AD + 0,114*ED - 0,042*IC + 1,589*IB$$

Au regard du tableau ci-haut, le modèle de régression logistique binaire appliqué aux PME de Beni met en évidence deux variables significatives: **la formation du dirigeant (FD)** et **l'implémentation du budget (IB)**. La formation accroît la probabilité d'adoption de l'outil informatique de 0,433 point, tandis que l'implémentation budgétaire exerce une influence plus forte, avec un effet de 1,589 point. Ces résultats confirment que l'adoption est principalement conditionnée par le capital humain et la capacité financière.

En revanche, les autres variables: Taille de l'entreprise (TE), secteur d'activité (SA), Type de formation du dirigeant (TF), âge du dirigeant (AD), expérience du dirigeant (ED) et implantation de la comptabilité (IC) ne présentent pas de significativité statistique. Cela suggère que, dans le contexte spécifique de Beni, les contraintes structurelles et environnementales limitent leur rôle explicatif. Le modèle confirme ainsi que l'adoption de l'outil informatique repose sur des facteurs internes, tandis que les variables organisationnelles et contextuelles apparaissent secondaires

5 DISCUSSION DES RÉSULTATS

De manière générale, les résultats de cet article montrent que l'adoption de l'outil informatique est principalement influencée par la formation du dirigeant et par l'implémentation du budget, tandis que les autres facteurs testés n'exercent pas d'effet significatif.

Concernant l'âge du dirigeant, les résultats indiquent une absence d'influence positive sur l'adoption de l'outil informatique de contrôle de gestion par les PME, ce qui rejoint les conclusions de Boubakary et Moussa (2017). Toutefois, la littérature demeure partagée: Lacombe-Saboly (1994) observe un impact significatif, Bertschek et Fryges (2002) ainsi que Kossai (2013) ne constatent aucun effet, tandis que Gambardella et Torrasi (2001) relèvent un effet négatif.

Le type de formation du dirigeant apparaît comme un facteur déterminant: les résultats confirment les travaux de Chapellier (1997) et Yasin & Barassou (2014), selon lesquels les dirigeants ayant une formation comptable ou gestionnaire sont plus enclins à adopter l'outil informatique. En revanche, le secteur d'activité ne semble pas influencer l'adoption, ce qui corrobore les observations de Wade & Diouf (2021), mais diverge de Dagobert (2005) qui souligne des différences sectorielles dans l'attitude face aux technologies.

Du point de vue de l'expérience professionnelle, les résultats indiquent une absence de relation significative, confirmant les travaux de Reix (1981, 1984), mais contredisant ceux de Moussa (2017) et St-Pierre, Monnoyer et Boutary (2006), qui mettent en avant le rôle de l'expérience personnelle dans la décision d'adopter l'outil informatique. Par ailleurs, l'étude menée à Beni montre qu'il n'existe pas de relation positive entre l'implantation de la comptabilité et l'adoption de l'outil informatique, ce qui s'oppose aux conclusions de Affes et Chabchoub (2007), Philippe (1997), Michailesco (2000), Ngongang (2013) et Boubakary & Moussa (2017), qui attribuent à l'outil informatique un rôle central dans la rationalisation et l'amélioration de la qualité de l'information comptable et financière.

Enfin, l'implémentation du budget apparaît comme un facteur significatif de l'adoption de l'outil informatique, confirmant nos résultats et celles d'Augé, Naro & Vernhet (2010), qui soulignent que la mise en place budgétaire est fortement conditionnée par l'usage des outils informatisés.

6 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'adoption de l'outil informatique de contrôle de gestion par les PME de la ville de Beni constitue l'objet central de cette recherche. Celle-ci visait à répondre à la question suivante: *quels sont les facteurs qui déterminent l'adoption de l'outil informatique de contrôle de gestion au sein des PME de Beni ?*

Les hypothèses formulées supposaient que l'adoption pouvait être influencée, de manière individuelle ou combinée, par le niveau d'éducation, l'âge, l'expérience professionnelle et le type de formation du dirigeant, ainsi que par la taille et le secteur d'activité de la PME, le degré d'implantation de la comptabilité et la mise en œuvre du contrôle budgétaire. L'objectif spécifique de l'étude était donc d'identifier les variables explicatives de cette adoption.

Pour vérifier ces hypothèses, la méthode hypothético-déductive a été mobilisée, appuyée par un questionnaire administré aux PME et une analyse statistique réalisée à l'aide du logiciel SPSS. Les résultats révèlent que l'adoption de l'outil informatique de contrôle de gestion est significativement associée à deux facteurs: la formation du dirigeant et l'implémentation du budget. En revanche, les autres variables testées telles que l'âge, l'expérience, le secteur d'activité, la taille de l'entreprise ou l'implantation de la comptabilité ne présentent pas d'effet significatif sur l'adoption.

REFERENCES

- [1] Abi, A. J. (2011). Les outils de contrôle de gestion dans le contexte des PME: cas des PMI au Liban. HAL, 1-23.
- [2] Affes, H., & Chabchoub, A. (2007). Le système d'information comptable: les déterminants de ses caractéristiques et son impact sur la performance financière des PME en Tunisie. *La Revue des sciences de gestion* (2), 59-68.
- [3] Auberger, G., Benzakour, S.-E., Grégoire, J., & Meynlé, T. (2017). 21 clés pour activer la transformation numérique de votre entreprise. Paris: Eyrolles.
- [4] Augé, B., Naro, G., & Vernhet, A. (2010). Le contrôle de gestion au service du gouvernement de l'université: propos d'étape sur la conception d'un balanced scorecard au sein d'une université française.
- [5] Bertschek, I., & Fryges, H. (2002). The Adoption of Business-to-Business E-Commerce: Empirical Evidence for German Companies.
- [6] Boitier, 2011 Boitier, M. (2011). *Le contrôle budgétaire: pratiques et perspectives*. *Revue Française de Comptabilité*, n° 442, pp. 37-41.
- [7] Boubakary & Moussa, 2017 Boubakary, B., & Moussa, M. A. (2017). Les facteurs de contingence de l'adoption des TIC par les PME tchadiennes. *Information Systems Management & Innovation*, ISSN 2509-0933.
- [8] Bureau international du Travail, 2015 Bureau International du Travail (BIT). (2015). *Petites et moyennes entreprises et création d'emplois décents*. Genève: BIT.
- [9] Chapellier, P. (1997). Profils de dirigeants et données comptables de gestion en PME. *Économie et gestion de la petite et moyenne entreprise*, 10 (1), 9-41.
- [10] Cohen & Levinthal, 1989 Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1989). *Innovation and learning: The two faces of R&D*. *The Economic Journal*, 99 (397), pp. 569-596.
- [11] Colombier et al., 2007 Affes, H., & Chabchoub, A. (2007). Le système d'information comptable: déterminants et impact sur la performance financière des PME en Tunisie. *La Revue des Sciences de Gestion*, 224-225, pp. 59-68.
- [12] Correa et al., 2014 Correa, J. A., Nkouka Safoulanitou, L., & al. (2014). *Déterminants de l'adoption des TIC par les PME au Congo*. *Revue Internationale PME*, 27 (2), pp. 65-90.
- [13] Dagobert, N. (2005). Pratiques comptables, système d'information et performance des PME camerounaises. *La Revue des sciences de gestion*: 6 (216), 59-70.
- [14] Deltour & Tremembert, 2008 Deltour, F., & Tremembert, J. (2008). L'adoption des progiciels de gestion intégrée dans les PME: des débuts prometteurs.
- [15] Deltour, F., Farajallah, M., & Lethiais, V. (2014). L'équipement des PME en systèmes ERP: une adoption guidée par les priorités stratégiques ? *Management international/International Management/Gestión Internacional*, 18 (2), 155-168.
- [16] DGI, B. (2020).
- [17] Djimnadjingar, R. (2012). *Gouvernance et performance des PME familiales au Tchad*. Lille: thèse non publiée, Université des Sciences et Technologies de Lille.
- [18] Dosi & Winter, 2003 Dosi, G., & Winter, S. G. (2003). Interprétation évolutionniste du changement économique: une étude comparative. *Revue Économique*, 54 (2), pp. 385-406.
- [19] Ekuli, 2021 Ekuli Ngokana, P. M. (2021). Les déterminants de la nature du contrôle de gestion des PME africaines: Cas de la RDC. *Revue Française d'Économie et de Gestion*, 6 (1), pp. 45-60.
- [20] Gambardella, A., Mariani, M., & Torrioni, S. (2001). How provincial is your region? Effects on labour productivity in Europe.
- [21] Gilles et al., 2021 Gilles Foka Tagne, A., Letsina, N. M., Nouhou Nkengang, D. C., & Fomekong Noubosse, A. (2021). Rôle des outils de contrôle de gestion dans l'amélioration de la performance organisationnelle des entreprises au Cameroun. *Journal of Academic Finance*, 12 (2), pp. 103-123.
- [22] Gillet, M., & Patrick, G. (2021). Les outils du Système d'information, facteur cle succes ou d'echec dans l'evolution des organisations: le cas des universites. *Gestion et management public*, 3 (1), 55 -77.
- [23] Giraud et al., 2004 Giraud, F., Naulleau, G., Delmond, M. H., Bescos, P. L., & Saulpic, O. (2004). *Contrôle de gestion et pilotage de la performance*. Paris.
- [24] Gumel, 2017 Fambeu, A. H. (2017). L'adoption des TIC dans un pays en développement. *Revue d'Économie Industrielle*, 157 (1), pp. 61-101.
- [25] Hamdi, M. T., & Omri, I. (2012). L'impact de la crise financière et économique actuelle sur la croissance économique: L'Afrique du Nord s'en sort mieux que l'Afrique subsaharienne. *Revue congolaise d'économie*, 7 (1), 2-20.
- [26] Kalika et al., 2007 Kalika, M., Boukef-Charki, N., & Isaac, H. (2007). La théorie du millefeuille et l'usage des TIC dans l'entreprise. *Revue Française de Gestion*, 172, pp. 117-130.
- [27] Kossai, M. (2013). Les technologies de l'information et des communications (TIC), le capital humain, les changements organisationnels et la performance des PME manufacturières. Paris.
- [28] Lacombe-Saboly, 1994 Lacombe-Saboly, M. (1994). Facteurs de contingence et adoption des systèmes d'information. *La Revue des Sciences de Gestion*, pp. 153-160.

- [29] Lahoussine, 2023 Elktiri, L., Ouabbou, A., & Jaouhari, L. (2023). Impact des outils de contrôle de gestion sur la performance financière au sein des banques: revue de littérature. *Alternatives Managériales Économiques*, 5 (1), pp. 64-78.
- [30] Meyssonier, 2019 Meyssonier, F. (2019). Le contrôle de gestion des entreprises de taille réduite. *ACCRA*, 6 (3), pp. 63-82.
- [31] Michailesco, C. (2000). Perspectives pour la recherche sur les déterminants de l'offre de l'information des entreprises. *Comptabilité, contrôle, audit*, 3, 83-94.
- [32] Mongane et al., 2020 Mongane, J. P., et al. (2020). Impact de l'adoption des technologies numériques sur la compétitivité des PME en Afrique francophone. Note stratégique, OFE Montréal.
- [33] Mourrain, A., & Deltour, F. (2016). La PME face au choix d'un système de gestion intégré: les risques du processus de pré-implémentation. *Revue Internationale PME*, 29 (1), 27-70.
- [34] Ngokana et al., 2021 Ngokana, P. M. E., Bolila, L., & Kangela, V. (2021). Les déterminants de la nature du contrôle de gestion des PME africaines: Cas de la RDC. *Revue Française d'Économie et de Gestion*, 6 (1), pp. 45-60.
- [35] Ngongang & Fambeu, 2017 Fambeu, A. H. (2017). L'adoption des TIC dans un pays en développement. *Revue d'Économie Industrielle*, 157 (1), pp. 61-101.
- [36] Ngongang, D. (2013). Facteurs de contingence, TIC et informations dans les entreprises Tchadiennes. *La Revue des Sciences de Gestion*, 153-162.
- [37] Payette, 2017 Payette, J. (2017). Les progiciels de gestion intégrée et la transformation organisationnelle des PME. Rapport Bpifrance, Observatoire des PME.
- [38] Philippe, C. (1997). Profils de dirigeants et données comptables de gestion en PME. *Revue internationale P.M.E.*, 10, 9-41.
- [39] Reix, 1981, 1984 Reix, R. (1981, 1984). *Systèmes d'information et management des organisations*. Montpellier: Université de Montpellier, IAE.
- [40] Rowe & Monod, 2000 Rowe, F., & Monod, E. (2000). Les technologies de l'information et de la communication et le secteur d'activité. Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie.
- [41] Salum, K. H., & Rozan, M. Z. (2015). Barriers and drivers in cloud ERP adoption among SMEs. *Journal of Information Systems Research and Innovation*, 9 (1), 9-20.
- [42] St-Pierre, H., Monnoyer, M.-C., & Boutary, M. (2006). Le rôle des TIC sur le degré d'exportation des PME: une étude exploratoire. *Congres international francophone en entrepreneuriat*, (pp. 1-17). Toulouse.
- [43] Tome, L., Johnston, K. A., Meadows, A., & Nyemba-Mudenda, M. (2014). The article titled «Barriers to open source ERP adoption in South Africa» was published in the *African Journal of Information Systems*, volume 6, issue 2, on pages 26-47.
- [44] Wade & Diouf, 2021 Kama, J. G., & Diouf, M. (2021). Analyse des facteurs d'appropriation des outils de pilotage dans les PME sénégalaises. *Revue Congolaise de Gestion*, 32 (2), pp. 83-130.
- [45] Yasin, M. M., & Barassou, D. (2014). Explaining Income Inequalities in Developing Countries: The Role of Human Capital. pp.1-26.

ANNEXE

QUESTIONNAIRE D'ENQUETE

Je m'appelle Clovis Mumbere Sihingirwa, étudiant à l'Université de Kisangani, en faculté des sciences économiques de Gestion. Je réalise une enquête sur l'impact de l'adoption de l'outil informatique de contrôle de gestion des PME de la ville de Beni. Cette enquête est indispensable pour la réalisation de mon mémoire de D.E.A en gestion financière. Elle permettra d'apprécier les facteurs déterminants de l'adoption de l'outil informatique des entreprises.

Conscient du dérangement que j'occasionne, je vous prie Monsieur, de bien vouloir m'aider dans mes recherches en répondant à ce questionnaire.

Toutes les informations reçues sont strictement confidentielles.

Merci beaucoup pour votre temps et votre coopération. J'apprécie énormément l'aide de votre organisation et de vous-même pour poursuivre cette recherche.

1. Indiquez la forme juridique de votre entreprise

1. Etablissement/Entreprise individuelle
2. Société commerciale

2. Si, votre PME est une société commerciale, indiquez la forme de société

1. Société en Nom Collectif
2. Société en Commandite Simple
3. Société à responsabilité limitée
4. Société Unipersonnelle
5. Groupement d'Intérêt économique
6. Société en participation
7. Société Anonyme simplifiée
8. Société anonyme

La question n'est pertinente que si Forme Juridique PME = "Société commerciale"

3. Indiquez le principal secteur d'activité dans lequel votre entreprise opère.

1. Secteur Commercial (achat des biens en vue de les revendre)
2. Secteur Industriel (achat des matières premières, transformation puis vente des produits fabriqués)
3. Secteur agricole (agriculture et élevage)
4. Secteur des Services (prestation des services divers moyennant un prix)

1. Indiquez la tranche de l'effectif du personnel

1. Moins de 9 travailleurs
2. De 10 à moins de 49 travailleurs
3. 50 et Plus

La réponse doit être comprise entre 1 et 250.

5. Indiquez la tranche qui correspond au montant de votre dernier chiffre d'affaire annuel :

1. Moins de 50 000 \$
2. De 50 001 \$ à 100 000 \$
3. De 100 001 \$ à 200 000 \$

La question n'est pertinente que si Existence Ordinateur = "OUI"

14. Votre entreprise élabore-t-elle des budgets ?

1. OUI
2. NON

15. Quels sont les budgets que votre entreprise élabore ?

1. Budgets opérationnels (budget des ventes, budgets des achats, budgets de la production, budgets des frais généraux, budget d'investissement)
2. Budget général de trésorerie
3. Bilan prévisionnel
4. Compte de résultat prévisionnel

Vous pouvez cocher plusieurs cases. La question n'est pertinente que si Implantation Budget = "OUI"

16. Quels sont les mécanismes de suivi budgétaire mis en place ?

1. Suivi budgétaire manuel
2. Suivi budgétaire sur feuille de calcul Excel
3. Suivi budgétaire par un logiciel comptable spécialisé

La question n'est pertinente que si Implantation Budget = "OUI"

17. Indiquez l'assertion qui décrit le mieux votre pratique de comptabilité:

1. Comptabilité inexistante
2. Une comptabilité de trésorerie permettant d'enregistrer les recettes et dépenses de l'entreprise
3. Comptabilité d'engagement permettant de suivre les créances et dettes de l'entreprise

18. S'il existe une comptabilité dans votre entreprise, indiquez le type de traitement de données adopté

1. Comptabilité tenue manuellement dans des registres
2. Une comptabilité tenue en Excel
3. Comptabilité tenue dans un logiciel spécialisé (SAGE, Quick books, etc.)

La question n'est pertinente que si Implantation Comptabilité Parmi "Une comptabilité de trésorerie permettant d'enregistrer les recettes et dépenses de l'entreprise ; Comptabilité d'engagement permettant de suivre les créances et dettes de l'entreprise"

Assessment of production, hygiene practices, and consumption of fortified infant flour in the Sahel of Niger

Ismaël Mamane Laouali Oumarou¹, Halima Oumarou Diadie¹, Issoufou Amadou², Roukaya Abdou Souley¹, and Abdourahamane Balla¹

¹Hygiene, Food and Nutritional Sciences Research Laboratory, Department of Crops Production, Faculty of Agronomy, Abdou Moumouni University of Niamey, Niamey, Niger

²Laboratory of Food Sciences and Technologies, Department of Crops Production, Faculty of Agronomy and Environmental Sciences, Dan Dicko Dankoulodo University of Maradi, Maradi, Niger

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

ABSTRACT: Misola® fortified infant flour is a product that helps prevent and combat moderate malnutrition. The overall objective of this study is to increase the consumption of Misola® fortified infant flour. A descriptive cross-sectional survey was conducted in the Sahel Niger Zone of Niamey, Dogondoutchi, Guidan Roudji, and Tessaoua, and involved 211 households and three (3) production units (Niamey, Dogondoutchi, and Tessaoua). Data were collected using a household questionnaire, a producer interview guide, and a hygiene assessment grid at the production unit level. Analysis of these data revealed that the production of Misola® fortified infant flour is predominantly carried out by women within the production units, with an average of 88.5%. The output of Misola® fortified infant flour follows the same flowchart in all production units. Regarding hygiene during production, compliance rates of 70%, 58.8%, and 82.4% were observed for hygiene criteria in Niamey, Dogondoutchi, and Tessaoua, respectively. Regarding use, 49.8% of respondents start giving their children Misola® porridge from 6 months. However, the majority of Misola flour users (67.8%) learned to prepare Misola® porridge through self-training (using the instructions on the packaging), and 28.4% learned at the point of sale. Overall, the use of Misola® fortified infant flour in the study area is satisfactory. The production of Misola® fortified infant flour in our facilities is conducted in accordance with Good Manufacturing Practices (GMPs). However, some shortcomings regarding hygiene criteria were noted in the study area. It would be necessary to intensify quality control at the UP level to ensure greater compliance with hygiene standards.

KEYWORDS: production, Misola®, infant flour, hygiene, good manufacturing practices, Niger.

1 INTRODUCTION

The right to adequate food is a fundamental right for every child. Children who receive sufficient nutritious food, in the right way, and at the right time for their development, are more likely to survive, grow, develop, and learn. They are better equipped to thrive, even when faced with illness, disaster, or crisis (UNICEF Program Guide, Improving the Diets of Young Children During the Complementary Feeding Period). Indeed, one of the diseases most implicated in the deterioration of children's nutritional status remains malnutrition. Malnutrition is a condition caused by dietary deficiencies, excesses, and imbalances. When caused by nutrient deficiencies, its prevalence in developing countries and the consequences it engenders constitute a serious threat to public health. However, globally, among children under 5 years of age, 52 million were in a state of emaciation, 17 million were severely emaciated, 155 million were stunted, and an estimated 2.7 million children die each year from undernutrition, accounting for 45% of all child deaths [1]. Joint malnutrition estimates released in April 2021 reveal insufficient progress towards the World Health Assembly (WHA) targets set for 2025 and the Sustainable Development Goals (SDGs) set for 2030 [1,2]. The latest analysis indicates that only a quarter of all countries were on track to halve the number of children affected by stunting by 2030 [2]. Indeed, in Niger, the prevalence of global acute malnutrition (GAM) among children under 5 years of age is estimated at 12.2% [3]. Regarding the prevalence of severe acute malnutrition (SAM), it changes from 1.1 percent (Diffa) to 3.9 percent (Maradi) [3]. In addition, chronic malnutrition or stunting and underweight in children aged 0-59 months are estimated at 47.0 and 33.7% respectively [3]. Several studies show the repercussions of malnutrition on children, including a tendency to fall ill, intellectual weakness, behavioral disorders, etc. [4,5].

The Global Strategy on Infant and Young Child Feeding has shown that this is a critical transition period when complementary feeding begins, during which the infant is particularly vulnerable due to the immaturity of their digestive tract. Indeed, it is during the period between 6 months and 2 years, known as the complementary feeding period, that the prevalence of thinness is highest and growth retardation in height is most apparent. Infant and young child nutrition is a priority area for improving child survival and promoting healthy growth and development. Moreover, the first three years of a child's life are crucial, as a good diet during this period reduces mortality and the incidence of other chronic diseases, and ensures better overall development [1]. The practice of exclusive breastfeeding up to 6 months among infants in Niger is estimated at 21.8%, which corresponds to a low rate [3]. Additionally, the introduction of complementary foods to breast milk is typically carried out between 6 and 12 months. This is accompanied by the poor quality of these foods, which are low in energy and micronutrients [6,7]. Complementary foods distributed to young children in Niger are generally low-energy, low-nutrient porridges prepared from simple cereal flours, fermented or unfermented [8,9]. Technological processes or household recipes adapted to various levels of technological development have been proposed for preparing ready-to-cook or instant flours. However, their effectiveness in increasing intake among young children and preventing malnutrition remains controversial. Their low-cost manufacturing, promotion, and use in urban and rural contexts also remain to be defined [9,10]. Moreover, many Sahelian companies offer locally produced infant flour on the market to ensure its accessibility to children [11]. The quality of infant flour used during the food diversification period is of great importance. Unfortunately, processing is subject to insufficient hygiene practices [8, 11]. In Niger, several infant formulas are available on the market, differing in brands and compositions. Some of these flours are imported, while others are produced locally. Among the latter is the fortified infant flour Misola® an integrated product for the prevention and management of moderate malnutrition. This flour has been manufactured in Burkina Faso, Mali, Cameroon, and Niger since the 1980s, and in Niger since 2006. This study was initiated to assess the production and use of Misola®, a fortified infant flour, to enhance its value. The primary objective of this study is to contribute to the promotion of production units (PU) and the utilization of fortified Misola® infant flour within the study area.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 MATERIALS

2.1.1 STUDY SETTING

The study took place in four areas of Niger, including the city of Niamey and the departments of Dogondoutchi, Tessaoua, and Guidan Roumdji (Figure 1).

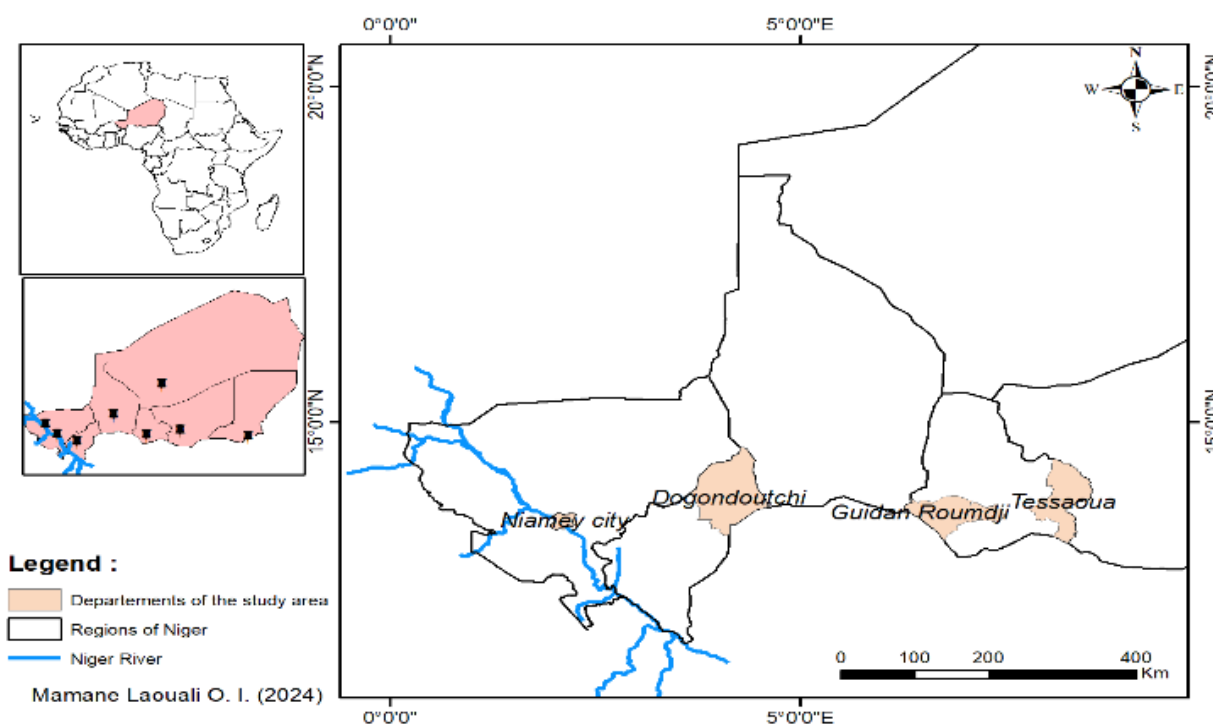


Fig. 1. Location of study areas

2.1.2 DATA COLLECTION TOOLS

To facilitate data collection, an interview guide and questionnaire were previously developed, including the following points: household characteristics, flour usage, hygiene conditions, and child nutrition. Information was also collected on production processes, storage, and distribution techniques, as well as other relevant details (such as quality, controls, hygiene, and the quantity of flour produced). Additionally, an evaluation grid was used to collect information on hygiene practices in production.

2.1.3 DATA PROCESSING TOOLS

The following tools were used for data processing:

- The ODK XLSFORM form was used to enter the questionnaire and the producer interview guide.
- Kobocollect software was used for collecting field data.
- Microsoft Office 2016® was used to create figures and tables and to write the dissertation.
- ArcGIS software was used to create the map of the study area.

In addition to these software programs, the data were organized in Excel and transferred to the R software for advanced analysis.

2.2 METHODS

2.2.1 TYPE OF STUDY

This survey used a descriptive, cross-sectional study to assess the production and use of Misola® fortified infant flour.

2.2.2 TARGET POPULATION

People who use Misola® fortified infant flour in their children's diets.

The presidents of the Misola® fortified infant flour training units.

2.2.3 INCLUSION CRITERIA

This study included all households using Misola® fortified infant formula in the study area.

2.2.4 EXCLUSION CRITERIA

This study excluded all households using Misola® fortified infant formula who did not voluntarily respond to the questionnaires.

2.2.5 SAMPLING

Sampling Method and Techniques

The snowball method was used to identify target households.

The Schwartz formula was used to calculate the sample size:

$$N = \frac{Z^2 * P * (1 - P)}{i^2} X e$$

N: sample size;

Z: standard deviation corresponding to the 95% confidence level, which is equal to 1.96;

P: The prevalence of Misola® fortified infant formula use is estimated at 50%. i: estimated accuracy of 10%;

e: the cluster effect is: 2

In application:

$$N = \frac{1,96^2 * 0,5 * (1 - 0,5)}{0,01} x 2 = 192,08$$

N=192 households

The resulting sample size is $192.08 + 10\%$ for non-respondents, which equals 19.2; which ultimately yields 211 households to be surveyed.

2.2.6 ETHICAL CONSIDERATIONS

To conduct this survey in a manner that respects the moral, cultural, and traditional values of the respondents, the following procedures were adopted: authorization was obtained from each village chief in Dogondoutchi, Tessaoua, and Guidan Roundji. Consent was obtained from the compounds/households after a detailed explanation of the study objectives.

2.2.7 DATA COLLECTION TECHNIQUE

Data on the production processes for Misola® fortified infant flour were collected through individual interviews with the presidents of their respective production units. In addition, data on Misola use were collected through personal interviews with the target audience.

2.2.8 HYGIENE EVALUATION OF MISOLA®

The production hygiene of Misola® fortified infant flour was evaluated at the three production units.

2.2.9 DIMENSIONS EVALUATED

During the evaluation process, observations were conducted in three Unit Levels (Niamey, Dogondoutchi, and Tessaoua) for Misola® fortified infant flour. The information was collected using evaluation grids. A rating method was then defined to determine compliance and non-compliance rates.

On the grid, a score of 2 was given to compliant criteria, a score of 1 to partially compliant criteria, and a score of 0 to non-compliant criteria.

The rates are determined using the following formulas [12]:

Compliance rate:

$$\% C = \frac{(\text{Number of noted criteria} * 2)}{(\text{Total number of criteria} * 2)} * 100$$

Partial compliance rate:

$$\% CP = \frac{(\text{Number of noted criteria} * 1)}{(\text{Total number of criteria} * 2)} * 100$$

The non-compliance rate is calculated using the following formula:

$$\% NC = 100 - (\% C + \% CP)$$

2.2.10 DATA PROCESSING TECHNIQUE

The processing of data from the producer interview guide allowed the development of the Misola® fortified infant flour production flowchart. However, the data from the household survey were processed in R software through descriptive analyses to determine the frequency of each variable studied. In addition, cross-tabulations were carried out between certain variables taken two by two; at this level, the frequencies were expressed as percentages using Microsoft Excel 2016 software. Finally, the hygiene assessment grid was used to determine compliance rates.

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 RESULTS

Figure 2 shows the distribution of flour producers by gender.

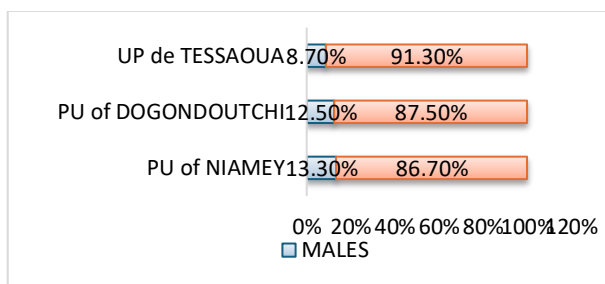


Fig. 2. Distribution of producers by gender

The survey revealed that the production of Misola® fortified infant flour is predominantly carried out by women, with an average of 88.50%.

3.1.1 MISOLA® PRODUCTION PROCESS

The different stages of Misola® fortified infant flour production are illustrated in Figure 3.

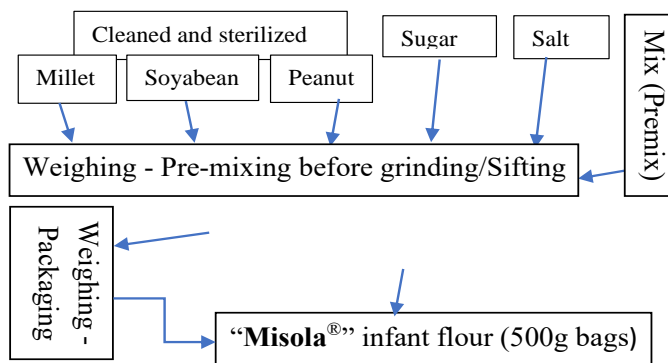


Fig. 3. Misola® Infant Flour Production Flowchart

The production of Misola® fortified infant flour is summarized in three stages, each with one or more unit operations. These stages are as follows:

- Raw material purification: with the unit operation (sorting, winnowing, drying, specific washing for millet, roasting, sterilization or second roasting, cooling, and dehulling/decontamination specific for peanuts).
- Milling: with the unit operation (sieving and mixing).
- Packaging.

3.1.2 HYGIENE IN MISOLA® PRODUCTION PROCESS UNITS

The compliance rate with hygiene criteria at the production unit level is presented in Figure 4.

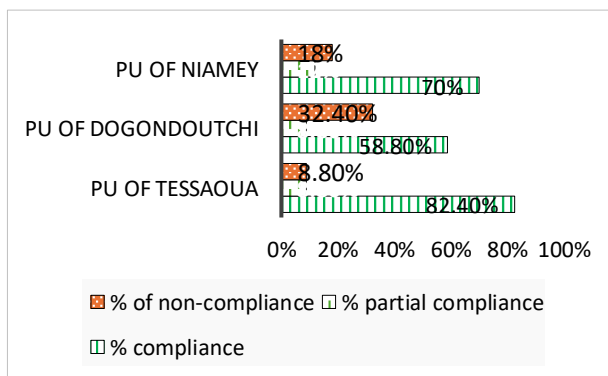


Fig. 4. Hygiene practices assessments within the three production units (PU of Niamey, Dogondoutchi and Tessaoua)

The study reveals a hygiene practices assessment compliance rate of 82.4% in the Tessaoua UP, 58.80% in the Dogondoutchi UP, and 70% in the Niamey UP.

3.1.3 PREPARATION AND USAGE OF MISOLA®

A preparation protocol has been defined to obtain porridge with a high energy density (100kcal per 100g of porridge) and an appropriate consistency (100mm per 30s of Bostwick flow).

This protocol allows for the preparation of approximately 150g of porridge, which should be given to children at least twice a day as a supplement to breast milk. The preparation instructions are as follows:

- Before preparing any porridge, hands and utensils must be thoroughly washed;
- Mix one (1) part MISOLA flour and three (3) parts of water in a container;
- The ideal amount is a glass of tea for a child’s meal;
- Mix everything well and bring to a boil over low heat;
- Boil for at least 5 minutes while stirring.

At first, the porridge will become thick, then runny, thick again; at this point, it is cooked. • Allow the porridge to cool, and it’s ready to give to your child;

- Close the package tightly after use.
- Store the flour in a clean, dry, and cool place.

3.1.4 SOCIOECONOMIC CHARACTERISTICS OF HOUSEHOLDS USING MISOLA®

Table 1. Socioeconomic characteristics of households using Misola® fortified infant flour in the study area.

Characteristics	Frequency (N=211)	Percentage (%)
Gender		
Female	201	95.2
Male	10	4.8
Age		
Under 20	9	18.5
20 to 40	163	77.2
40 to 60	39	4.3
Marital Status		
Divorced	1	0.5
Monogamously Married	136	64.5
Polygamously Married	64	30.5
Widowed	10	4.5
Occupation		
Students	9	4
Civil Servants	34	16
Housewives	168	80
Educational Level		
None	43	20.4
Quranic 1st Level (1 to 30 hizb)	75	35.5
Quranic 1st Level (1 to 60 hizb)	01	0.5
Primary	30	14.2
Secondary	49	23.2
Higher	13	6.2
Ethnicity		
Hausa	171	81
Fulani	2	1
Tuareg	2	1
Zarma-Sonrai	36	17

The majority of respondents were female (95.2%) and fell within the 20 -40 age range (77.2%) (Table 1).

Most of these respondents were monogamously married (64.5%) with a secondary education (23.2%). This study also shows that the majority of respondents were housewives (80%). However, 81% and 17% of the respondents spoke Hausa and Zarma-Sunrai, respectively.

3.1.5 HOUSEHOLD TYPOLOGY ACCORDING TO FLOUR USE PRACTICES

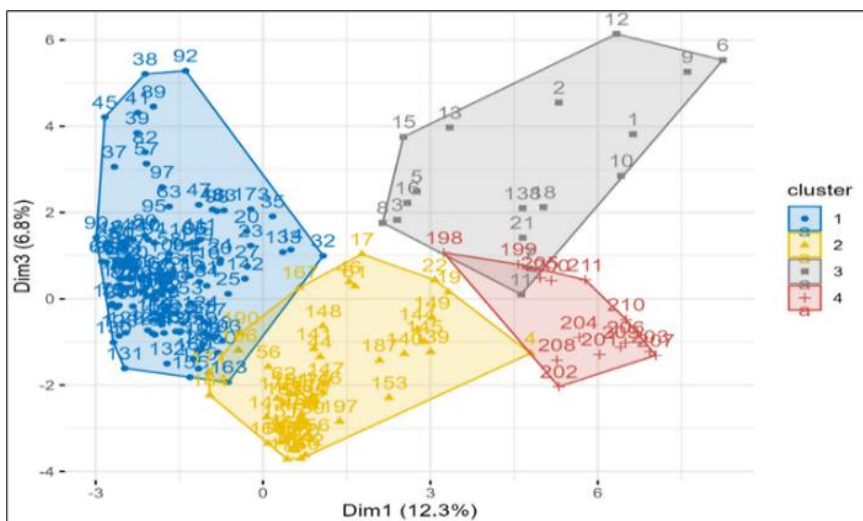


Fig. 5. Household typology according to their flour use practices

Figure 5 highlights four groups of households based on their flour-use practices. Specifically, households with a higher number of young children and shorter porridge shelf life; families at risk of delayed consumption and limited shelf life of porridge; households with longer shelf life and better hygiene practices for porridge; and households where the youngest child’s age is relatively high.

3.1.6 HYGIENE PRACTICES OF HOUSEHOLDS

- Handwashing

Figure 6 shows the distribution of handwashing before preparing Misola® porridge.

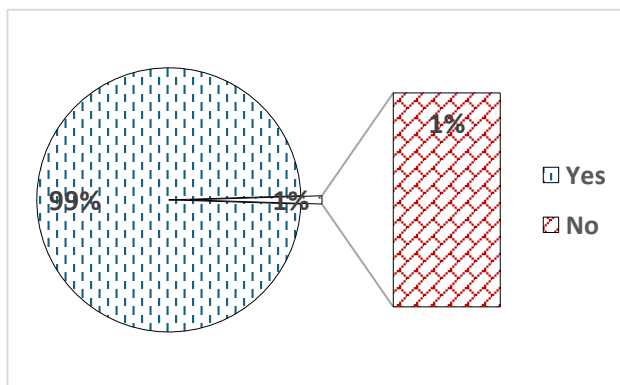


Fig. 6. Hand washing before preparing Misola® porridge

Analysis of Figure 6 shows that 99% of users of Misola® fortified infant flour wash their hands before preparing the porridge.

- Storage technique for Misola® fortified infant flour

The storage technique for Misola® fortified infant flour is shown in Figure 7.

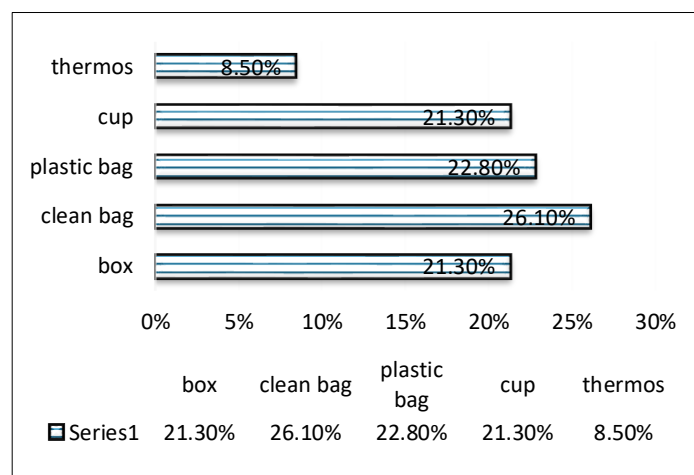


Fig. 7. Distribution of Misola® Infant Flour Storage Techniques

The analysis in Figure 7 indicates that (26.1%) of households using Misola® fortified infant flour store Misola® infant flour in its sachet.

3.1.7 LEVEL OF USE OF MISOLA®

- Reasons for Using Misola® Fortified Infant Flour

Table 2 highlights the reasons for using Misola® Fortified Infant Flour.

Table 2. Distribution of Reasons for Using Misola® Flour

Reason	Frequency	Percentage (%)
Dietary Supplement	2	0.9
Availability	7	3.3
Availability; Nutrients	3	1.4
Availability; Nutrients; Taste	8	3.8
Availability; Nutrients; Natural Taste	3	1.4
Diversification	26	12.3
Diversification ; Nutrients	2	0.9
Taste	2	0.9
Taste ; Nutrients	6	2.8
Nutrients	122	57.8
Nutrients ; Diversification	11	5.2
Malnutrition Prevention	7	3.3
Price	4	1.9
Price ; Availability ; Nutrients	8	3.8
Total	211	100

Table 2 shows that 57.8% of households using Misola® fortified infant flour use it because they consider it nutritious.

- Infant age of introduction of Misola®

Figure 8 illustrates the age at which Misola® porridge was introduced into children’s diets.

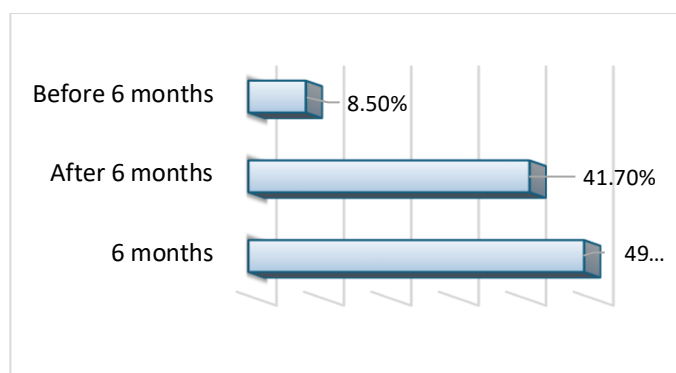


Fig. 8. Infant age of introduction of Misola® porridge into children's diet

The results in Figure 8 show that 49.8% of households using Misola® fortified infant flour begin giving their children Misola® porridge at 6 months of age. Furthermore, 8.5% of respondents introduced Misola® porridge before 6 months of age.

- Misola® porridge preparation technique learning

Figure 9 illustrates the location where Misola porridge preparation skills are acquired.

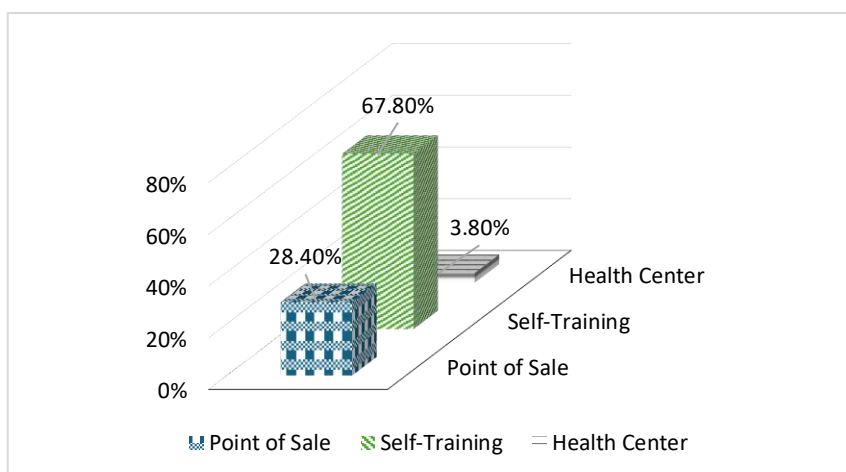


Fig. 9. Place of learning the Misola® porridge preparation skills

Analysis of Figure 9 shows that the majority of users (67%) acquired the Misola® porridge preparation technique through self-training (using the preparation instructions on the packaging), while 3.8% acquired the method at the health center.

- Correlation between socioeconomic characteristics and Misola® porridge use.
- Use of Misola® flour.

Table 3. Correlation between Misola® porridge preparation skills and people's occupation

Occupation	Knowledge of the Misola® porridge preparation technique		P-value
	NO	YES	
Students	0.9%	3.3%	0.981
Civil Servants	3.8%	12.3%	
Housekeepers	17.5%	62.1%	

There is no statistically significant relationship between knowledge of the Misola® porridge preparation skills and profession (P-value = 0.981).

3.2 DISCUSSION

This study was conducted to evaluate the production and use of Misola® fortified infant flour in Niamey, Dogondoutchi, Guidan Roumdji, and Tessaoua, to increase its consumption. This study shows that Misola® fortified infant flour is produced at the production units in Niamey, Dogondoutchi, and Tessaoua using the same processes. Women in Niamey, Dogondoutchi, and Tessaoua account for 86.7%, 87.5%, and 91.3% of the production, respectively. These results can be attributed to Misola's NGO's commitment to promoting women's empowerment and child protection. Furthermore, Misola® fortified infant flour production involves three steps: raw material purification, milling, and packaging. These steps are essential measures for producing high-quality infant formula. This could explain the current nutritional and microbiological quality of Misola® fortified infant formula. The results obtained for production hygiene at the Tessaoua production units are the most compliant, with 82.4% compliance, followed by the Niamey and Dogondoutchi production units, which achieved 70% and 58.8% compliance, respectively. This result is higher than that of el Ghaza et al. [12] in Morocco, who found 33.6%, 33.0%, and 47.0% in three study areas. These findings could be mainly due to staff training on good hygiene practices. Regarding gender, it was observed that 95.2% of users of Misola® fortified infant formula in Niamey, Dogondoutchi, Guidan Roumdji, and Tessaoua, respectively, are female. This could be explained by the fact that preparing porridge is a well-known activity among women in African society. The majority of users of Misola® fortified infant flour are aged 20 to 40, at 77.2%. This could be due to the relatively young population of Niger [3]. A majority of Misola® fortified infant flour users are in monogamous marriages, accounting for 64.5% of the total. This result is lower than that found by Laleye et al. [13], who reported that 92% of households are outside of the economic reach. This could be explained by the fact that the majority of users of Misola® fortified infant flour are in rural areas. Thus, the educational level of users of Misola® fortified infant flour is low [3], which is consistent with findings that the education of rural girls has long been a significant problem in Niger. Niger's low school enrollment rate justifies this finding. It was found that the majority of users of Misola® fortified infant flour are housewives (80%). This high proportion is attributed to their low socioeconomic status [14]. In this study, the Hausa ethnic group was the most represented, at 81%. This could be related to the selection of the departments of Dogondoutchi, Guidan Roumdji, and Tessaoua, where Hausa is the primary language spoken. However, these results also revealed that almost all users of Misola® fortified infant flour wash their hands before preparing porridge. These results are higher than those of N'Golo [15], who found a 68.8% rate. This could be explained by the fact that the surveyed population places great importance on hygiene, as well as by their basic level of Quranic education. In this study, 26.1% of users of Misola® fortified infant flour stored it in its original sachet, and 21.3% stored it in a box. This result could be explained by the fact that the sachet and box are suitable for preserving the flour when stored under the right conditions [16]. Most households (57.8%) use Misola® fortified infant flour because it is nutritious. This may be because respondents are aware of the flour's quality.

Although the majority of users of Misola® fortified infant flour (49.8%) introduce it as a complementary food from six months of age, 8.5% introduce it before this age. In some societies, the timing of complementary food introduction varies by infant; however, the ideal is for the diet to be diversified from the age of 6 months [17,18,19]. Introducing dietary diversification too early may raise the risk of morbidity and hinder the absorption of essential nutrients from breast milk. Additionally, premature diversification could impact psychomotor development [20]. This could be explained by the presence of civil servants among the respondents.

This study indicates that 48.8% of households using Misola® fortified infant flour continue to give Misola® porridge to their children beyond 24 months; however, only 20.4% of these households stop feeding Misola® porridge after 12 months. This could be explained by the fact that Misola® porridge is part of the child's eating habits. Furthermore, 67.8% of households using Misola® fortified infant flour have learned to prepare porridge through self-training. This finding was consistent with the Multiple Indicator Cluster Survey (MICS) conducted in 2016 by the National Institute of Statistics in Côte d'Ivoire [21].

There is no statistically significant relationship between knowledge of the Misola® porridge preparation technique and occupation. This could be explained by the fact that occupation does not necessarily determine knowledge of the porridge preparation technique, as even homemakers are familiar with the method.

4 CONCLUSION

It can be concluded that this study, which aims to contribute to the promotion of the production and use of Misola® fortified infant flour, has been achieved. Indeed, the output of Misola® fortified infant flour is organized as a network and carried out under Good Manufacturing Practices. Furthermore, the evaluation of hygiene rules across the various production units revealed compliance rates that meet international standards. The results and information collected during this field study will provide the MISOLA network and its partners with additional data to improve the production process and strengthen the use of Misola® fortified infant flour. However, some shortcomings were noted (67.8% of respondents learned the porridge preparation technique through self-training, and 8.5% of respondents introduced Misola® porridge as a complementary food before the age of six months) in the study areas. Overall, the use of Misola® fortified infant flour in the study areas is satisfactory. Furthermore, most mothers of children aged 0-59 months surveyed have a good understanding of the Misola porridge preparation technique and the appropriate time to introduce complementary foods into their children's diets.

ACKNOWLEDGMENTS

We are immensely grateful to the NGO Misola, with its infant flour production centers in Niger, and its Director, Dr. Amadou Maman Aminou.

REFERENCES

- [1] UNICEF/WHO/WORD BANK. 2021. Levels and trends in child malnutrition.32p. Available on: <https://data.unicef.org/resources/jme-report-2021/>.
- [2] World Health Organization, 2025. *World health statistics 2025: monitoring health for the SDGs, Sustainable Development Goals*. World Health Organization. Available on: <https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=2sleEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=Sustainable+Development+Goals+&ots=7YQayUdepj&sig=OJ76GDlshbf0XbKj6vZwWmDrQbc>.
- [3] INS (Institut National de la Statistique) /Niger. 2018. Le Niger en chiffre 2018. Available: on http://www.statniger.org/statistique/file/Affiches_Depliants/Niger_Chiffres_2018.pdf, 88p.
- [4] Morales, F., Montserrat-De la Paz, S., Leon, M.J. and Rivero-Pino, F., 2023. Effects of malnutrition on the immune system and infection and the role of nutritional strategies regarding improvements in children's health status: A literature review. *Nutrients*, 16 (1), p.1.
- [5] Yigezu, M., Zenebe, T., Deresse, T., Mekonnen, H., Woldamanuel, T., Hailu, M. and Kebede, N., 2024. Undernutrition and its determinants among children aged 6–59 months in Southern Ethiopia. *Scientific Reports*, 14 (1), p.22426.
- [6] Hassane, H. S., Hama-Ba, F., Amadou, I., Saïdou, A.-A., Balla, A., Nestor, B. I., & Charles, P. (2024). Selection of new recombinant inbred lines and dual-purpose cowpea genotypes based on total protein and its fractions, amino acids, and nutritional quality. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*.
- [7] Colin, A., Boulle, Martinaud, C., Traore, T., Soma, A., Lankoande, R., Kabore, C., et Mouquet-Rivier, C. 2017. Partage, perception et consommation des farines infantiles à Ouagadougou et dans la province de la Gnagna au Burkina Faso.67P.
- [8] Amadou, I., Baoua, I.B. and Sankhon, A. 2024. Contribution of the triple hermetic bag in the preservation of locally processed cereal and legume products in Niger. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 12 (3), 138-145.
- [9] Nord, M. and Leibtag, E., 2005. Is the «cost of enough food» lower in rural areas?. *Review of Regional Studies*, 35 (3), pp.291-310.
- [10] Amadou, I., Sankhon, A., Souley, R.A. and Harou, L.I., 2024. Nutritional physical and functional properties of wild Cowpea (*Vigna Vexillata* (L.)) grown in the Sahel Region. *American Journal of Food Nutrition*, 12, 107-13.
- [11] Sanogo, B., Edwige B.O., Bakary, T., Oumarou, Z., Boukaré, K., Henri, S.O., Laurencia, T.S., et Aly, S. 2022. Evaluation de la qualité physico-chimique et microbiologique de quelques farines infantiles locales vendues à Ouagadougou, Burkina Faso.13p.
- [12] El Ghaza, S., Chbab, Y., Bakrim, E., Zaadoud, B. et Chaouch, A. 2017. Evaluation du système d'hygiène dans les locaux des restaurations scolaires par rapport aux exigences normatives internationales. *European Scientific Journal* January 2017 edition vol.13, No.2 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e- ISSN 1857- 7431.13p
- [13] Laleye, F.T., Fanou-Fogny, N., Madode, Y.E., Chadare, F.J., Kanhounon, M.S., Boyiako, B.H., Achamou, M.M. and Hounhouigan, D.J., 2023. Availability, Accessibility and Contribution of Infant Flours to the Diet of Children Aged 6-59 Months in Benin. *Agricultural Sciences*, 14 (12), pp.1766-1787.
- [14] Zannou-Tchoko, V., Ahui-Bitty, L., Kouame, K., Bouaffou, K. and Dally, T., 2011. Utilisation de la farine de maïs germe source d'α-amylases pour augmenter la densité énergétique de bouillies de sevrage à base de manioc et son dérivé l'attiéké. *Journal of Applied Biosciences*, 37, 2477-2484.
- [15] N'golo, T. 2010. Statut Alimentaire et Nutritionnel des enfants de 6 à 59 mois de la région de Sikasso. Mali.97p.
- [16] Norme Nigérienne, NN 01-010-02. 2017. Norme sur les farines infantiles. Direction de la Normalisation, de la Promotion de la Qualité et de la Métrologie, 13 p.
- [17] da Silva, V.G., Mullaney, J.A., Roy, N.C., Smith, N.W., Wall, C., Tatton, C.J. and McNabb, W.C., 2025. Complementary foods in infants: an in vitro study of the faecal microbial composition and organic acid production. *Food & function*, 16 (9), 3465-3481.
- [18] Capra, M.E., Decarolis, N.M., Monopoli, D., Laudisio, S.R., Giudice, A., Stanyevic, B., Esposito, S. and Biasucci, G., 2024. Complementary feeding: tradition, innovation and pitfalls. *Nutrients*, 16 (5), 737.
- [19] Amadou, I., Gounga, EM., Le, GW. 2013. Millets: Nutritional composition, some health benefits and processing – A Review. *Emir. J. Food Agric*, 25 (7): 501-508.
- [20] Beressa, G., Whiting, S.J. and Belachew, T., 2024. Effect of nutrition education integrating the health belief model and theory of planned behavior on dietary diversity of pregnant women in Southeast Ethiopia: a cluster randomized controlled trial. *Nutrition Journal*, 23 (1), 3.
- [21] MICS. 2016. La situation des femmes et des enfants en Côte d'Ivoire. Enquête par grappes à indicateurs multiples. Ministère du plan et du développement. 410 p.

Effet des adventices sur la qualité, la productivité d'un pâturage artificiel de *Panicum maximum* C1 (jacques, 1786) et la composition du régime alimentaire des bovins

[Effect of weeds on the quality and productivity of an artificial pasture of *Panicum maximum* C1 (Jacques, 1786) and the composition of the cattle diet]

F. P. Koutouan^{1,2}, G. S. Kouadja³, and G. A. Kone¹

¹Unité Mixte de Recherche et d'Innovations Sciences Agronomiques et Procédés de Transformation (UMRI SAPT), Institut National Polytechnique Félix HOUPOUËT-BOIGNY, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

²Projet d'Appui au Développement de l'Aliment de Bétail (PRO-ALIMENTS), Ministère des Ressources Animales et Halieutiques (MIRAH), BP V 185 Abidjan, Côte d'Ivoire

³Station de Recherche sur les Productions d'Elevage de Bouaké, Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), 01 BP 633 Bouaké 01, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: In order to determine the effect of weeds on artificial pastures, a study was conducted in central Côte d'Ivoire, on an artificial pasture of *Panicum maximum* C1 invaded by weeds. The flora of the pasture was determined from the floristic survey, and the degree of soiling and degradation was subsequently assessed from the weeds list and their cover. The feed ration for the cattle on this pasture was determined using the «shepherd's collection» method. Pasture productivity was assessed by the full mowing method on plots previously protected. The results showed that the pasture studied was clean, composed of eight weed species, but very heavily degraded. The degree of degradation was 0.85. The cattle ration was composed mainly of grasses (94.5%), followed by legumes (5.4%). The specific contributions of *Panicum maximum* C1, a planted species, were 14.8% and 58.8%, respectively in the pasture and in the cattle diet. The species most appreciated by cattle remained *Panicum maximum* C1, with a selection index of 7.76. The potential forage productivity of the pasture was 5.73±0.08 tons of dry matter/hectare/year. This productivity rose to 10.35±0.11 tons of dry matter/hectare/year when the pasture was weeded and fertilised. The results obtained testify to the need to properly maintain and manage an artificial pasture.

KEYWORDS: pasture degradation degree, pasture soiling degree, pasture weed control, pasture fertilisation, cattle feed ration.

1 INTRODUCTION

L'exploitation des cultures fourragères conduit à des gains de poids individuels 5 à 25 fois supérieurs à ceux obtenus sur un pâturage naturel [1]. Toutefois, ces cultures exigent pour leur productivité, leur qualité et leur pérennité, des entretiens réguliers et une gestion rigoureuse ([2], [3], [4]). En effet, une bonne gestion de la culture fourragère, permet, de maintenir la flore fourragère en équilibre ou, mieux, de favoriser les espèces utiles par rapport aux espèces indésirables [5]. Ces exigences ne sont pas toujours réunies pour l'éleveur moyen, qui ne dispose pas non seulement de moyens financiers pour des entretiens réguliers du pâturage, mais en plus, de compétence technique pour mieux gérer son pâturage. L'on assiste dès lors à un déséquilibre ou une perturbation du milieu qui conduit à une dégradation du pâturage par la prolifération des plantes adventices, lesquelles prennent la place de la biomasse fourragère ([2], [5], [6]). La chute de la productivité et de la qualité du pâturage est observée et s'en suit finalement, une diminution de la production des animaux [5]. Si aucune mesure n'est prise pour restaurer ces pâturages monospécifiques dégradés, alors ils évoluent en une formation végétale composée d'une multitude d'espèces végétales. Cependant, malgré cet état de fait, ces pâturages artificiels dégradés continuent d'être exploités par le bétail, en pâture, toute l'année [6]. Le régime alimentaire qui devrait être presque mono spécifique, devient un régime alimentaire plurispécifique, composé de l'espèce fourragère implantée et de quelques adventices [2]. Malheureusement, il est

impossible de prédire ce régime alimentaire, puisqu'il est fonction de la flore du pâturage, elle-même fonction de l'espèce fourragère implantée, du mode d'exploitation, de l'absence d'apport d'engrais [6]. Ainsi, d'une région à un autre, d'un pays à un autre et d'un élevage à un autre et au sein du même élevage, d'une parcelle à l'autre, la contribution spécifique des adventices dans les pâturages, de même que les régimes alimentaires subséquents, peuvent apparaître très variés [6].

En Côte d'Ivoire, divers pâturages artificiels de *Panicum maximum* C1, ont été abandonnés, suite à un manque d'entretien de ces pâturages. Cependant, ces pâturages, assimilés parfois à des pâturages naturels, continuent d'être exploités par des troupeaux de bovins. Or, ces pâturages artificiels ont évolué. Exploités et dégradés, ils n'ont plus cette potentialité de fournir les Graminées nécessaires aux bovins. Ne pouvant donc pas adapter la production fourragère au cheptel que l'on désire, l'autre solution serait d'adapter le cheptel aux ressources fourragères disponibles [7]. Pour ce faire, la connaissance de la nature des espèces présentes, du régime alimentaire subséquent des animaux et de la productivité de ces pâturages sont nécessaires. Cette connaissance s'avère essentielle pour la rentabilité et la durabilité des systèmes d'élevage extensifs [6]. L'objectif de cette étude est de déterminer (i) l'effet des mauvaises sur la qualité et la productivité d'un pâturage de *Panicum maximum* C1 et sur la composition du régime alimentaire des bovins exploitant ce pâturage d'une part, et (ii) l'effet de la fertilisation sur la productivité fourragère d'un pâturage de *Panicum maximum* C1 envahi par les adventices d'autre part.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1 ZONE D'ÉTUDE

Les travaux ont été effectués à la Station semencière de Yamoussoukro (6°54'35,66" N de latitude; 5°30'57,21" O de longitude), dans le District Autonome de Yamoussoukro, précisément dans la sous-préfecture de Kossou, à 38 km de la ville de Yamoussoukro, sur l'axe Yamoussoukro-Bouaflé (Figure 1).

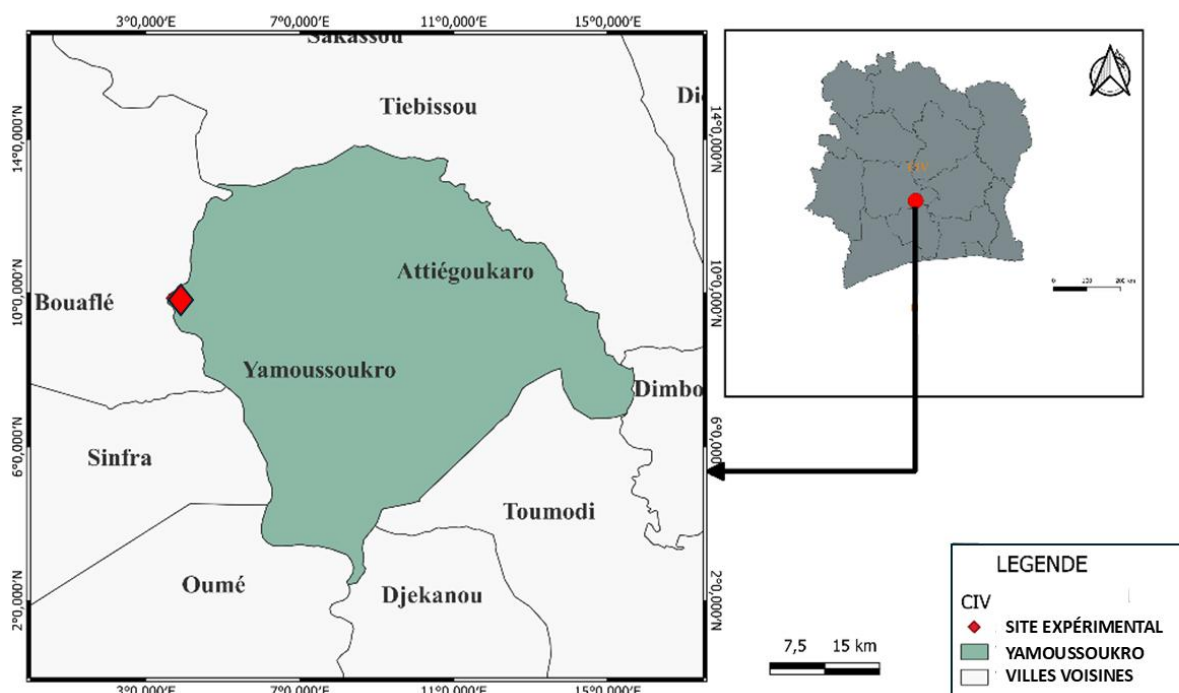


Fig. 1. Localisation du site de l'étude

Ce site est limité à l'Ouest par le fleuve Bandama blanc et à l'Est par le village de Toumbokro. Plusieurs espèces fourragères sont cultivées sur ce site. Il s'agit de *Panicum maximum* cv C1, de *Brachiaria ruziziensis*, de *Brachiaria mutica*, de *Cajanus cajan*, de *Aeschynomene histrix* et de *Stylosanthes guianensis*. Certaines espèces fourragères anciennement cultivées sur le site y sont présentes avec des pieds isolés par endroit. Il s'agit de *Panicum maximum* T58, de *Panicum maximum* cv K187 B, de *Aeschynomene americana* et de *Stylosanthes hamata*. Enfin, des espèces fourragères spontanées telles que *Pennisetum purpureum*, *Calopogonium mucunoides*, *Mucuna pruriens* et *Pueraria phaseoloides* y sont également présentes en quantité relativement importante.

2.2 CARACTÉRISATION FLORISTIQUE DU PÂTURAGE ÉTUDIÉ

Le pâturage étudié est un pâturage artificiel de *Panicum maximum* C1 envahi par des adventices. Il a été mis en place en culture monospécifique il y a plus de 10 ans. Il a été exploité pendant quatre ans et a été abandonné par la suite, consécutivement à une mauvaise gestion et à un mauvais entretien. Il a été mis en défens contre les animaux, en mars 2022, avant le début de la saison pluvieuse, pour le soustraire d'une quelconque exploitation par les animaux.

A l'optimum de végétation, la composition floristique de la strate herbacée de ce pâturage a été déterminée par la méthode des points quadrats alignés de [8]. L'identification des espèces a été faite *in situ* par un spécialiste, présent lors de l'étude.

Trois relevés de 50 points ont été réalisés suivant la toposéquence. La fréquence centésimale spécifique (FC) de chaque espèce a été calculée à l'aide de la formule 1:

$$FCi = \frac{n \times 100}{N} \quad (1)$$

Où N est le nombre d'unités d'échantillonnage et n le nombre de présence de l'espèce i.

La contribution spécifique des espèces présentes a été, par la suite, calculée selon la formule 2.

$$CSI = \frac{FCi}{\sum FCi} \quad (2)$$

Avec FCi: fréquence centésimale spécifique de l'espèce i.

La contribution spécifique représente la part que chaque espèce ou groupe d'espèces apporte à la couverture de la surface du sol du pâturage [9].

Le degré de dégradation D du pâturage a également été évalué à l'aide de la formule 3.

$$D = \frac{\text{Recouvrement des espèces adventices}}{\text{Recouvrement de toutes les espèces}} \quad (3)$$

Le recouvrement étant la fréquence centésimale d'une espèce (FCi), c'est-à-dire le rapport exprimé en pourcentage entre le nombre de présence et le nombre total de points observés [10].

2.3 DÉTERMINATION DE LA COMPOSITION FLORISTIQUE DES RATIONS ALIMENTAIRES

Deux fois par semaine de mai à août 2022, dix taurillons de race N'dama, âgés de 2 à 3 ans ont été suivis au pâturage afin d'identifier la composition de leur régime alimentaire. Cette composition a été déterminée grâce à la méthode dite "la collecte du berger" [9]. Elle a consisté à suivre, aux heures des repas et durant une heure, les bovins au pâturage et à observer de près leur comportement alimentaire pendant 10 à 20 secondes au travers de celui de l'animal le plus proche de l'opérateur. Les espèces ont été référencées en présence-absence.

Au terme de l'étude, la contribution spécifique des espèces consommées par les animaux a été calculée grâce à la formule 2. Par la suite, l'indice de sélection S a été calculé pour toutes les espèces consommées selon la formule 4 de [11], énoncée comme suit:

$$S = \frac{(CSI - CSC) \times 10}{CSI + CSC} \quad (4)$$

Où CSC est la contribution spécifique contact de l'espèce i dans le peuplement végétal et CSI la contribution spécifique de l'espèce i dans la ration.

2.4 DÉTERMINATION DE LA PRODUCTIVITÉ DU PÂTURAGE

La productivité du pâturage a concerné la production potentielle, c'est à dire la biomasse produite pendant la période active du pâturage [12]. Elle a été évaluée en fin août 2022. Pour cela, six placettes de 25 m x 25 m ont été mises en place en tenant compte de la toposéquence du site. Ces placettes ont été préalablement protégées de la pâture des animaux par des clôtures défensives. Trois de ces placettes ont été débarrassées régulièrement des mauvaises herbes et ont fait l'objet de fertilisation à l'urée 46%, à raison de 100 kg/ha. Les autres sont restés en l'état. Dans chaque placette, cinq unités de mesure de 1 m² ont été placées à l'aide d'un carré métallique de 1 m² (1 m x 1 m), dont deux par diagonales et une, à l'intersection des deux diagonales (Figures 2). Ainsi, 15 unités de mesure au total ont été réalisées par traitement.

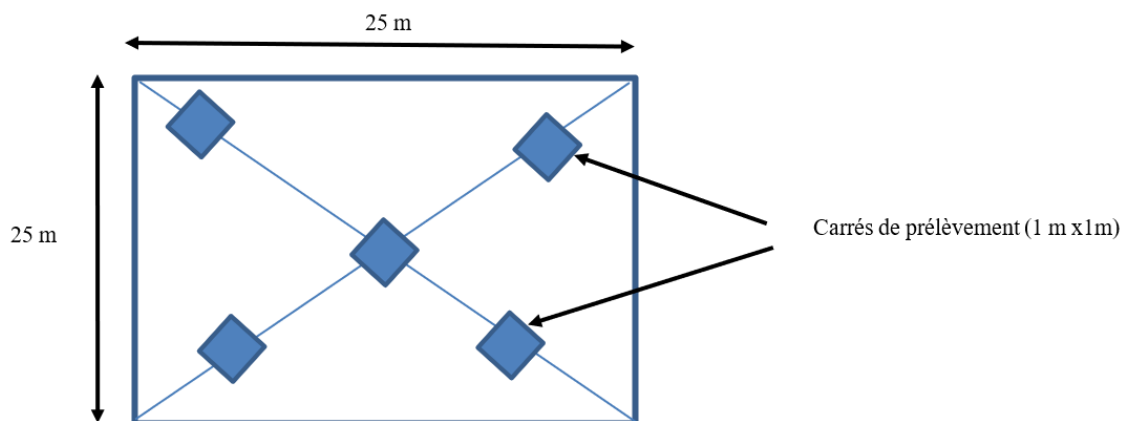


Fig. 2. Plan de prélèvement de la biomasse herbacée sur une placette de 625 m²

A l'intérieur de chaque carré de prélèvement, les mesures de biomasse ont été effectuées par la méthode de fauche intégrale. La biomasse herbacée a été fauchée à 15 cm du sol à l'aide d'une faucille, autour de 10 h pour éviter la rosée. Avant la coupe, l'herbe à l'extérieur du carré a été soigneusement écartée. Après la coupe, la biomasse morte a été triée pour être retirée de la biomasse récoltée. La biomasse fraîche totale de chaque carré de prélèvement a été pesée à l'aide d'une balance sensible de portée 2 kg et de précision 0,1 g.

Une fois la récolte terminée, les cinq échantillons par placette ont été hachés, mélangés et homogénéisés. Par la suite, un échantillon aliquote de 100 g par placette a été prélevé, puis placé à l'étuve à 70°C pendant 72 h pour la détermination de la matière sèche. Le taux moyen de matière sèche (TMS moy) par échantillon aliquote a été calculé par la suite, puis les productivités par ha selon la procédure décrite par [13].

2.5 ANALYSE DES DONNÉES

Les données obtenues ont été rangées et traitées de sorte à déterminer les contributions spécifiques des espèces et les indices de sélection.

Le test t de Student a été utilisé pour comparer la productivité moyenne du pâturage avec et sans entretien (désherbage régulier et fertilisation). Le logiciel R version 4.5.0. a servi à faire cette comparaison.

3 RÉSULTATS

3.1 COMPOSITION FLORISTIQUE DU PÂTURAGE ET DEGRÉ DE DÉGRADATION

Neuf espèces végétales ont été recensées au niveau de la strate herbacée du pâturage étudié. *Sporobolus pyramidalis* a la plus forte contribution spécifique (20,9 %), suivie de *Calopogonium mucunoides* (17,9 %). L'espèce cultivée, *Panicum maximum* C1 vient en troisième position avec une contribution de 14,8 %. Au niveau des familles, les Poaceae viennent en tête avec une contribution de 54,7 %. Elles sont suivies par les Fabaceae (34,1 %), puis par les Malvaceae (10,7 %) (Tableau 1). Le degré de dégradation du pâturage est de 0,85.

Tableau 1. Composition floristique de la strate herbacée du pâturage étudié

N°	Espèces présentes dans le pâturage	Famille	CS/espèce (%)	CS/famille (%)
1	<i>Aeschynomene americana</i>		4,6	
2	<i>Calopogonium mucunoides</i> Desv.	Fabaceae	17,9	34,1
3	<i>Desmodium scorpiurus</i> (Sw.) Jacq		11,6	
4	<i>Sida acuita</i> Burm. F.	Malvaceae	3,0	10,7
5	<i>Sida stipulasa</i> Cav.		7,7	
6	<i>Acroceras amplexens</i> Stapaf		14,6	
7	<i>Panicum maximum</i> C1	Poaceae	14,8	54,7
8	<i>Panicum maximum</i> K187 B		4,4	
9	<i>Sporobolus pyramidalis</i> P. Beauv		20,9	
10	Sol nu		0,5	
TOTAL CSC (%)			100,0	99,5

3.2 COMPOSITION FLORISTIQUE DE LA RATION DES BOVINS

Six espèces sur les neuf recensées ont été consommées par les animaux. Les espèces non consommées sont *Desmodium scorpiurus*, *Sida acuita* et *Sporobolus pyramidalis*. Au niveau des espèces consommées, *Panicum maximum* C1 est celle qui participe le plus à la ration des bovins (58,8%), suivie de *Panicum maximum* K187 B (34,8%). Les Poaceae représentent la famille botanique la plus représentée dans la ration des bovins (94,5%). Elles sont suivies par les Fabaceae (5,4%) (Tableau 2).

Tableau 2. Composition floristique de la ration des bovins

N°	Espèces	Famille	FCi (%)	CS des espèces dans la ration (%)	CS des familles dans la ration (%)
1	<i>Aeschynomene americana</i>		3,46	3,5	
2	<i>Calopogonium mucunoides</i>	Fabaceae	1,90	1,9	5,4
3	<i>Desmodium scorpiurus</i>		0,00	0,0	
4	<i>Sida acuita</i>	Malvaceae	0,00	0,0	0,2
5	<i>Sida stipulasa</i>		0,17	0,2	
6	<i>Acroceras amplexens</i>		0,87	0,9	
7	<i>Panicum maximum</i> C1	Poaceae	58,82	58,8	94,5
8	<i>Panicum maximum</i> K187 B		34,78	34,8	
9	<i>Sporobolus pyramidalis</i>		0,00	0,0	
TOTAL			100,00	100,0	100

3.3 INDICES DE SÉLECTION DES ESPÈCES VÉGÉTALES PRÉSENTES DANS LE PÂTURAGE

Les indices de sélection des différentes espèces végétales présentes dans le pâturage varient de -10 à 7,76. L'espèce la plus appréciée est *Panicum maximum* C1 (7,76), suivie de *Panicum maximum* K187 B (5,99). Les espèces non consommées ont enregistré des indices de sélection de -10 (Tableau 3).

Tableau 3. Indices de sélection de la flore du pâturage étudié

Famille	Indice de sélection S	Rang de l'appétibilité
<i>Panicum maximum</i> C1	7,76	1
<i>Panicum maximum</i> K187 B	5,59	2
<i>Aeschynomene americana</i>	-1,38	3
<i>Calopogonium mucunoides</i>	-8,08	4
<i>Acroceras amplexens</i>	-8,88	5
<i>Sida stipulasa</i>	-9,56	6
<i>Desmodium scorpiurus</i>	-10,00	7
<i>Sida acuita</i>	-10,00	7
<i>Sporobolus pyramidalis</i>	-10,00	7

3.4 PRODUCTIVITÉ DU PÂTURAGE ÉTUDIÉ EN FONCTION DES TRAITEMENTS

La productivité du pâturage a varié en fonction du traitement subi. Sans entretien, elle a été de $5,73 \pm 0,08$ t MS/ha/an. Mais, avec un entretien, elle a été de $10,35 \pm 0,11$ t MS/ha/an (Tableau 4).

Tableau 4. Productivité du pâturage (t MS/ha/an) en fonction du traitement

Type de pâturage	Productivité (t MS/ha/an)
Parcelle non entretenue	5,73±0,08
Parcelle désherbée et fertilisée	10,35±0,11
Valeur de p	<0,05

4 DISCUSSION

En dehors de l'espèce plantée, huit autres espèces ont été inventoriées dans le pâturage étudié. Selon la classification proposée par [10], le pâturage étudié est propre. Cependant, il est très fortement dégradé au vu du taux de dégradation. Les espèces adventices sont ainsi peu nombreuses dans le pâturage, mais elles ont un fort recouvrement. *Panicum maximum* C1, espèce cultivée en culture monospécifique a vu sa contribution spécifique fortement régresser du couvert végétal (CS=14,8 %) au profit de certaines espèces végétales. Ceci serait dû au manque d'entretien et de gestion du pâturage dès sa mise en exploitation et lors des exploitations ultérieures. En effet, pendant les quatre années d'exploitation de la parcelle fourragère, après sa mise en place, elle n'a bénéficié ni d'une fertilisation régulière, ni d'une gestion correcte, notamment le respect de la capacité de charge. Cette observation est en accord avec l'affirmation de [5], selon laquelle, sans gestion correcte et sans entretien, l'exploitation intensive et soutenue des espèces fourragères pérennes provoque, à plus ou moins long terme, la dégradation du pâturage; entraînant une prolifération des plantes adventices. Celles-ci peu à peu prennent la place de la biomasse fourragère ([2], [6]). Cette supposition est confirmée par la présence en proportion importante (10,7 %) des espèces du genre *Sida*. La présence des espèces de ce genre témoigne d'un problème de gestion du pâturage selon [2]. Or, une bonne gestion permet de maintenir la flore fourragère en équilibre ou, mieux, de favoriser le développement des espèces utiles par rapport aux espèces indésirables [5]. Par ailleurs, bien que le niveau de fertilité du sol n'ait pas été évalué, il semblerait que la fertilité du sol soit à un niveau bas; ce qui vraisemblablement aurait favorisé la prolifération des espèces peu exigeantes en azote telles que les Fabaceae (34,1 %). En effet, dans une savane humide soudanienne, en équilibre, la proportion des Légumineuses est de 2 %, contre 97 % pour les Graminées [14]. Les Légumineuses sont des espèces qui ne supportent pas une forte teneur du sol en azote, car cela peut nuire au développement des nodosités, qui les rendent autosuffisantes en azote [2]. Leur proportion tend donc à diminuer dans les sols riches en azote [5]. Parallèlement, *Panicum maximum* C1 est une espèce fourragère qui nécessite une fertilisation d'appoint [15]. Ainsi, la baisse du niveau d'azote du sol, couplée avec une mauvaise gestion du pâturage, a selon toute probabilité entraîné une régression de population *Panicum maximum* C1 au profit des espèces peu ou pas appréciées comme *Sporobolus pyramidalis* [16].

La ration des bovins était constituée majoritairement de Graminées (94,5 %), suivie des Légumineuses (5,4 %). L'appétence des Graminées par les bovins s'explique par la texture relativement tendre de leurs tissus, leur goût discret et leur odeur non marquée par des substances désagréables ou répulsives, l'absence ou la faible teneur en substances toxiques ou en tanins, la richesse en glucides digestibles, la facilité à les pâturer et à les brouter, et leur abondance. L'intérêt des Légumineuses pour les bovins vient de la richesse remarquable de leurs feuilles, fruits et graines en matières azotées par rapport aux autres plantes; ce qui leur confère une valeur nutritive élevée [2]. Bien que *Sporobolus pyramidalis* soit une Graminée, et qu'elle soit l'espèce ayant la plus forte contribution spécifique du pâturage, elle n'a pas été consommée par les animaux. Ceci est en accord avec les conclusions de [16] qui avaient rangé cette espèce dans la classe 0 des valeurs pastorales, c'est-à-dire dans le groupe des espèces qui sont inapétées dans les conditions normales. *Panicum maximum* K187 B a été très appréciée par les animaux, bien qu'elle soit considérée dans cette étude comme une plante adventice. Elle vient en deuxième position après l'espèce cultivée *Panicum maximum* C1. *Panicum maximum* K187 B est une Graminée fourragère, qui bien que présentant beaucoup de qualités fourragères, a une appétibilité moindre par rapport à *Panicum maximum* C1 [17]. Elle est avec *Aeschynomene americana*, dans le cortège floristique des adventices. Ces deux espèces fourragères sélectionnées ([18], [19]) et présentes dans l'environnement de l'étude sont des espèces fourragères de haute valeur alimentaire. D'autres espèces adventices spontanées ont également fait partie de la ration des animaux. Ces différents constats posent réellement le problème de la notion salissement du pâturage. Toutes les espèces non plantées doivent être considérées comme des adventices ou seulement celles qui ne sont pas consommées par les animaux ? Pour la référence [2], certaines plantes envahissantes peuvent être tolérées dans les pâturages, d'autres par contre, sont très gênantes pour l'exploitation qu'il faut éliminer. Pour ces auteurs, aucune plante n'est mauvaise dans l'absolu, cette appréciation n'est faite que par rapport à un contexte particulier.

La productivité du pâturage sans entretien a été faible ($5,73 \pm 0,08$ t MS/ha/an) par rapport aux $10,35 \pm 0,11$ t MS/ha/an obtenus lorsqu'il a subi un désherbage régulier et une fertilisation d'appoint ($p < 0,05$). Cette faible productivité se rapproche de celle d'une jachère restaurée (3,59 t MS/ha/an) du nord de la Côte d'Ivoire [16] et s'inscrit dans le même ordre de grandeur que celles obtenues (3,4 à 5,2 t

MS/ha) par [20] pour les pâturages naturels soudano-guinéens. Ce résultat rejoint celui de [21] qui avait affirmé que sans fertilisation, la culture de *Panicum maximum* C1 était semblable à celle des savanes naturelles du point de vue de la valeur en matières azotées totales. En rapprochant les résultats de cette étude et ceux de [21], l'on peut donc conclure qu'en l'absence d'entretien, de gestion et de fertilisation, la culture de *Panicum maximum* C1 est semblable à une savane naturelle du point de vue de la qualité et de la productivité fourragère. La faible productivité obtenue, est due à l'absence d'entretien, et vraisemblablement à la dégradation du pâturage, signalée plus haut. En effet, la dégradation du pâturage entraîne une chute de la productivité et de la qualité du pâturage, une modification de la flore et, finalement, une diminution de la production des animaux [5]. Comme précédemment suggéré, la baisse du niveau de fertilité du sol du pâturage, suite à un manque d'entretien et à une mauvaise gestion du pâturage peut avoir aussi contribué à la chute de la productivité. En effet, *Panicum maximum* C1 est une espèce fourragère qui nécessite une fertilisation d'appoint [15]. Sans fertilisation, sa productivité baisse au fil des exploitations. La référence [22] a constaté que sans fertilisation, la productivité de *Panicum maximum* cv C1 durant la troisième année d'exploitation était tombée à 47 % de celle de la première année. Et même avec des applications substantielles d'engrais, cette productivité avait diminué de 20 %. Ces résultats montrent tout l'intérêt d'éliminer les mauvaises herbes et de fertiliser régulièrement le pâturage artificiel de *Panicum maximum* C1.

5 CONCLUSION

Au terme de cette étude, il ressort que le pâturage artificiel étudié est propre mais dégradé. L'espèce cultivée, *Panicum maximum* C1, est restée celle qui a la plus forte contribution spécifique dans la ration des bovins. La ration des bovins sur ce pâturage est composée majoritairement de Graminées. Certaines espèces non plantées prennent une place importante dans cette ration, en termes de contribution spécifique. Ceci pose ainsi le problème de la notion de salissement. Quelle espèce doit-on, dans un pâturage artificiel, considérée comme adventice ? Toutes celles qui n'ont pas été plantées ou uniquement celles qui ne sont pas consommées par les animaux ?

Au niveau de la productivité fourragère, les résultats ont montré qu'en l'absence d'entretien régulier, la productivité d'un pâturage artificiel de *Panicum maximum* C1 se situe dans la gamme de productivité des savanes soudano-guinéennes. Ces résultats témoignent de la nécessité de (i) bien lutter contre les adventices dans un pâturage artificiel, (ii) d'apporter une fertilisation d'appoint à son pâturage artificiel, (iii) d'adopter un type et un rythme d'exploitation qui ne soit pas préjudiciable à l'espèce cultivée et (iv) de bien gérer son pâturage, afin de maintenir aussi longtemps que possible, la productivité, la pérennité et la qualité du pâturage artificiel.

REMERCIEMENT

Nous tenons à remercier le Projet de Gestion Intégrée des Ranchs et Stations (PROGIRS) du Ministère des Ressources Animales et Halieutiques de Côte d'Ivoire pour le financement de l'étude.

REFERENCES

- [1] Rippstein G. et Godet G., 1999. Exploitation des cultures fourragères. In: Roberge G. et Toutain B. (Eds), Cultures fourragères tropicales, CIRAD, France, pp 269-319.
- [2] Klein H.D., Rippstein G., Huguenin J., Toutain B., Guerin H. et Louppe D., 2014. Les cultures fourragères. Agricultures tropicales en poche, éditions Quæ, CTA, Presses agronomiques de Gembloux, 264 p.
- [3] Houndjo D.B.M., Adjolohoun S., Ahoton L., Gbenou B., Saidou A., Houinato M. et SINSIN B.A., 2017. Influence of cow manure and row spacing on growth, flowering and seed yield of Centro (*Centrosema pubescens Benth.*) on ferralitic soils of Benin (West Africa). *American Journal of Agricultural Research*, 2: 11. <http://escipub.com/american-journal-of-agricultural-research/>.
- [4] Sana Y., Kiema S., Sanou J., Sawadogo L. et Zoungrana-Kaboré Y.C., 2020. Factors determining the productivity of *Panicum maximum* C1 in Burkina Faso. *Agricultural Science Research Journal*, 10 (8): 235 – 244.
- [5] Paillat J.-M., Rippstein G., Huguenin J., Marnotte P. et Déat M., 1999. Etablissement et entretien des prairies. In: Roberge G. et Toutain B. (Eds), Cultures fourragères tropicales, CIRAD, France, pp 215-267.
- [6] Huguenin J., 2001. Facteurs et dynamiques de la dégradation des prairies guyanaises. In: Duru M., Leconte P. et Guerin H. (Eds), Dynamiques de végétation et relations herbe/animal, Rapport n°2001-37, compte rendu du Séminaire INRA-CIRAD à Montpellier, les 31 janvier et 1er février 2001, 27-35.
- [7] César J., Zoumana C. et Nguessan A.A., 2000. Les régimes alimentaires: des bovins, des ovins et des caprins en région soudanienne. Montpellier: CIRAD, 14 p.
- [8] Daget P. et Poissonet J., 1971. Une méthode d'analyse phytologique des prairies. *Ann. Agron*, 22 (1), 5-41.
- [9] Daget P., Poissonet J. et Huguenin J., 2010. Prairies et pâturages: méthodes d'étude de terrain et interprétations, CNRS/CIRAD, 955 p.
- [10] Daget P. et Poissonet J., 1972. Salissement et dégradation des prairies artificielles et des prairies temporaires. *Fourrages* 50, 97-106.

- [11] Daget P., 1995. Valeur alimentaire de la végétation. In: Daget P. et Godron M. (Eds), Pastoralisme: Troupeaux, espaces et sociétés, Chapitre 6, Production et productivité primaires des pâturages, HATIER - AUPEL-UREF, 219-258.
- [12] Kouassi A.F., 2013. Etude agrostologique et socio-économique des exploitations fourragères dans zones urbaines et périurbaines de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat à l'UFR Biosciences de l'Université Félix Houphouët-Boigny Abidjan (Côte d'Ivoire), 177p.
- [13] Kouadja G.S., Koutouan F.P., Kouadio K.E, Wandan E.N. et Bakayoko A., 2024. Qualité et capacité de charge des pâturages péri urbains de la zone sud-soudanienne de la Côte d'Ivoire. *African Crop Science Journal*, 32 (4): 305-323. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/acsj.v32i4.2>.
- [14] César J., 1987. Les pâturages naturels en milieu tropical humide. In: Andru J., Boudet G., César J., Forgiani G., Gaston A., Mandret G., Merlin P., Rippstein G., Roberge G. et Toutain B. (Eds), Terroirs pastoraux et Agropastoraux en zone tropicale: Gestion, aménagement et intensification fourragère, CIRAD, IEMVT, France, pp 167-223.
- [15] César J., Ehouinsou M. et Gouro A., 2004. Production fourragère en zone tropicale et conseils aux éleveurs. PROCORDEL, CIRDES, INRAB, CIRAD-IEMVT, 48 p.
- [16] César J. et Coulibaly Z., 1993. Conséquence de l'accroissement démographique sur la qualité de la jachère dans le nord de la Côte d'Ivoire. In: Florest C. et Serpantié G. (Eds), Colloque et séminaires: jachère en Afrique de l'ouest, ORSTOM, Paris, pp 415-434.
- [17] Mandret G., Ourry A. et Roberge G., 1990. L'intérêt du *Panicum maximum* pour l'intensification fourragère au Sénégal. I. L'association maraîchage-élevage. *Revue Élev. Méd. vét. Pays trop.*, 43 (2), 281-287.
- [18] Guerin H., 1999. Valeur alimentaire des fourrages cultivés. In: Roberge G. et Toutain B. (Eds). Cultures fourragères tropicales, CIRAD, France, pp: 93-145.
- [19] Tobisa M., Shimojo M. et Masuda Y., 2014. Root Distribution and Nitrogen Fixation Activity of Tropical Forage Legume American Jointvetch (*Aeschynomene Americana* L.) cv. Glenn under Waterlogging Conditions. *International Journal of Agronomy*. Volume 2014, 1-10. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/507405>.
- [20] Agonyissa D. et Sinsin B., 1998. Productivité et capacité de charge des pâturages naturels au Bénin. *Revue Élev. Méd. vét. Pays trop.*, 51 (3): 239-246.
- [21] Kouao B.J., 1985. Etude de la digestibilité et de la valeur alimentaire d'un herbage de savane en relation avec l'âge des repousses. Note technique n° 2, DEG/CE/IDESSA, 11 p.
- [22] Roberge G., Hainnaux G. et Daudet A., 1999. Quelques aspects agronomiques des plantes cultivées. In: Roberge G. et Toutain B. (Eds). Cultures fourragères tropicales, CIRAD, France, pp: 69-92.

Effet de la densité de semis sur la rosette d'arachide (*Arachis hypogaea* L.) dans les conditions agro-écologiques de la ville de Kenge en République Démocratique du Congo (RDC)

[Effect of sowing density on peanut (*Arachis hypogaea* L.) rosette under the agro-ecological conditions of the city of Kenge in the Democratic Republic of Congo (DRC)]

Blanchard TEBO KULAPA¹, Adrien NDONDA MALONDA¹, Ruffin NSIELOLO KITOKO¹⁻², Augustin NGOMBO NZOKWANI³, Gaétan KALALA BOLOKANGO³, and Marcel MUENGULA MANYI³

¹Université du Kwango, BP. 41 Kinshasa I, Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement, RD Congo

²Université Pédagogique Nationale, BP 8815 Kinshasa Faculté des Sciences et Technologie, RD Congo

³Université de Kinshasa, BP.117 Kinshasa XI, Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement, RD Congo

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

ABSTRACT: The present study aims to highlight the effects of different planting densities on the control of groundnut rosette under the agro-ecological conditions of Kenge. The study was conducted in the Democratic Republic of Congo, Kwango Province, in the city of Kenge.

For this study, we used an experimental approach combined with statistical analysis. The experimental design was a 2 × 4 factorial in a split-plot arrangement with four treatments and three replications: T0 = random spacing, T1 = 20 cm × 20 cm, T2 = 40 cm × 20 cm, and T3 = 30 cm × 30 cm.

The results showed that T1 (20 cm × 20 cm) achieved the best performance, with a lower incidence and less severe attacks compared to the other treatments. It was followed by T0 (random spacing), which gave results similar to T1. Lime amendment also proved important, providing better results on the plots where it was applied compared to plots without lime.

These findings suggest that higher planting densities help control the aphid *Aphis craccivora* and combat groundnut rosette.

KEYWORDS: effect, planting density, groundnut rosette, agro-ecological conditions.

RESUME: Le présent travail vise à mettre en évidence les effets de différentes densités de semis dans la lutte contre la rosette d'arachide, dans les conditions agro écologiques de Kenge. L'étude a été menée en RDC, province du Kwango, dans la Ville de Kenge. Pour réaliser cette étude, nous nous sommes servis de la méthode expérimentale et d'analyse statistique. Le dispositif expérimental utilisé est le factoriel 2 x 4 en split plot avec quatre traitements et trois répétitions dont T0 = écartement aléatoire, T1 = 20 cm x 20 cm, T2 = 40 cm x 20 cm, T3 = 30 cm x 30 cm. Les résultats ont montré que le T1 (20 cm x 20 cm) est le traitement qui a obtenu les meilleurs résultats avec une incidence inférieure aux autres traitements, et des attaques beaucoup moins sévères par rapport aux autres. Il est suivi du T0 (écartement aléatoire) qui a présenté un résultat approximatif du T1 (20 cm x 20 cm). L'amendement calcaire a aussi démontré son importance en offrant aux parcelles sur lesquelles, il a été appliqué des résultats supérieurs comparés aux parcelles sans amendement calcaire. Ce qui porte à croire que les hautes densités de semis permettent de contrôler les pucerons *Aphis craccivora* et de lutter contre la rosette d'arachide.

MOTS-CLEFS: effet, densité de semis, rosette d'arachide, conditions agro écologiques.

1 INTRODUCTION

L'arachide (*Arachis hypogaea* L.) constitue une ressource végétale majeure dans le monde, en raison de son importance pour l'alimentation humaine et animale ainsi que pour diverses applications industrielles [1]. Cette culture, très répandue à l'échelle régionale et mondiale, est pratiquée dans les zones tropicales, subtropicales et tempérées, et représente une source importante de protéines, fibres, minéraux, vitamines et corps gras [2]. Elle se situe à la douzième place des cultures les plus pratiquées, avec la Chine et l'Inde comme principaux producteurs (49 % de la production mondiale) [3]. L'utilisation de variétés tardives et à forte productivité est privilégiée [4].

En République démocratique du Congo (RDC), l'arachide constitue une source essentielle de revenu pour les ménages producteurs et est transformée en huile et tourteaux destinés à l'alimentation animale [5]. En Afrique en générale et en RDC, malgré son essor, la culture est confrontée à de nombreuses contraintes phytosanitaires. Les semences doivent présenter un taux de germination d'au moins 85 % pour être utilisées [6].

La gestion des maladies constitue un défi majeur, notamment face à la rosette de l'arachide, apparue en 1907 en Afrique et provoquant d'importantes pertes [7]. Cette maladie est causée par le virus « Groundnut Rosette Virus : GRV », transmise par le puceron « *Aphis craccivora* » [8]. Les piqûres de ces pucerons provoquent non seulement la transmission du virus, mais également des désordres physiologiques qui entraînent une stérilité partielle des plantes [9]. La rosette constitue donc une menace sérieuse pour la production arachidière en Afrique, incitant la communauté scientifique à développer des variétés résistantes [10].

L'université du Kwango s'est engagée dans ces efforts pour lutter contre la rosette [11]. Le développement de la maladie est lié à la population de pucerons, qui se multiplient environ 50 jours après les premières pluies significatives [12]. Les symptômes incluent le rabougrissement et le jaunissement des feuilles, donnant aux plants un aspect touffu [13].

Plusieurs études indiquent que la densité de semis influence le développement et la prolifération de *Aphis craccivora*. Des densités plus élevées maintiennent l'humidité du sol, limitant la reproduction des pucerons et contribuant au contrôle de la rosette [14].

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 AIRE D'ÉTUDE

L'expérimentation a été conduite dans la ville de Kenge en RDC, cette ville est située sur la nationale 1 à environs 275 km de Kinshasa, ville province et capitale de la RDC.

Kenge a une altitude moyenne de 591m et est localisée à 4°50'11 de l'altitude Sud et 17°121'37368 de longitude Est (**APP. Mes coordonnées, 2025**).

Sur le plan administratif, la ville de Kenge est subdivisée en 5 communes (Figure 1): Laurent Désiré Kabila, 5 mai, Manonga et Masikita où est localisé notre site expérimental.

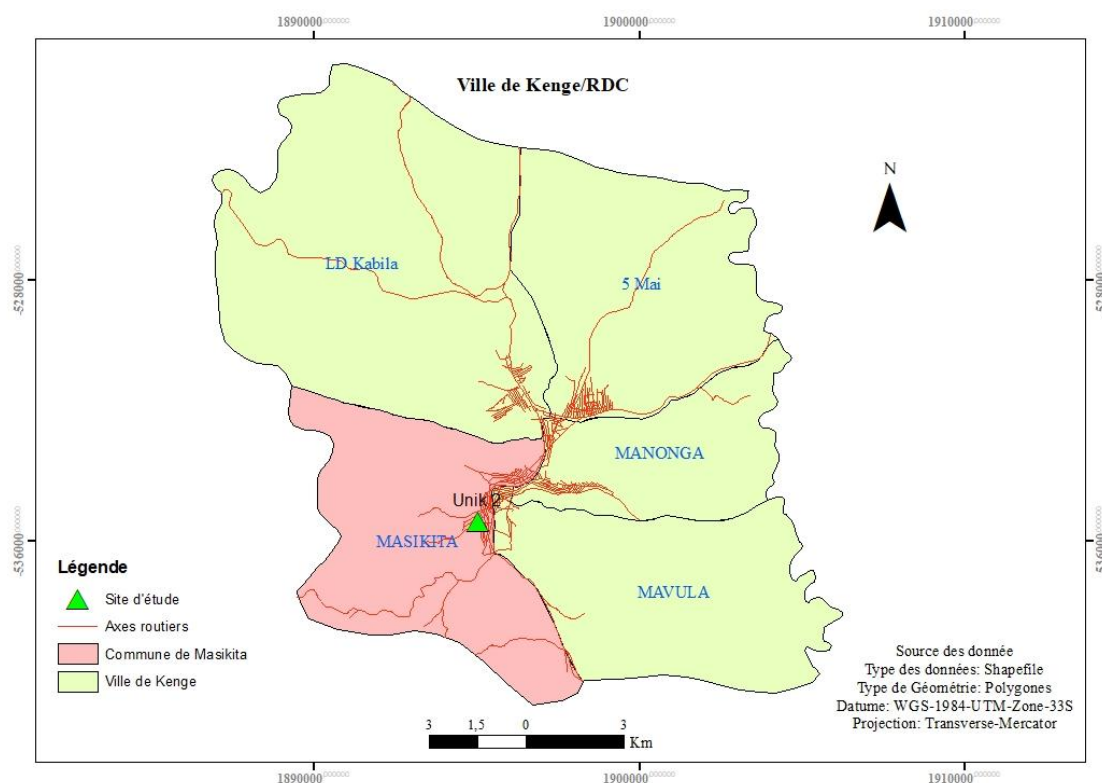


Fig. 1. Localisation du site expérimental

La ville de Kenge connaît une variation de températures et précipitations à cause de son relief, la moyenne annuelle pluviométrique est de 1600 mm. Elle peut atteindre 1700 mm au centre-est de la région et 1500 mm dans la partie méridionale. Les températures moyennes mensuelles varient entre 25 et 28°C. Le maxima moyen s'élève à 25°C en saison pluvieuse et peuvent atteindre 31°C, tandis que le minima moyen s'abaisse respectivement à 17°C et 13°C en saison sèche [14].

Sur le plan hydrographique, le site d'étude et le territoire de Kenge dans son ensemble ont un réseau hydrographique plus ou moins dense avec ses grandes rivières comme Kwango, Wamba et Bakali et leurs affluents [15].

La végétation est constituée de l'écosystème savanicole et forestier, le premier est caractérisé par les arbustes comme *Hymenocardia acida*, *Crossopteryx febrifuga*, *Annona senegalensis* soumis régulièrement aux feux de brousses au moins deux fois l'an, le second par contre est constitué des forêts dégradées, avec dominance des *Alchornea cordifolia*, *Hymenocardia ulmoides*, *Chaetocarpus africanus*, *Gaetnera paniculata*, etc.

2.2 MATÉRIELS

Les semences d'arachide constituent nos matériels biologiques. Elles ont deux sources de provenance, dont l'une est la variété locale (tout venant) procurée chez les paysans aux alentours de Kenge et l'autre est la variété améliorée G17 provenant de l'Institut National des Recherches Agronomiques de Mvuazi (INERA MVUAZI/RDC).

Les matériels aratoires étaient constitués des outils simples et rudimentaires, tels que: houes ordinaires pour le labour, machettes de marque Tramontina ont servi au sarclage de terrain, bêches et râteliers pour remuer le sol, mètre ruban de 50m pour délimiter le terrain, un GPS Garmin 60 CSx pour la prise des coordonnées géographiques.

2.3 MÉTHODES

L'essai a été conduit de septembre en décembre 2024 sur le site de l'Université du Kwango, suivant un dispositif expérimental factoriel 2 x 4 en split plot d'un rectangle de 9 x 21m soit une surface de 189m² (Fig.2) avec quatre traitements

et trois répétitions et des blocs de 4m² séparés entre eux par des espaces de 0,5m et des allées de 1m et bordures de 0,5m de tous les côtés.

Les paramètres végétatifs évalués comprennent le taux de germination, de diamètre au collet, de hauteur des plants et du nombre de feuilles tandis que les paramètres de rendement, incluent le nombre de gousses par plant, le nombre de graines par gousse et le poids moyen des graines comme dans [16].

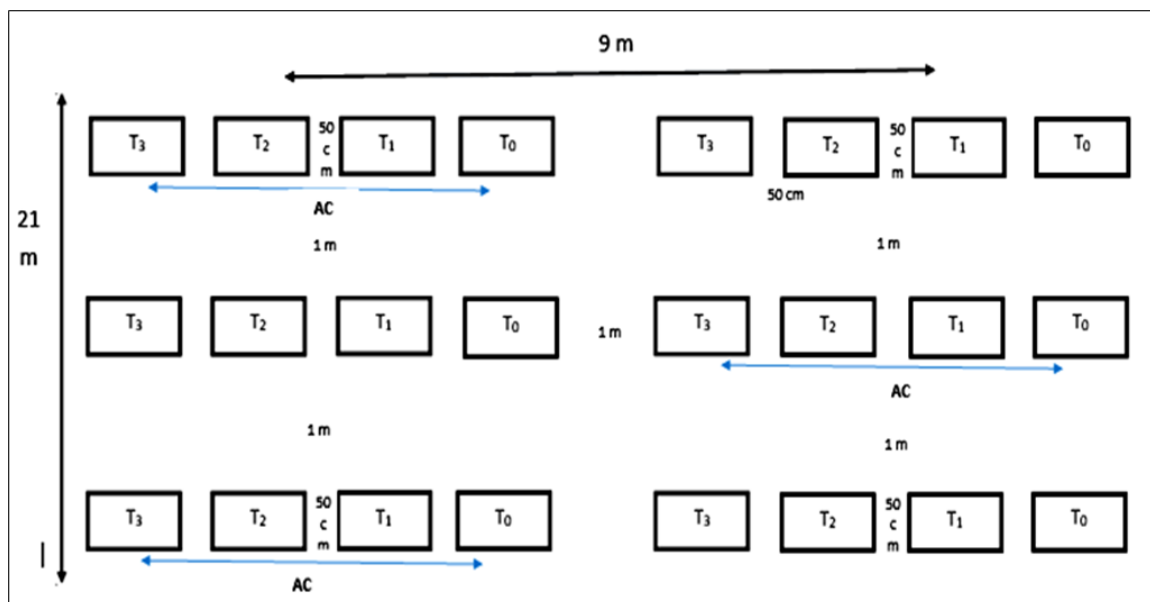


Fig. 2. Dispositif expérimental

Légende:

- T₀ = écartement aléatoire
- T₁ = 20 cm x 20 cm
- T₂ = 40 cm x 20 cm
- T₃ = 30 cm x 30 cm
- A.C= amendement calcaire.

2.4 ANALYSE ET TRAITEMENT DES DONNÉES

Les données collectées sur terrain ont été saisies à l'aide de tableur et d'outil d'analyse de données Microsoft Excel 2016 et GENSTAT 14 a servi pour les analyses statistiques.

3 RÉSULTATS

3.1 PARAMÈTRES VÉGÉTATIFS

Tableau 1. Paramètres végétatifs

Traitement	Amendement	Taux de Levée (%)	Diamètre au collet 30 ^{ème} Jrs (mm)	Diamètre au collet 44 ^{ème} Jrs (mm)	Hauteur de plants 30 ^{ème} Jrs (cm)	Hauteur de plants 44 ^{ème} Jrs (cm)	Nbre des feuilles 30 ^{ème} Jrs	Nbre des feuilles 44 ^{ème} Jrs
T0	Avec amendement	86,7	54,3	61,6	77,3	87,6	184,3	188
	Sans amendement	71,0	39,3	41,3	61	67	75,3	147,3
T1	Avec amendement	91,0	60	63	79,6	86,3	188,3	195,6
	Sans amendement	75,0	33	39	59	66	128,6	125,6
T2	Avec amendement	88,0	51,3	57	70	64	196	189
	Sans amendement	73,0	40	45	58,3	76,6	105,6	210
T3	Avec amendement	92,0	59,6	61,6	70,3	77,6	206	229,3
	Sans amendement	76,0	53	56,3	58,3	71,3	138,3	146,3
MOYENNE GENERALE		81,5	48,8	53,1	65,2	74,5	153	178,8
CV (%)		9,2	2,04	7,5	20,5	15,4	21,2	16,4

Le tableau 1 indique que l'amendement calcaire améliore significativement la levée des plants d'arachide. Les traitements amendés (T1 et T3) enregistrent les meilleurs taux (91 % et 92 %), tandis que ceux non amendés varient entre 71 % et 76 %. La densité influence également la levée, avec de meilleures performances aux densités D2 et D4. L'interaction entre amendement et densité demeure significative. Ces résultats montrent que l'amendement calcaire améliore significativement le diamètre au collet à 30 jours après semis. Les traitements amendés, notamment T1 (60 mm) et T3 (59,6 mm), présentent les meilleures valeurs, traduisant une meilleure vigueur des plants grâce à la correction de l'acidité du sol. Les traitements non amendés affichent des diamètres plus faibles.

L'accroissement en diamètre au collet à 44 jours après semis, avec une nette supériorité des traitements amendés. Les traitements T1 (63 mm) et T3 (61,6 mm) présentent les meilleures valeurs, traduisant une meilleure vigueur des plants grâce à la correction de l'acidité du sol.

Il convient de signaler que l'amendement calcaire a amélioré la hauteur des plants à 30 jours après semis. Les traitements amendés, notamment T1 (79,6 cm) et T0 (77,3 cm), présentent les plus fortes croissances, traduisant une meilleure vigueur liée à la correction de l'acidité du sol.

Au 44^{ème} jours après semis, la hauteur des plants montre une nette supériorité des traitements amendés. Les traitements T0 (87,6 cm) et T1 (86,3 cm) présentent les meilleures croissances, traduisant une meilleure absorption des nutriments grâce à la correction de l'acidité du sol.

Il ressort de ces résultats que l'amendement calcaire a stimulé la production de feuilles à 30 jours après semis. Les traitements amendés, notamment T3 (206) et T2 (196), présentent les meilleures performances, traduisant une croissance végétative accrue grâce à la correction de l'acidité du sol. Les résultats montrent que l'amendement calcaire favorise le développement foliaire à 44 jours après semis. Les traitements T3 (229,3) et T1 (195,6) présentent les nombres de feuilles les plus élevés, traduisant une meilleure vigueur des plants, bien que certaines variations sans amendement suggèrent l'influence d'autres facteurs.

3.2 INCIDENCE

Les tableaux 2 et 3 présentent les résultats sur l'incidence de la rosette d'arachide observée sur le champ expérimental.

Tableau 2. Nombre des pieds atteints par traitement 30^{ème} Jour après semis

Densité	Amendement	Répétition 1			Répétition 2			Répétition 3			Moyenne		
		Total pieds	Pieds malades	Incidence en %	Total pieds	Pieds malades	Incidence en %	Total pieds	Pieds malades	Incidence en %	Total pieds	Pieds malades	Incidence en %
T0	Avec chaux	99	5	5.1	99	5	5.1	98	6	6.1	98.7	5.3	5.4
T1	Avec chaux	100	4	4.0	98	6	6.1	100	2	2.0	99.3	4.0	4.0
	Sans chaux	99	6	6.1	100	8	8.0	98	9	9.2	99.0	7.7	7.7
T2	Avec chaux	50	10	20.0	45	15	33.3	49	14	28.6	48.0	13.0	27.3
	Sans chaux	45	19	42.2	50	15	30.0	43	20	46.5	46.0	18.0	39.6
T3	Avec chaux	40	21	52.5	43	25	58.1	41	20	48.8	41.3	22.0	53.1
	Sans chaux	44	24	54.5	41	20	48.8	44	26	59.1	43.0	23.3	54.1
Moyenne		71.8	12.4	24.3	71.6	12.9	24.8	70.8	13.4	26.4	71.4	12.9	25.2

Tableau 3. ANOVA 1: Nombre des pieds atteints par traitement 30^{ème} Jour après semis

Source de variation	ddl	SCE	CM	F calculé	Table de F	SE	SED	LSD
Répétition	2	18.09	9.04	0.00	3.63	1.23	1.74	3.68
Amendement calcaire	1	176.39	176.39	0.06	4.49	4.43	6.26	13.27
Densité	3	9321.19	3107.06	1.12	3.24	22.76	32.18	68.22
Interaction A X B	3	9602.59	3200.86	1.16	3.24	32.66	46.19	97.93
Erreur	16	44293.26	2768.33					
Total	25	25175.00						
CV%	20.89							

Les résultats de l'ANOVA indiquent qu'aucun effet significatif ($p > 0,05$) n'a été observé pour l'amendement calcaire, la densité de semis, ni pour leur interaction sur le nombre de pieds d'arachide atteints au 30^e jour après semis. Le coefficient de variation (CV = 20,89 %) traduit une variabilité modérée, suggérant une uniformité relative des plants entre les traitements.

Tableau 4. Nombre des pieds atteints par traitement 60^{ème} Jour après semis

Densité	Amendement	Répétition 1			Répétition 2			Répétition 3			Moyenne		
		Total pieds	Pieds malades	Incidence en %	Total pieds	Pieds malades	Incidence en %	Total pieds	Pieds malades	Incidence en %	Total pieds	Pieds malades	Incidence en %
T0	Avec chaux	99	15	15.2	98	14	14.3	98	20	20.4	98.3	16.3	16.6
	Sans chaux	97	23	23.7	96	17	17.7	93	21	22.6	95.3	20.3	21.3
T1	Avec chaux	100	13	13.0	96	12	12.5	93	18	19.4	96.3	14.3	15.0
	Sans chaux	99	15	15.2	100	14	14.0	98	21	21.4	99.0	16.7	16.9
T2	Avec chaux	50	29	58.0	45	31	68.9	49	28	57.1	48.0	29.3	61.3
	Sans chaux	45	39	86.7	50	40	80.0	43	35	81.4	46.0	38.0	82.7
T3	Avec chaux	40	35	87.5	43	37	86.0	41	41	100.0	41.3	37.7	91.2
	Sans chaux	44	44	100.0	41	41	100.0	44	37	84.1	43.0	40.7	94.7
Moyenne		71.8	26.6	49.9	71.1	25.8	49.2	69.9	27.6	50.8	70.9	26.7	50.0

Tableau 5. ANOVA 2: Nombre des pieds attaqués par traitement 60^{ème} Jour après semis

Source de variation	ddl	SCE	CM	F calculé	Table de F	SE	SED	LSD
Répétition	2	10.56	5.28	0.00	3.63	0.94	1.33	2.81
Amendement calcaire	1	371.74	371.74	0.04	4.49	6.43	9.09	19.27
Densité	3	26720.97	8906.99	1.00	3.24	38.53	54.49	115.51
Interaction A X B	3	27461.67	9153.89	1.03	3.24	55.24	78.12	165.60
Erreur	16	142428.23	8901.76					
Total	25	87863.29						
CV%	18.88							

L'analyse de variance montre qu'aucun des traitements étudiés (amendement calcaire, densité de semis et leur interaction) n'a eu d'effet significatif sur le nombre de pieds d'arachide attaqués au 60^e jour après semis ($p > 0,05$). Le coefficient de variation (CV = 18,88 %) indique une variabilité modérée, traduisant une homogénéité relative des plants entre les différents traitements.

INDICE DE SÉVÉRITÉ

L'indice de sévérité constaté sur terrain est présenté dans le Tableau ci-dessous, on les classes selon la gravité des symptômes dont nous avons:

- Classe1: pas des symptômes
- Classe 2: début de la présence des symptômes, soit plus ou moins ¼ des feuilles sont touchées;
- Classe3: La moitié des feuilles de la plante sont touchées;
- Classe 4: 1/3 des feuilles dans une plante sont touchées;
- Classe 5: l'entièreté des feuilles sont touchées.

Tableau 6. Indice de sévérité 30^{ème} jour après semis

Traitement	Amendement	Bloc1	Bloc2	Bloc3
		Classe	Classe	Classe
T ₀	Avec Amendement	2	2	2
	Sans amendement calcaire	2	2	2
T ₁	Avec Amendement calcaire	2	2	2
	Sans amendement calcaire	2	2	2
T ₂	Avec Amendement calcaire	2	2	2
	Sans amendement calcaire	2	3	2
T ₃	Avec Amendement calcaire	3	3	3
	Sans amendement calcaire	3	3	3

Il ressort du Tableau 4 ci-dessus que le T0 et T1 sont les traitements ayant enregistré les attaques les moins sévères. Tous les blocs se trouvant dans ces deux traitements sont dans la classe 2, c'est qui veut dire que seulement le 1/4 des feuilles serait atteint. La deuxième position est occupée par le T2 qui se trouve dans la classe 2 pour les blocs 1, 2, 3 et 4; dans la classe 3 pour le bloc 3. Le T3 est le traitement ayant subi les attaques les plus sévères du champ, tous les blocs le constituant se trouvant dans la classe 3.

Tableau 7. Indice de sévérité 60^{ème} jour après semis

Traitement	Amendement	Bloc1	Bloc2	Bloc3
		Classe	Classe	Classe
T ₀	Avec Amendement	2	2	3
	Sans amendement calcaire	2	3	2
T ₁	Avec Amendement calcaire	2	2	2
	Sans amendement calcaire	2	2	2
T ₂	Avec Amendement calcaire	4	4	4
	Sans amendement calcaire	4	4	4
T ₃	Avec Amendement calcaire	5	5	5
	Sans amendement calcaire	5	5	5

Les résultats présentés dans le Tableau 5 ci-haut montrent que le T1 est le traitement ayant présenté les attaques les moins sévères étant dans la classe 2, le T0 vient en deuxième position se situant dans la classe 2 pour les bloc1, bloc2 et bloc 3 et dans la classe 3 pour les blocs 2, bloc 3 et bloc 4. Le T2 occupe la troisième position tous les blocs étant dans la classe 4. Le T3 se trouve en dernière position comme le traitement ayant subi les attaques les plus sévères du champ en se trouvant dans la classe 5.

4 DISCUSSION

L'analyse de variance a montré que les quatre écartements: Ecartement aléatoire (T0), 20 cm x20cm (T1), 40cmx20cm (3) et 30cmx30cm (4) ne diffèrent pas statistiquement pour les paramètres: diamètre au collet, la hauteur de plant et le nombre des feuilles du premier et deuxième écartement.

Statistiquement, tous ces paramètres n'ont pas montré une différence en ce qui concerne les paramètres végétatifs, ces derniers sont restés inférieurs aux valeurs de F théorique au seuil de 0,05. Ce qui est contradictoire aux résultats trouvés par [16]. Ayant utilisé trois (3) écartements dont 50 cmx1xcm, 40 cmx15 cm et 20 cmx15 cm, il obtient des meilleurs résultats avec l'écartement de 50 cmx15 cm.

Nous pouvons déduire que les températures ont des effets néfastes sur la croissance végétative que la production, contrairement à Raemaekers qui pense que, la température de la saison culturale doit être comprise entre 21° et 40°, une température élevée favorise en effet la formation de l'huile, [17]. Pourtant, les températures inférieures à 15 degrés et supérieures à 45 degrés ralentissent ou bloquent la croissance, l'optimum se situant entre 25 et 35 degrés. Les températures trop basses ou trop élevées, auxquelles on s'expose sous les climats tempérés et en contre-saison chaude ou froide dans les zones tropicales, ont donc pour effet de prolonger le cycle, voire de bloquer définitivement la germination ou le développement [18].

En ce qui concerne les paramètres de production, nous avons trouvé des différences significatives sur les attaques de plantes du premier, deuxième et troisième écartement. Cette affirmation est confirmée par les valeurs de F calculé qui ont été supérieures à F théorique au seuil de 0,05.

Le fait que la source de variation des colonnes soit significative, il y a l'existence d'un gradient de fertilité dans le milieu expérimental comme le souligne [19] que les assolements villageois ou paysans constituent une alternative pour améliorer la fertilité des sols et le rendement des cultures.

Les résultats obtenus sur les attaques de la rosette (incidence et indice de sévérité) ont prouvé que la densité de semis a un impact énorme sur la rosette d'arachide. Comme le souligne [20]. Cela se justifie par le fait que l'écartement 2 (T1=20 cmx20cm) qui représente la plus haute densité de semis est celui qui a enregistré le plus petit nombre d'attaque et le moins sévère aussi.

La température aurait un effet sur la fécondité des pucerons car le nombre des larves pondues dépend du poids l'adulte et ce poids décroît lorsque les températures sont basses en dessous de 28°C, ceci vient confirmer nos résultats dans la mesure où la haute densité de semis réduit la température autour des plantes et même plus loin dans le champ entier.

5 CONCLUSION

Cette étude a consisté à évaluer l'effet de la densité de semis dans la lutte contre la rosette d'arachide dans les conditions agro-écologiques de Kenge. Ce travail avait pour but de déterminer la densité de semis permettant de lutter contre la rosette d'arachide. Pour y parvenir, nous avons utilisé la méthode expérimentale et l'analyse statistique avec un dispositif expérimental factoriel 2 x 4 en split-plot comportant quatre traitements et trois répétitions. Les résultats obtenus après collecte, traitement et analyse de données ont montré qu'il n'y a pas de différence significative entre les traitements sur les paramètres végétatifs. En ce qui concerne les attaques par la Rosette d'arachide, l'écartement 20cmx20cm exposé à la maladie dont la rosette avec une incidence inférieure à celles des autres. L'écartement aléatoire se tient en deuxième position avec une incidence nettement rapprochée de celle du T1 (20cmx20cm).

On observe également, l'impact de la poudre calcaire sur champ avec des attaques négligeables sur les parcelles avec amendement calcaire contrairement aux autres parcelles.

Les résultats obtenus en rapport avec l'incidence et l'indice de la sévérité viennent confirmer nos hypothèses selon lesquelles la densité de semis aurait un effet significatif sur la rosette d'arachide et que les densités de semis beaucoup plus rapprochées permettrait de contrôler le développement et la prolifération d' *Aphis craccivora* responsable de la propagation du virus de la rosette d'arachide dans la mesure où l'humidité élevée serait impropre au développement et à la reproduction de ses insectes.

REFERENCES

- [1] Annerose D.J.M., 1990. Recherche sur les mécanismes physiologiques d'adaptation à la sécheresse: application au cas de l'arachide cultivée au Sénégal. Thèse de Doctorat en sciences naturelles, Université paris, p.281.
- [2] Fao, 2004, Statistique de production alimentaire, Rome, Italie, 120p.
- [3] Mobambo, 2012, Production d'arachide en République démocratique du Congo, www.google.com, le 12.oct.2024.
- [4] Schilling R., Rue J.-F, Breton, 2001. Données agronomiques de base sur la culture arachidière, paru dans la revue Oléagineux, Corps Gras, Lipides, volume 8, pages 230-236.
- [5] B.M. Bangata, K.N. Ngbolua, M. Mawa, M. Minengu et K.N. Mobambo, 2013. Etude comparative de la nodulation et du rendement de quelques variétés d'arachides (*Arachis hypogaea* L., *Fabaceae*) cultivées en conditions éco-climatiques de Kinshasa, République Démocratique du Congo, International Journal of Biological and chemical Sciences 7 (3) 1034-1040.
- [6] Fauquet et Trouvenel, 1985: Virose de l'arachide en Afrique de l'Ouest. P 5.
- [7] Dollet, M., Fauquet, C. et Thouvenel, J.-C., 1976, Sorghum arundinaceum, a natural host of peanut clump virus in Upper-Volta. Plant Disease Reporter, 60, 1076-1080.
- [8] Gillier P. et Silvestre P., 1969; l'arachide, éd.P.maisonneuve&La rose 11 rue victore cousin, 75005 paris.
- [9] Paguio, O. R., et Kuhn, C. W., 1976, Aphid transmission of peanut mottle virus. Phytopathology, 66 (6), 1102-1105.
- [10] J.Dubern, 1977, La rosette chlorotique de l'arachide: contribution à l'étude de la transmission par *Aphis craccivora* koch, office de la recherche scientifique et technique outre-mer. Centre d'Adiopodoumé –côte d'ivoire. B.P V 51 Abidjan.
- [11] Minda S., Bunda P., Mbala S. et Ngoy N., 2020, Maladies d'arachide, <http://fr.wikipedia.org>
- [12] Ndidji R.G., Kambou F.W., Lankoandé M. et Tapsoba J. 1999, Groundnut Rosette: A Virus Disease Affecting Groundnut Production in Sub-Saharan Africa. Plant Disease, 83 (8), 700-709.
- [13] Patel, R., Mehta, V., & Desai, S. (2021). Plant density and nutrient management for maximizing peanut yield. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 23 (6), 789-798.
- [14] Rahman, F., Khan, T., & Akhtar, N. (2024). Effect of fertilizer amendments and seeding rate on peanut yield components. *Crop Production Science*, 18 (1), 45-56.
- [15] Bitegue E.P, 1999; Mémoire pour obtention du diplôme d'ingénieur agronome; Effet de la densité sur la qualité des semences d'arachide. École Nationale des cadres ruraux de Bambey, Sénégal.
- [16] Raemaekers, R.H., 2001. Agriculture en Afrique tropical, DGCI, Bruxelles: Direction générale de la coopération internationale (DGCI), Ministère des Affaires étrangères, du commerce extérieur et de la Coopération internationale, 1634 pages, ISBN 978-90-806822-2-1.
- [17] Schilling R., Rue J.-F, Breton, 2001. Données agronomiques de base sur la culture arachidière. Oléagineux, Corps Gras, Lipides, vol. 8, n°3, mai-juin, p. 230-236. DOI: 10.1051./ocl.2001.0230.
- [18] Hamasselbé A. 2008. La revalorisation de la filière arachide dans la zone soudanosahélienne du Nord Cameroun. *Tropicultura*, 26 (4): 200-205.

- [19] J.Dubern, 1977, La rosette chlorotique de l'arachide: contribution à l'étude de la transmission par *Aphis craccivora* Koch, office de la recherche scientifique et technique outre-mer. Centre d'Adiopodoumé –côte d'ivoire. B.P V 51 Abidjan.
- [20] Mitianga, C, Z 2022. Mémoire « Essaie de la germination de l'espèce *Lippia multiflora* dans les conditions écologiques de Kenge-Ville ». UNIK (RDC) PP.15-16.

Characterization of Moringa (*Moringa oleifera* L.) farms in the urban community of Agadez

Mahamadou Moussa Dit Kalamou¹, Assoumane Boubacar Gouzae², Soumana Boubacar², and Maharazu Yusuf³

¹Department of Agriculture in Arid Zones, BP 199 Agadez, University of Agadez, Niger

²Department of Rural Economics and Sociology, Faculty of Agronomy BP 10960 Niamey, Abdou Moumouni University, Niger

³Department of geography, Kano, Bayero University of Kano, Nigeria

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

ABSTRACT: This article deals with the characterization of moringa (*Moringa oleifera* Lam., 1785) farms in the urban commune of Agadez. It analyzes the socio-professional activities that generate income for producers and the various production factors involved in moringa production. Moringa production enables producers to generate income throughout the year, with periods of peak profitability during Ramadan and socio-religious events. The aim of the study was to characterize moringa farms in the commune of Agadez. To this end, the survey covered 115 producers, i.e. 25% of the 459 moringa producers counted at six moringa production sites. The sample comprised 83.5% men and 16.5% women. Analysis shows that these producers farm an average of 3.29 ha, with decreases of up to 1.15 ha on average depending on the crop year. 60.9% of farmers surveyed inherited their land, while 13.9% purchased it. These modes of acquisition are followed by loans, gifts and rentals. Farmers engage in several socio-professional activities, the main one being market gardening, practised by 95.7% of those surveyed, with livestock farming coming in second place with 60.9%. Although it is a cash crop, moringa production generates costs for the purchase of agricultural inputs. The statistical correlation test reveals that the costs of fertilizers (-0.081), pesticides (-0.081), working materials (depreciation (-0.047)), permanent (-0.048) and daily (-0.086) employees and family labor (-0.089) were negatively correlated with yield.

KEYWORDS: characterization, farm, Moringa, Agadez.

1 INTRODUCTION

In the Agadez region, Moringa is grown in the departments of Iferouâne, Bilma Ingall, Djado, Tchirozerine, and Aderbissanat, where it is produced in market gardens. In this region, Moringa production occupies an area of 579 ha, or 5.9% of the national area, with a yield of 28.31% tons per hectare. In 2020-2021, production in this region will be 16391 tonnes, or 5.8% of national production [1]. The commune of Agadez is located on the south-eastern bangs of the Sahara desert, at the southern end of the Aïr massif. It has long been an essential stopover on the eastern trans-Saharan trail, linking the Maghreb to the Sahelian region stretching between the mouth of the Niger River and Lake Chad. [2] Agriculture is an important activity practiced by some of the men and women of the urban commune of Agadez on the edge of the Telwa kori. It is irrigated and spread throughout the year. The market garden perimeters are located on either side of the Telwa kori. The Sahelo-Saharan climate is characterized by a short rainy season lasting a maximum of two (2) months (July to August), with maximum rainfall in August. The soils encountered are crude mineral soils, notably lithosols, made up of all the coarse and fine debris that accumulates at the foot of slopes, and regosols, which are at the origin of regs and fluvial input soils [3]. Soils are silty on the banks of the Kori-Telwa and its tributaries, sandy in their beds and clayey in the southern and western parts of the town.

2 MATERIALS AND METHODS

The urban district of Agadez is located in the Tchirozerine department, between the mouth of the Irhazer plain and the Air massif. Covering an area of 600 km, the urban commune of Agadez is the regional capital under law no. 2003-35 of August 27, 2003. It is bounded to the east, west and north by the urban commune of Tchirozerine and to the south by the rural commune of Aderbissanat, and lies between latitude 16°56'44" north and longitude 7°57'42" east [2].

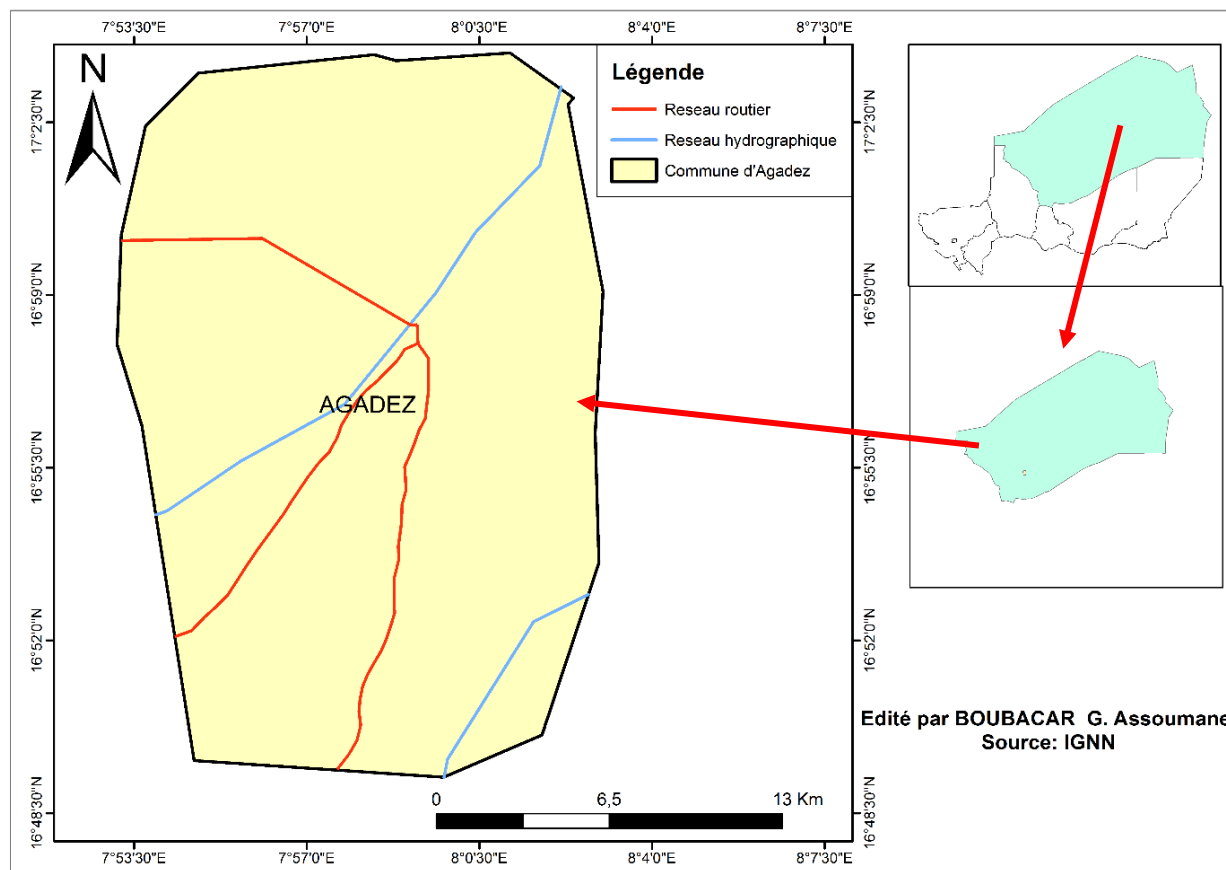


Fig. 1. Location of Agadez commune

2.1 MATERIALS

The study used materials to collect information. Collection tools appropriate to the field were used. A questionnaire was sent to farmers to collect primary data; a means of transport (a car) was used to visit irrigated moringa-growing sites in the commune of Agadez; a motorcycle was used to obtain additional data; and a camera was used to take photographs. Data processing and analysis were then carried out using software such as SPSS and R for data processing, EXCEL for drawing up figures and tables, and WORD for word processing.

2.2 METHODOLOGY

In order to achieve the general objective of the study, which is to better characterize moringa farms in the commune of Agadez, an exploratory survey was carried out to prepare and test the questionnaire, followed by a survey of producers at production sites. This investigation enabled us to gather useful information for the study through individual interviews with farmers. The data collected covered the socio-economic and demographic characteristics of the farmers (gender, age, marital status, level of education, etc.), their farms (surface area, production, yield, etc.) and the expenses incurred by the farm. In addition to these individual interviews, focus groups and observations were carried out with the aim of gathering more information and seeking out other information that was missing or deemed unimportant.

2.2.1 SAMPLING

The sampling method applied at each site in this study was carried out in two stages. Firstly, contact was made with the technical services and farmer leaders. With the help of these two experienced agricultural players, who know the area well, we were able to determine the number of Moringa farmers at 459 in 2023 at six sites in the commune of Agadez. Sampling was of the simple random type, with respondents selected from a list by assigning them a number, with each grower having the same probability of being chosen. The objective was to survey at least 25% or 1/4 of the target producers. In this way, data were collected from 115 Moringa growers.

Table 1. Sampling of survey population

Sites	Number of farmers			Sampling		
	Males	Females	Total	Males	Females	Total
Azamalan	72	12	84	18	3	21
Alikinkin	41	3	44	10	1	11
Aladab	50	34	84	13	8	21
Toudou	56	4	60	14	1	15
Toudou N'Bila	127	20	147	32	5	37
Tchiguefene	40	0	40	10	0	10
Number	386	73	459	97	18	115

3 RESULTS

3.1 SOCIO-ECONOMIC AND DEMOGRAPHIC CHARACTERISTICS OF SURVEYED FARMS

Socio-economic and demographic characteristics were obtained from questions on qualitative and quantitative variables, namely gender, age, marital status, mode of acquisition, soil fertility level, year of experience of farmers, household size and economic activity. Table 2 presents the characteristics of the qualitative and quantitative variables obtained by the study. Analysis of the results (Table 2) shows that, out of 115 farmers surveyed, men (83.5%) predominated over women (16.5%) in the sample. This is due to the fact that women are more involved in moringa processing and marketing than in production. Another reason is that, on the sites visited, there are fewer female farm managers. The table above shows that 65.2% of farm managers surveyed were monogamous married people, with the same proportion (15.7%) polygamous married and single, and 1.7% divorced and widowed. Traditionally, land is acquired by the following means: axe, inheritance, loan, lease, pledge, purchase and gift [4]. The percentages of land acquisition methods are given in Table 2. The table shows that 60.9% of farmers surveyed had inherited their land, while 13.9% had purchased land or taken out a loan, 8.7% had donated land, and 2.6% had rented land. The table shows that more than half (60.9%) of the farmers surveyed have fertile soil, while 1.7% have soil of low fertility. According to these farmers, the level of soil fertility has a significant effect on production, because the higher the level of fertility, the higher the yield. This has a positive effect on the economic profitability of Moringa cultivation. The table shows that the average age of growers is 40 years, with a standard deviation of 12 years, with the youngest respondent aged 18 and the oldest 81. As for the year of experience in the activity, the average is 18 years, with a standard deviation of 11, and the minimum and maximum respectively are 2 years and 55 years in moringa cultivation. The average household size is around 7 people, with a standard deviation of 3. The least populated household has just one (1) person, while the most populated has 16 members. According to the people concerned, the number of people in the household and the number of years of experience count towards profitability.

Analysis of the area farmed (table 2) shows that 1.01 ha is the average area farmed by the market gardeners surveyed in a given year, with a spread of around 0.76 ha. The minimum area cultivated was 0.16 ha, while the maximum was 4 ha.

Table 2. Descriptive statistics for qualitative and quantitative variables

Qualitative variables	Modalities	Number	Frequency	
Gender	Male	96	83,5 %	
	Female	19	16,5 %	
Marital statuts	Monogamoust groom	75	65,2 %	
	Married polygamist	18	15,7 %	
	divorced	2	1,7 %	
	Widow/ widowed	2	1,7 %	
	single	18	15,7 %	
Mode of acquisition	purchase	16	13,9 %	
	inheritance	70	60,9 %	
	Loans	16	13,9 %	
	Rental	3	2,6 %	
	Donation	10	8,7 %	
Fertility level	Low	2	1,7 %	
	Low fertility	29	25,2 %	
	Fertile	70	60,9 %	
	Fertile and very fertile	1	0,9 %	
	Very fertile	13	11,3 %	
Quantitative variables	Mean	Standard Deviation	Minimum	Maximum
Age	40	12	18	81
Year of experience	18	11	2	55
Household size	7	3	1	16
Area cultivated in rainy season	1,15	0,77	0,25	4
Area cultivated in dry-cold season	1,11	0,74	0,24	4
Area cultivated in dry-hot season	0,78	0,79	0	4
Area cultivated per year	1,01	0,76	0,16	4

Figure 2 below shows that market gardening is the main professional activity with 95.7%. This 95.7% rate is justified by the fact that growers engage in market gardening, which seems to be the activity requiring the fewest constraints and which brings them a significant income.

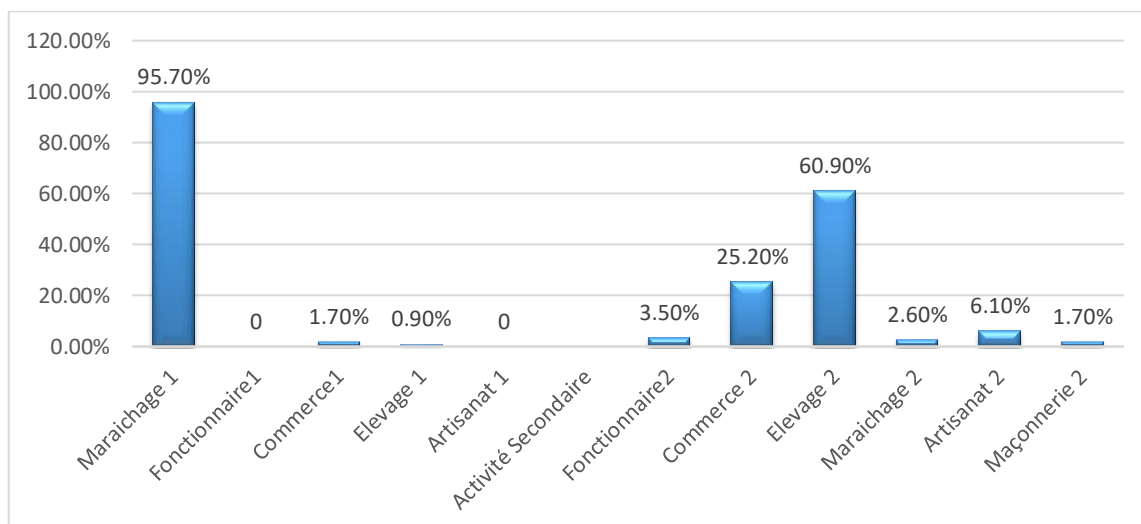


Fig. 2. Socio-professional activity 1: primary activity 2: secondary activity

An analysis of secondary activity shows in the figure below that the secondary occupation of this population is livestock rearing (60.9%) and petty trade (25.2%). Livestock rearing makes a major contribution to Moringa cultivation, providing the manure that considerably increases yields.

3.2 CROPPING SYSTEM

According to the respondents, the cropping system is the set of processes used to exploit the land in order to produce one or more crops on the same plot. Figure 3 shows the results for farmers practicing the various cropping system procedures.

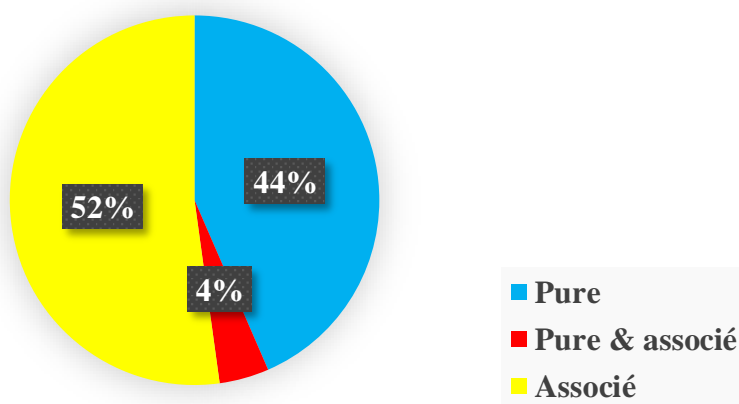


Fig. 3. Cropping system

The figure shows that 52% of farmers use the combined cropping system, 44% pure and 4% both. According to the respondents, the main combinations are:

- Rainy season: maize, sorghum, okra, chillies, groundnuts, tomatoes, eggplants, moringa.
- In the dry-cold season: Moringa, tomato, okra, onion, cabbage, garlic, cassava, maize, peanut, sweet potato, soybean, lettuce, eggplant and carrot.
- In the dry-hot season: Moringa, carrot, onion, tomato and okra.

Moringa can also be combined with any other crop, as it can easily be used as a hedge to protect the plot. Moreover, each farmer is free to choose his own crop.

3.3 CHARACTERIZATION OF PRODUCTION FACTORS

In production economics, factors of production are the various entities, physical persons or economic objects, whose services are used in production operations. Factors of production are components of the firm [5]. Classically, there are three factors of production on a farm: land, farm capital and labor. According to Bornier (2003) [6], operating capital can be defined as “The first, called material, capital is a collection of objects enabling the productivity of labor and land to be improved. A tractor, a plow, for example, are capital goods, and it’s easy to see how such tools can increase productivity. This value or these funds available to the entity contribute to production insofar as they enable the company to remunerate the factors of production, to make them subsist, before selling the product of their actions”. Having capital means being able to make advances, to incur expenses that will only later lead to a finished product and sales [7]. In the context of this research, straight-line depreciation is obtained by dividing the acquisition price of material goods by the useful life communicated by producers. Finally, the labor factor is divided into permanent workers, day laborers and family labor (MOF). Table 4 shows the relationship between production factors and yield.

Table 3. Relationship between production factors and yield

Expenses	Independents variables	Dependents variables (Yield)					
		Moyenne	Standard deviation	Min	Max	Coef.	P-value
Variables Expenses	Seeds (FCFA)	22308	27238	3333	111667	0,223**	0,01
	Fertilizers (FCFA)	37037	32127	2833	122667	-0,081	0,38
	Pesticides (FCFA)	23859	29930	4167	46267	-0,081	0,38
	Energy (FCFA)	57285	47268	3367	160000	0,159**	0,04
	Manure (FCFA)	4955	11736	0	50400	0,008*	0,93
	Daily wages (FCFA)	31154	41473	0	148000	-0,086	0,36
	MOF (FCFA)	80094	60565	10500	232500	-0,089	0,34
Fixed Expenses	Permanent employees (FCFA)	116609	167556	0	546667	-0,048	0,64
	Depreciation (FCFA)	104672	78388	5208	304250	-0,047	0,66
	Surface area (ha)	0,499	0,239	0,25	3	0,011**	0,02

*: case of collinearity, Coef: correlation coefficient, **: significance, MOF: family workforce

4 DISCUSSION

Socio-economic and demographic characteristics of the farmers involved in the study: The study revealed that out of 115 farmers surveyed, men (83.5%) predominated over women (16.5%) in the sample. These results are lower than those obtained by IDI (2021) [8] in Maradi, which is 95% male. The same is true of CHERIF (2010) [9] in the Niamey urban community and Chipkaou (2020) [10] in Tillabéry, which had nearly 91% and 89% of men respectively. As many men as women practice moringa cultivation. Analysis shows that 65.2% of the farm managers surveyed were monogamous married people, with the same rate (15.7%) of polygamous married and single people, and 1.7% divorced and widowed. These results are similar to those of Souéba (2018) [11] in the urban community of Niamey and adjacent areas, who found that “more than 90% of married growers cultivate Moringa”. These data can be explained by the fact that married people are dominant in the practice of this crop because the bulk of household expenses rest on them. The study shows that the average age of growers is 40, with a standard deviation of 12 years, with the youngest respondent aged 18 and the oldest 81.

As for the year of experience in the activity, the average is 18 years, with a standard deviation of 11, and the minimum and maximum respectively are 2 years and 55 years in moringa cultivation. The average household size is around 7 people, with a standard deviation of 3. The least populated household has just one (1) person, while the most populated has 16 members. According to the people concerned, the number of households and years of experience count in the practice of this crop in order to boost the production of moringa leaves in the households visited. The study reported that market gardening was the main socio-professional activity, accounting for 95.7% (figure 2). This 95.7% rate is justified by the fact that growers engage in market gardening, which seems to be the activity requiring the fewest constraints, and brings them a significant income. These results are in line with those found in PDC-Agadez (2018) [2]. Furthermore, analysis of secondary activity shows that the secondary occupation of this population boils down to livestock farming (60.9%) and petty trade (25.2%). These results are in line with those found in PDC-Agadez (2018) [2]. Livestock farming makes a major contribution to Moringa cultivation, providing the manure that considerably increases yields.

Characterization of farms in surveyed households in the commune of Agadez:

This research shows that, for moringa growers, land is the main physical capital. 60.9% of farmers surveyed inherited their land, while 13.9% bought it as a loan, 8.7% farmed their plots as a gift, and 2.6% rented. These results are better than those found by IDI. O. in 2021 [7] in the Maradi region, where 47% of respondents inherited their land, and inferior to those of Boubacar in 2021 in Bengou (Gaya) [12], where 76.21% of farmers worked inherited land. According to these farmers, in most cases, the respondents with the largest area of land inherited it. In order to produce, a soil must have a certain number of characteristics (physical, chemical or biological) that reflect its production capacity. These different aspects must be taken into account in a production system to ensure sustainable productivity [13]. In the fields of the people surveyed in the commune of Agadez, there is diversity in the level of fertility of their soils. Table 2 shows that more than half (60.9%) of the farmers surveyed had fertile soils, while 1.7% had soils of low fertility. According to these farmers, the level of soil fertility has a significant effect on moringa leaf production, because the higher the level of fertility, the higher the yield. Research (figure 3) shows that 52% of farmers use the associated cropping system, 44% pure and 4% both. There are associations with all crops, as Moringa can easily be used as a living hedge to protect the plot. Analysis of Table 4 reveals that variables such as seed costs, energy consumption costs for irrigation and quality and quantity of cultivated area significantly improve yield, with correlation coefficients (0.223**), (0.159**), (0.011**) and their P-value below (0.05) respectively. While there was a correlation between manure costs and yield, this was not significant, i.e. manure costs had little influence on moringa leaf production. On the other hand, the costs of fertilizers (-0.081), pesticides (-0.081), working materials (depreciation (-0.047), permanent (-0.048) and daily employees (-0.086), family labor (-0.089) were negatively correlated with yield. This is justified by the fact that the increase in the costs of these variables corresponds to the decrease in production yield. This study shows that it was possible to increase the yield of moringa leaf production by farmers by acting on the variables that the effect of location was significant.

5 CONCLUSION

In view of the above, it is important to emphasize that the majority of growers are men, although there are also female growers, who account for 16% of the surveys. The average size of the households surveyed is 7 individuals; producers have an average age of 40 and 18 years' experience in market gardening. With regard to production factors, land is acquired by inheritance (70%), although other modes of acquisition exist. The average areas farmed in the rainy, dry, cold and hot seasons are 1.15 ha, 1.11 ha and 0.78 ha respectively. Growers sow an average of 1.01 ha on an average total area of 3.25 ha. Soils appear to be predominantly sandy-clay, and are generally fertile. As for the cropping system, the study revealed that 52% of farmers practiced the associated cropping system, 44% pure and 4% both. Finally, the results of the present study show the extent to which the cultivation of this forest species is an undeniable source of food and income for producers. The statistical correlation test revealed that the costs of fertilizers (-0.081), pesticides (-0.081), working materials (depreciation (-0.047)), permanent (-0.048) and daily (-0.086) employees and family labor (-0.089) were negatively correlated with yield. On the other hand, seed costs, energy consumption costs for irrigation and quality and quantity of cultivated area significantly improved yield, with correlation coefficients of (0.223**), (0.159**), (0.011**) and P-values of less than (0.05) respectively. According to this study, it was possible to increase the yield of moringa leaf production by farmers by acting on the variables that the effect of location was significant.

REFERENCES

- [1] Ministry of Agriculture and Livestock (2020): *Stratégies de la petite irrigation du Niger*. Niamey, éditions Ministère de l'Agriculture. 55p.
- [2] PDC., (2018): *Communal Development Plan (2018-2022) modified version*. 85 P.
- [3] CHAIBOU M., Faye B., (2006): *Functioning of camel farms in the peri-urban area of Agadez, Niger: typological survey*. 11 P.
- [4] Mathieu B.Y. and Mahamane L. (1998): *Comparative analysis of landscape dynamics between a mid-valley terroir (case of Dollé/Birni N'Konni)*. Master's thesis, Geography Department, Abdou Moumouni University, Niamey. 37 pages.
- [5] PARAÏSO, A., SOSSOU A., YÈGBÉMEY, R. & BIAOU, G. (2012): *Economic and financial profitability of cotton production in Ouaké, northwest Benin*. *Annals of Agronomic Sciences*; 16 (1), pp. 91-105, ISSN 1659-5009.
- [6] BORNIER (2003): *Economics courses*. Professional website of Professor Jean Magnan de Bornier. URL: <https://docplayer.fr/15360087-3-les-decisions-de-production.html> consulted on September 8, 2023.
- [7] Paraïso et al., (2010). PARAÏSO, A., SOSSOU, A., YÈGBÉMEY, R. & BIAOU, G. (2010): *Analysis of the profitability of fonio (Digitaria exilis) production in the commune of Boukombe, Benin*. IVème Journée Scientifique de l'Université de Lomé. Togo, October 25-28, 2010.

- [8] Idi, O. A., (2021): Characteristics of Moringa farms in the commune of Jiratawa, Maradi region, Niger, for the general bachelor's degree in agricultural sciences. 33 p.
- [9] CHERIF M. (2010): A contribution to the evaluation of the potential of Moringa Oleifera for production, marketing, processing and conservation in the urban community of Niamey. In view of obtaining the diploma of cycle of engineers of agricultural techniques (ITA) at the University Abdou Moumouni of Niamey-faculty of agronomy. 1-42 Pages.
- [10] Chipkaou.A. A. (2020): The contribution of Moringa production to household resilience to climate change. (Final dissertation for the Rural Development Technician Diploma) EAU ET FORET, ESIMAD, 34p.
- [11] Nana Souéba O.A, (2018): Cultivation and commercialization of Moringa in the Urban Community of Niamey and its adjacent areas (Licence ès-Sciences Agronomiques graduation thesis). University Abdou Moumouni of Niamey, Faculty of Agronomy, 44p.
- [12] Boubacar G.A (2021): Soil fertility management methods on market garden sites in the rural commune of Bengou (Gaya-Niger), Diploma in Agronomic Science from the University of Abdou Moumouni, Niamey. 38 p.
- [13] Deloye M. (1958): Conserving soil fertility. Doctoral thesis in universal and environmental science, Université Paris-Est CRETEIL, Val et Mame, Paris-France. 166 p.

Évaluation des caractéristiques chimiques des sols et quantification du carbone organique pour une gestion écologique et durable des écosystèmes dans les Provinces du Guéra, Batha et Hadjer Lamis au Tchad

[Assessment of the chemical characteristics of soils and quantification of organic carbon for the ecological and sustainable management of ecosystems in the Guéra, Batha and Hadjer Lamis provinces in Chad]

Gaiwa Daakreo¹, Mbaï-Asbe Bétoubam², and Azoutane Julien³

¹Centre National de Recherche pour le Développement (CNRD). BP 1228 N'Djaména, Chad

²Université de N'Djaména, Faculté des Sciences Exactes et Appliquées, Laboratoire de Botanique Systématique et d'Écologie Végétale, B.P. 1027, N'Djaména, Chad

³Département des sciences agronomiques, Faculté des sciences agropastorales et agro-industrielles (FASAPA), Université des Sciences et Technologies d'Ati (USTA), B.P. 20, Chad

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

ABSTRACT: The provinces of Guéra, Batha, and Hadjer Lamis are under severe environmental pressure due to overgrazing, deforestation for fuelwood, and soil degradation, compromising essential ecosystem services. Despite the populations' dependence on these services, no up-to-date environmental monitoring system exists, limiting understanding of the dynamics of degradation. In this context, the study aims to assess soil chemical characteristics and quantify soil organic carbon (SOC) in three provinces of Chad (Guéra, Batha, and Hadjer Lamis) in order to evaluate their fertility and carbon sequestration potential. A hierarchical sampling system, based on 10 km² sentinel sites stratified into 16 clusters, was used to capture the spatial variability of the soils. The analyses show high grain size heterogeneity, with very clayey soils in Amdjamena and Bokoro (78%) and predominantly sandy soils in Temki (73%). pH values ranging from 4.94 to 10.74 indicate conditions ranging from slightly acidic to alkaline. The soils have high aluminum content, contrasting with very low levels of boron and zinc, indicating potential micronutrient deficiencies. Phosphorus, magnesium, and potassium levels are generally low, suggesting limited chemical fertility. Average nitrogen (0.04%) and COS (5.23 g kg⁻¹) concentrations confirm a marked lack of organic matter. SOC varies greatly between sites, from 0.68 to 30 g/kg, with high values in Melfi and very low values in Amdjamena and Bokoro. These results highlight limited fertility and contrasting carbon sequestration potential, requiring appropriate management approaches to restore soil health and enhance agroecological resilience.

KEYWORDS: soil chemical characteristics, soil organic carbon (SOC), sustainable ecosystem management, Chad.

RESUME: Les provinces du Guéra, Batha et Hadjer Lamis subissent une forte pression environnementale liée au surpâturage, à la déforestation pour le bois de chauffe et à la dégradation des sols, compromettant les services écosystémiques essentiels. Malgré la dépendance des populations à ces services, aucun système de suivi environnemental actualisé n'existe, limitant la compréhension des dynamiques de dégradation. Dans ce contexte, l'étude menée à visée à évaluer les caractéristiques chimiques des sols et à quantifier le carbone organique des sols (COS) dans trois provinces du Tchad (Guéra, Batha et Hadjer Lamis), afin d'apprécier leur potentiel de fertilité et de séquestration du carbone. Un dispositif d'échantillonnage hiérarchique, basé sur des sites sentinelles de 10 km² stratifiés en 16 clusters, a été utilisé pour capturer la variabilité spatiale des sols. Les

analyses montrent une forte hétérogénéité granulométrique, avec des sols très argileux à Amdjamena et Bokoro (78 %) et majoritairement sableux à Temki (73 %). Les valeurs de pH, comprises entre 4,94 et 10,74, révèlent des conditions allant de légèrement acides à alcalines. Les sols présentent des teneurs élevées en aluminium, contrastant avec des niveaux très faibles en bore et zinc, indiquant des risques de déficience en micronutriments. Les teneurs en phosphore, magnésium et potassium sont généralement faibles, suggérant une fertilité chimique limitée. Les concentrations moyennes en azote (0,04 %) et en COS (5,23 g kg⁻¹) confirment une pauvreté marquée en matière organique. Le COS varie fortement entre les sites, de 0,68 à 30 g/kg, avec des valeurs élevées à Melfi et très faibles à Amdjamena et Bokoro. Ces résultats mettent en évidence une fertilité limitée et un potentiel de séquestration du carbone contrasté, nécessitant des approches de gestion adaptées pour restaurer la santé des sols et renforcer la résilience agroécologique.

MOTS-CLEFS: caractéristiques chimiques du sol, carbone organique du sol (COS), gestion durable des écosystèmes, Tchad.

1 INTRODUCTION

La gestion durable des écosystèmes sahéliens constitue un enjeu majeur dans un contexte de dégradation continue des terres, de variabilité climatique et d'augmentation de la pression anthropique. Dans ces milieux fragiles, les sols jouent un rôle central dans le maintien de la productivité agricole, la régulation des cycles biogéochimiques et la séquestration du carbone, un levier important pour l'atténuation du changement climatique (Lal, 2004; IPCC, 2006). Cependant, les sols des zones semi-arides telles que celles du Tchad sont souvent caractérisés par une faible fertilité, une forte variabilité spatiale de leurs propriétés physico-chimiques et une vulnérabilité accrue aux processus d'érosion et de dégradation (FAO, 2015; Mando *et al.*, 2005).

Le carbone organique du sol (COS) constitue l'un des indicateurs clés de la qualité et de la santé des sols. Il conditionne la stabilité structurale, la rétention hydrique, la disponibilité des éléments nutritifs et la résilience des écosystèmes face aux perturbations climatiques (Feller *et al.*, 1996; Batjes, 2014). Dans les zones sahéliennes, les niveaux de COS sont généralement faibles en raison des températures élevées, de la faible productivité végétale et de la pression croissante sur les ressources naturelles, mais ils présentent un potentiel important d'amélioration via des pratiques de gestion durable (Bayala *et al.*, 2022; Zougmore *et al.*, 2004). Ainsi, la caractérisation du COS, associée à l'étude des paramètres chimiques du sol, constitue une étape essentielle pour orienter les stratégies de gestion écologique et les politiques de restauration des terres dégradées. Les provinces du Guéra, du Batha et du Hadjer Lamis, situées dans le centre du Tchad, représentent des zones agroécologiques contrastées marquées par une mosaïque de conditions climatiques, pédologiques et d'occupation du sol. Ces régions, majoritairement sahéliennes mais incluant aussi une zone de transition pré-soudanienne, sont soumises à une forte variabilité pluviométrique et à des systèmes de production agricole et pastorale qui influencent directement la dynamique des sols (Houérou, 2001; Bernoux *et al.*, 2002). Malgré leur importance écologique et socioéconomique, les connaissances sur la qualité des sols et le potentiel de séquestration du carbone dans ces provinces demeurent limitées.

Dans ce contexte, le présent travail vise à évaluer les caractéristiques chimiques des sols et à quantifier le carbone organique dans plusieurs sites représentatifs des provinces du Guéra, Batha et Hadjer Lamis. Plus spécifiquement, il s'agit: (i) de déterminer les principaux paramètres chimiques du sol, (ii) d'estimer les stocks de carbone organique afin d'apprécier la capacité de séquestration des sols, et (iii) d'analyser les relations entre les propriétés chimiques et le COS pour mieux comprendre les interactions régissant la fertilité et la stabilité des sols. Cette étude va apporter des connaissances scientifiques capables de soutenir une gestion écologique et durable des écosystèmes dans ces régions stratégiques du Tchad. Elle contribue ainsi à combler un déficit d'information sur la dynamique du carbone et la qualité des sols au niveau régional, tout en fournissant des éléments essentiels pour orienter les initiatives de restauration des terres, de lutte contre la désertification et d'adaptation au changement climatique.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 SITE D'ÉTUDE

L'étude a été conduite dans trois Provinces du Tchad: le Guéra (Départements d'Abtouyou, Mangalmé, Guéra et Barh Signaka), le Batha (Département du Fitri) et le Hadjer Lamis (Département de Dababa) (Figure 1). La zone d'étude se situe majoritairement en zone sahélienne, caractérisée par un climat semi-aride, une végétation steppique et une forte variabilité pluviométrique. Toutefois, la partie sud, notamment le Département de Barh Signaka dans la Province du Guéra, appartient à

la zone de transition pré-soudanienne, où les conditions climatiques et écologiques deviennent progressivement plus humides et diversifiées.

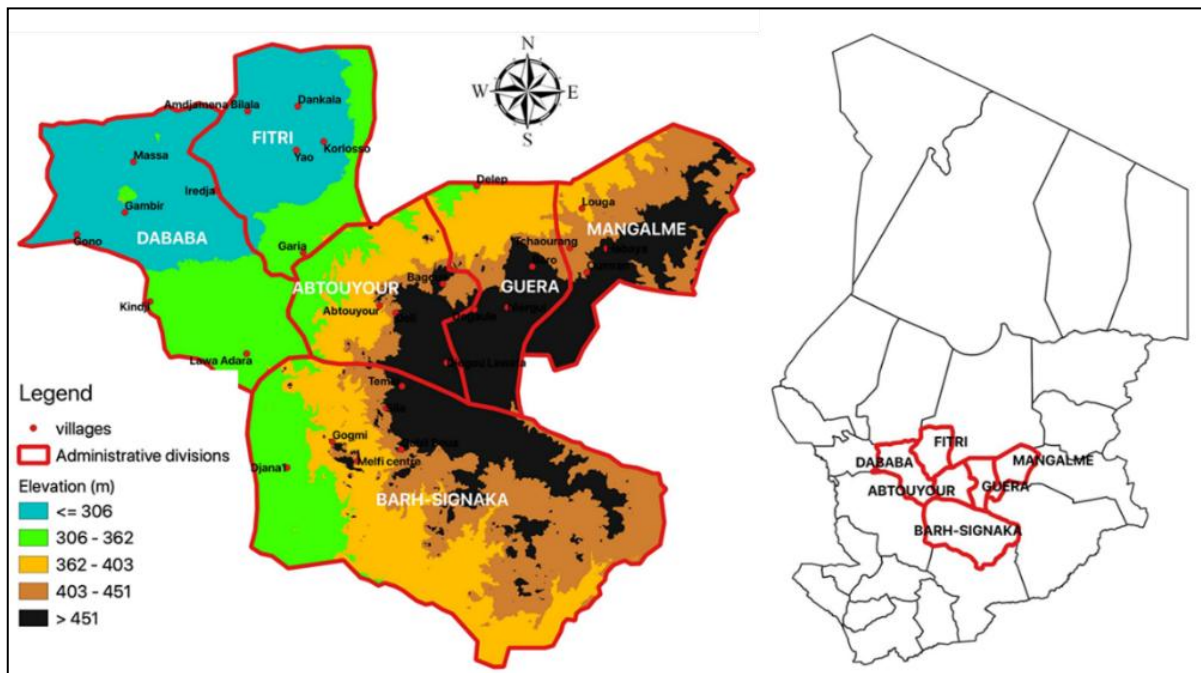


Fig. 1. Carte de la zone d'étude

2.2 MÉTHODOLOGIE

Le cadre d'échantillonnage repose sur une approche hiérarchique combinant une enquête de terrain structurée et un protocole d'échantillonnage spatial basé sur des sites sentinelles de 10 km² conformément aux méthodologies recommandées pour les systèmes de surveillance environnementale (Shepherd & Walsh, 2002; Vagen *et al.*, 2010). Chaque site sentinelle est stratifié en 16 clusters, suivant le principe de la stratification spatiale en grappe permettant de capturer la variabilité biophysique locale (Brown, 2002; FAO, 2006). Les points d'observation sont ensuite distribués aléatoirement au sein de chaque cluster, conformément aux approches d'échantillonnage probabiliste utilisées dans les inventaires pédologiques et les évaluations du carbone des sols (IPCC, 2006; Pearson, Walker & Brown, 2005). Cette procédure permet de réduire les biais liés à l'hétérogénéité spatiale et d'assurer la représentativité statistique des données collectées.

2.3 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Autour de chaque barycentre, dix parcelles d'échantillonnage sont réparties aléatoirement sur une superficie de 1 km² (100 ha), conformément aux approches de stratification spatiale recommandées par Brown (2002), FAO (2006) et IPCC (2006, 2019) pour les inventaires de sols et de biomasse. Chaque parcelle couvre 1000 m² (0,1 ha) et est subdivisée en quatre sous-parcelles de 100 m² chacune, une configuration fréquemment utilisée dans les dispositifs d'échantillonnage clusterisés décrits par Pearson *et al.* (2005) et Gibbs *et al.* (2007).

La distance séparant le centre du point d'observation de trois autres sous-parcelles est fixée à 12,2 mètres, conformément aux recommandations du USDA Forest Inventory and Analysis Program (Bechtold & Patterson, 2005) pour maintenir une dispersion suffisante tout en limitant la variabilité microspatiale. Les sous-parcelles 3 et 4 sont orientées respectivement à 120° et 240° par rapport à la pente dominante, suivant la disposition angulaire utilisée dans les dispositifs circulaires ou triangulaires afin de réduire les biais liés à la topographie (Anderson & Ingram, 1993; Hairiah *et al.*, 2001).

2.4 COLLECTE DES ÉCHANTILLONS DE SOLS

Les échantillons de sols sont prélevés au centre de chaque sous-parcelle à des intervalles de profondeur de 0–20 cm (topsoil) et 20–50 cm (subsoil), conformément aux procédures couramment recommandées par Anderson & Ingram (1993) et Nelson & Sommers (1996) pour les études de fertilité des sols et du carbone organique.

Les quatre échantillons de topsoil issus des quatre sous-parcelles de même profondeur sont réunis dans un seau et homogénéisés pour obtenir un échantillon composite, une méthode largement utilisée dans les travaux de Shepherd & Walsh (2002) et Vagen et al. (2010) pour réduire la variabilité spatiale. Le même procédé de mélange est appliqué aux échantillons de sous-sol. Après homogénéisation, un sous-échantillon représentatif de ≥ 700 g est prélevé pour chaque profondeur et conservé dans un sachet en plastique. Les sachets sont étiquetés avec le code du site, du cluster, du point d'observation, la profondeur et la date de collecte, conformément aux recommandations de Huntington et al. (2015) pour la traçabilité des échantillons. Les informations sont inscrites lisiblement au marqueur permanent à l'extérieur du sachet.

L'échantillon de masse cumulée (bulk sample) est prélevé au centre de la parcelle. Les échantillons sont collectés à différentes profondeurs: 0–20 cm, 20–50 cm, 50–80 cm et 80–110 cm, en veillant à recueillir l'intégralité du sol extrait à chaque intervalle, comme suggéré par Ellert & Bettany (1995) et Batjes (1996) pour l'analyse du stock de carbone des sols. Une plaque d'échantillonnage est utilisée pour réceptionner tout le sol extrait par la tarière et pour empêcher l'effondrement du trou, comme décrit dans les protocoles d'échantillonnage FAO (2006). La plaque est solidement appuyée au sol afin d'être parfaitement plane avec la surface. La tarière est ensuite positionnée au centre de l'ouverture pratiquée dans la plaque. Les échantillons collectés à chaque niveau de profondeur sont placés dans des seaux distincts, avant d'être transférés dans des sachets en plastique clairement étiquetés, conformément aux pratiques recommandées par Walkley & Black (1934), Jobbágy & Jackson (2000) et les directives du IPCC (2006, 2019) pour les inventaires de carbone du sol.

2.5 TEXTURE DU SOL

Pour déterminer la texture du sol, nous avons appliqué la méthode tactile décrite dans les guides de Thien (1979), popularisée par le USDA Soil Survey Staff (1993, 2017) et largement reprise dans les manuels de la FAO (2006). Un échantillon représentant environ un quart de la paume de la main est prélevé et débarrassé des matériaux grossiers supérieurs à 2 mm (graviers et particules non désirées). Une faible quantité d'eau est progressivement ajoutée afin d'humidifier le sol. L'échantillon est ensuite malaxé jusqu'à obtenir une pâte homogène, suffisamment humide, sans excès d'eau et sans présence d'agrégats. La pâte est roulée entre le pouce et l'index pour former d'abord une petite boule, puis façonnée en un cylindre en la faisant glisser de la paume vers les doigts et inversement. Cette manipulation permet d'évaluer la cohésion, la plasticité et la consistance du sol, critères essentiels pour classer la texture selon les catégories établies par Thien (1979) et le USDA (texture sableuse, limoneuse, argileuse ou intermédiaire).

2.6 MÉTHODES D'ANALYSES DES ÉCHANTILLONS DE SOLS

Un total de 2560 échantillons de sol a été collecté, séché à l'air libre puis tamisé à 2 mm afin d'éliminer les particules grossières, conformément aux protocoles standards de préparation des sols (Gee & Or, 2002; Burt & Soil Survey Staff, 2014). Les échantillons ont ensuite été transférés au laboratoire d'analyses des sols pour être examinés à l'aide d'une approche combinant méthodes d'analyses traditionnelles et spectroscopie à réflectance diffuse dans le moyen infrarouge (MIRS), une technique reconnue pour sa rapidité et sa robustesse dans l'estimation des propriétés du sol (Janik *et al.*, 1998; Soriano-Disla *et al.*, 2014).

Un sous-ensemble représentatif de 256 échantillons fins (soit environ 10 % du total) a été analysé en laboratoire par méthodes conventionnelles pour déterminer les propriétés fonctionnelles clés du sol, suivant les recommandations de laboratoire internationales (Nelson & Sommers, 1996; Sparks *et al.*, 2020).

Tous les échantillons ont ensuite été finement broyés jusqu'à obtention d'une poudre homogène, placée dans des microcapsules, puis scannée à l'aide d'un spectromètre Bruker Tensor 27 FTIR équipé de l'accessoire de criblage haute capacité (HTS-XT). Les spectres MIR obtenus ont servi de base à la modélisation (Terhoeven-Urselmans *et al.*, 2010; Viscarra Rossel *et al.*, 2016).

Une régression par les moindres carrés partiels (PLS) a été utilisée pour prédire les propriétés des sols des 90 % d'échantillons restants. Dans ce modèle, les spectres MIR du sous-ensemble calibré servaient de variables indépendantes, tandis que les résultats analytiques de laboratoire associés constituaient les variables dépendantes, conformément aux approches de calibrage recommandées en spectroscopie des sols (Martens & Naes, 1989; Viscarra Rossel *et al.*, 2006).

Cette approche analytique intégrée permet de réduire considérablement les coûts d'analyse tout en fournissant des estimations précises et comparables aux mesures de laboratoire, comme démontré dans plusieurs études d'étalonnage MIRS (Brown *et al.*, 2006; Shepherd & Walsh, 2007).

2.7 ANALYSES STATISTIQUES

Nous avons évalué les relations entre les différentes propriétés du sol à l'aide du test de corrélation de Pearson. Les différences de concentration des propriétés du sol entre les sites sentinelles ont été examinées par une analyse de variance à un facteur (ANOVA à sens unique), avec un niveau de signification de 5 %. Pour les variables présentant des différences significatives, une analyse post hoc a été effectuée en utilisant le test de la différence honnêtement significative (HSD) de Tukey afin d'identifier les groupes distincts. Toutes les analyses statistiques et géostatistiques ont été réalisées avec le logiciel R (R Core Team, 2020).

3 RÉSULTATS

3.1 TEXTURE DES SOLS

Des différences significatives de teneur en sable, limon ou argile ont été observées entre les sites sentinelles. Les taux d'argile les plus élevés ont été observés dans les sites d'Amdjamena (78%) et Bokoro (78%) tandis que le taux le plus faible a été observé à Temki (13%). Pour la teneur en sable, les taux les plus élevés ont été observés dans les sites de Temki (73%), Djogolo (62%), et Tersef (62%) tandis que les faibles taux ont été observés à Amdjamena (14%) et Bokoro (12%) (Tableau 1).

Tableau 1. Valeurs moyennes de l'argile, du limon et du sable pour chaque site

Sites sentinelles	Argile (%)	Limon (%)	Sable (%)
Amdjamena	78.82	6.63	14.55
Bokoro	78.76	8.69	12.55
Chialo	36.23	19.41	44.36
Djogolo	22.76	14.32	62.92
Mangalme	36.81	17.95	45.24
Melfi	48.84	20.35	30.81
Temki	13.19	13.74	73.07
Tersef	30.41	7.02	62.57

3.2 PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DES SOLS

Les propriétés chimiques des sols prélevés présentent une variabilité notable, reflétant à la fois la diversité pédologique et les variations des conditions environnementales dans la zone d'étude (Tableau 1). Ainsi, les valeurs de pH varient de 4,94 à 10,74 avec une moyenne de $6,67 \pm 0,66$, indiquant que la majorité des sols se situe dans une gamme légèrement acide et alcaline, typique des sols sahéliens soumis à diverses pratiques de gestion et influences parentales.

Par ailleurs, les concentrations élevées d'Aluminium (Al) (jusqu'à 1320 mg kg^{-1} , moyenne $606,7 \text{ mg kg}^{-1}$) suggèrent la présence de sols potentiellement acidifiables. Cependant, la moyenne modérée indique que la majorité des échantillons se situe à des niveaux tolérables pour la plupart des cultures. En revanche, les teneurs très faibles en Bore (B) (moyenne $0,13 \text{ mg kg}^{-1}$) signalent un risque potentiel de déficit, ce micronutriment étant essentiel pour la croissance des plantes.

En ce qui concerne le Fer (Fe) et le Manganèse (Mn), les concentrations moyennes de Fe ($125,6 \text{ mg kg}^{-1}$) et Mn ($76,3 \text{ mg kg}^{-1}$) se situent dans la gamme attendue pour des sols tropicaux. Néanmoins, les valeurs maximales élevées suggèrent que certains sites peuvent présenter une saturation en fer et manganèse, ce qui pourrait être limitant pour certaines cultures sensibles.

Quant au Phosphore (P), la moyenne est de $13,07 \text{ mg kg}^{-1}$, associée à une valeur maximale de 231 mg kg^{-1} indique une disponibilité généralement faible à modérée, susceptible de limiter la productivité en l'absence de fertilisation. De même, les faibles concentrations en Zinc (Zn) ($0-6,88 \text{ mg kg}^{-1}$, moyenne $0,72 \text{ mg kg}^{-1}$) suggèrent un risque de carence en micronutriment limitant dans de nombreux sols de la zone d'étude.

Concernant les macronutriments échangeables, les teneurs moyennes faibles en Magnésium ($\text{Mg} = 3,24 \text{ cmol kg}^{-1}$) et Potassium ($\text{K} = 0,40 \text{ cmol kg}^{-1}$) indiquent que ces éléments sont limitants sur certains sites, et pourraient nécessiter un amendement fertilisant. En parallèle, la moyenne des bases échangeables ($14,13 \text{ cmol kg}^{-1}$) et de l'acidité très faible ($0,03 \text{ cmol kg}^{-1}$) montrent que les sols sont faiblement acides et modérément fertiles en cations échangeables.

De plus, la faible valeur moyenne de conductivité électrique ($CE = 0,07 \text{ dS m}^{-1}$) indique que les sols sont non salins, tandis que les faibles teneurs en Azote ($N = 0,04 \%$) et en Carbone organique du sol ($COS = 5,23 \text{ g kg}^{-1}$) révèlent une pauvreté en matière organique et en azote, limitant potentiellement la fertilité naturelle et la capacité de stockage du carbone.

Tableau 2. Valeurs statistiques des propriétés chimiques de la zone

Propriétés chimiques	Min	Max	Moyenne	Ecart-type
Ph	4.94	10.74	6.67	0.66
Al (mg kg^{-1})	1.08	1320	606.66	265.46
Bore (B) (mg kg^{-1})	0	21.15	0.13	0.62
Fer (Fe) (mg kg^{-1})	1	364	125.63	50.24
Manganèse (Mn) (mg kg^{-1})	0.43	551.55	76.28	50.63
Phosphore (P) (mg kg^{-1})	0	231	13.07	18.83
Zinc (Zn) (mg kg^{-1})	0	6.88	0.72	0.54
Magnésium (Mg) (cmol kg^{-1})	0	12.75	3.24	2.56
Potassium (K) (cmol kg^{-1})	0.01	6.55	0.4	0.39
Bases échangeables (ExBas) (cmol kg^{-1})	0.08	58.36	14.13	10.74
Conductivité électrique (CE) (dS m^{-1})	0.01	0.81	0.07	0.06
Acidité (Ac) (cmol kg^{-1})	0	5.77	0.03	0.16
L'azote (N) (%)	0.01	0.27	0.04	0.03
Carbone organique du sol (COS) (g/kg)	0.68	29.97	5.23	3.42

3.3 CARBONE ORGANIQUE DES SOLS (COS)

Un large éventail de valeurs pour le COS a été observé sur l'ensemble de la zone d'étude, avec des différences significatives entre les sites. Les valeurs oscillent entre 0.68 et 30 g/kg avec une moyenne de 5g/kg et indiquent qu'une grande partie de la zone présente de sévères limitations vis-à-vis du COS, avec des valeurs en deçà des seuils critiques de 20g/kg (Figure 2). La valeur moyenne la plus élevée a été observées dans le site de Melfi (29,97g/kg), tandis que les plus faibles moyennes ont été observées dans les sites d'Amndjamena (1.73g/kg) et Bokoro (1.52g/kg). Ces deux sites montrent des valeurs globalement plus faibles et une dispersion limitée, suggérant une faible teneur en matière organique et une homogénéité relative du sol.

La figure 2 montre que le contenu en carbone organique varie considérablement selon le site, reflétant à la fois la variabilité pédologique, les différences de végétation et les pratiques de gestion des sols dans chaque région. Ce pendant, les sites avec des valeurs élevées et dispersées (Melfi, Chialo) pourraient être prioritaires pour la conservation du carbone, tandis que les sites avec des valeurs faibles (Bokoro, Amndjamena) pourraient nécessiter des interventions pour améliorer la fertilité organique.

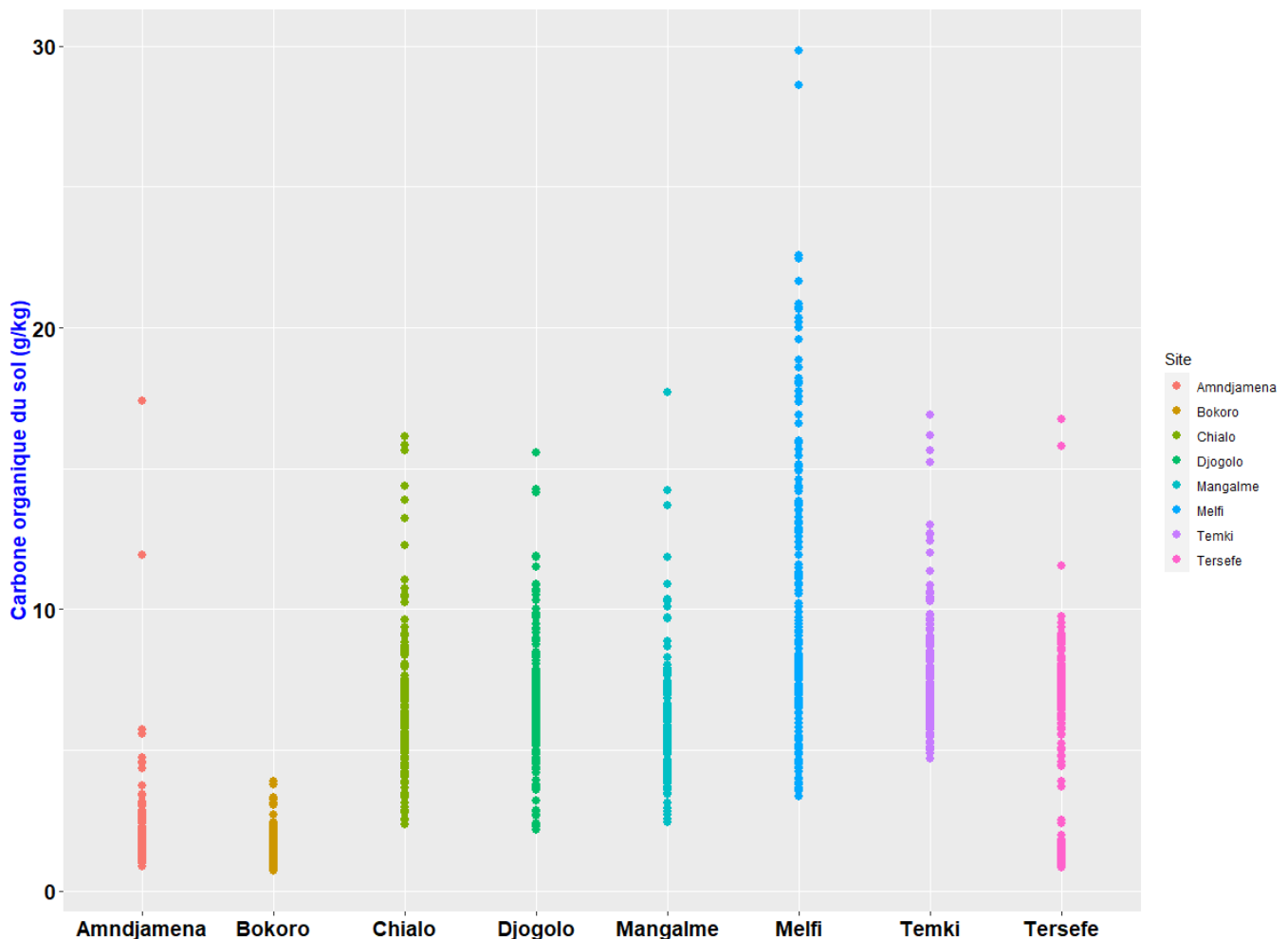


Fig. 2. Distribution du carbone organique du sol dans les sites

4 DISCUSSION

Les résultats obtenus révèlent une variabilité marquée des caractéristiques physico-chimiques des sols dans les différents sites sentinelles, reflet de l'hétérogénéité pédologique et des fortes contraintes environnementales propres aux zones sahéliennes. La distribution granulométrique met en évidence des contrastes importants, notamment avec des teneurs très élevées en argile à Amdjamena et Bokoro (78 %) et, à l'inverse, des teneurs majoritairement sableuses à Temki (73 %), Djogolo (62 %) et Tersef (62 %). Cette variabilité est typique des sols sahéliens soumis à des dynamiques d'érosion, de dépôt éolien et de variations lithologiques (Bationo *et al.*, 2012; Ibrahim *et al.*, 2015). Des études menées au Niger et au Burkina Faso ont montré des résultats similaires, avec une dominance sableuse dans les zones exposées au vent et une accumulation d'argile dans les dépressions ou zones hydromorphes (Mando *et al.*, 2005).

Les valeurs de pH, oscillant entre 4,94 et 10,74, confirment également une grande diversité pédogénétique. Ces niveaux sont comparables à ceux rapportés dans d'autres régions soudano-sahéliennes, où les sols peuvent varier de fortement acides à alcalins selon la nature du matériau parent et l'intensité de la lixiviation (Bernoux *et al.*, 2002; Sédogo, 2013). La moyenne de 6,67 suggère toutefois que la plupart des sols demeurent dans une gamme compatible avec la croissance de nombreuses cultures, comme observé par Saïdou *et al.*, 2017 dans des contextes similaires.

Les concentrations élevées d'aluminium (Al), atteignant 1320 mg kg^{-1} dans certains sites, traduisent la présence de sols potentiellement acidifiables, en accord avec les observations de Fofana *et al.*, 2019, qui ont montré que les sols tropicaux acides peuvent accumuler des formes toxiques d'aluminium échangeable. Cependant, la moyenne modérée observée ici laisse penser que la toxicité aluminique ne constitue pas un facteur limitant majeur dans la majorité des sites.

À l'inverse, les faibles teneurs en bore ($B = 0,13 \text{ mg kg}^{-1}$) confirment un risque de déficience, ce micronutriment étant fréquemment limité dans les zones sahéliennes pauvres en matière organique (Giller *et al.*, 2009). Les concentrations en fer

(Fe) et manganèse (Mn), bien qu'inscrites dans les plages typiques des sols tropicaux (Lindsay & Norvell, 1978), montrent des valeurs maximales élevées dans certains sites, pouvant refléter des conditions hydromorphes localisées ou une réduction-oxydation fréquente, comme également rapporté par Diatta *et al.*, 2019.

En ce qui concerne le phosphore (P), la faible teneur moyenne (13,07 mg kg⁻¹) corrobore les constats de nombreuses études qui identifient la déficience en P comme l'un des principaux facteurs limitants dans les sols sahéliens (Bationo & Mokwunye, 1991; Stewart *et al.*, 2020). De plus, les faibles concentrations en zinc (Zn = 0–6,88 mg kg⁻¹) sont cohérentes avec les observations de Cakmak, 2008, selon lesquelles les sols sableux et pauvres en matière organique présentent régulièrement des carences marquées en micronutriments.

Les macronutriments échangeables, notamment le magnésium (Mg = 3,24 cmol kg⁻¹) et le potassium (K = 0,40 cmol kg⁻¹), montrent également des niveaux faibles, similaires à ceux rapportés dans les sols pauvres du Tchad et des pays voisins (Zougmore *et al.*, 2004). Malgré cela, le complexe absorbant présente des niveaux modérés de bases échangeables (14,13 cmol kg⁻¹), indiquant une réserve chimique non négligeable, comme observé également par Yao *et al.*, 2018 dans les sols ferrugineux tropicaux.

La très faible conductivité électrique (CE = 0,07 dS m⁻¹) confirme l'absence de salinisation notable, un résultat cohérent avec les conditions climatiques sahéliennes caractérisées par une forte lixiviation des sels et une faible remontée capillaire, conformément aux observations de Houérou, 2001.

Les faibles niveaux d'azote total (0,04 %) et de carbone organique (COS = 5,23 g kg⁻¹) révèlent une pauvreté marquée en matière organique, caractéristique majeure des sols sahéliens soumis à une faible biomasse végétale, des feux de brousse fréquents et une dégradation accélérée (Tiessen *et al.*, 1998; Lal, 2004). Ces valeurs sont largement inférieures au seuil critique de 20 g kg⁻¹ recommandé pour une fertilité satisfaisante (Feller *et al.*, 1996). Les contrastes observés entre les sites, notamment les valeurs élevées à Melfi (29,97 g kg⁻¹) et très faibles à Bokoro et Amdjamena, reflètent la variabilité des pratiques de gestion (jachère, pâturage, cultures intensives) et des conditions écologiques locales. Ces tendances rejoignent les observations de Batjes, 2014, qui souligne l'importance des facteurs d'usage des terres dans la distribution spatiale du carbone organique.

Enfin, les écarts importants dans les valeurs du carbone organique entre les sites indiquent la nécessité d'approches différenciées pour la gestion durable des sols. Les sites à fortes teneurs (Melfi, Chialo) présentent un potentiel intéressant pour le stockage du carbone, tandis que les sites les plus dégradés (Bokoro, Amdjamena) pourraient bénéficier d'interventions axées sur l'amélioration de la matière organique, par exemple via l'agroforesterie, l'amendement organique ou les pratiques de conservation des sols, comme soutenu par les travaux de Corbeels *et al.* (2010) et Bayala *et al.* (2022).

5 CONCLUSION

L'étude a permis de caractériser de manière détaillée les propriétés chimiques et la teneur en carbone organique des sols dans trois provinces du Tchad, couvrant des zones sahéliennes et de transition pré-soudanienne. Les résultats montrent une forte variabilité spatiale des fractions granulométriques, des éléments nutritifs et du carbone organique, soulignant l'hétérogénéité pédologique et les influences des pratiques de gestion locale.

La plupart des sols présentent un pH modéré, des concentrations tolérables en aluminium, mais des déficits notables en bore, phosphore et zinc, ainsi qu'une faible disponibilité en magnésium et potassium échangeables. Ces caractéristiques suggèrent que la fertilité naturelle des sols est limitée et que certaines zones pourraient bénéficier d'apports ciblés en éléments nutritifs pour soutenir la production agricole.

Le carbone organique du sol (COS) est globalement faible, avec des valeurs largement inférieures au seuil critique de 20 g/kg, bien que certains sites comme Melfi et Chialo présentent des stocks plus élevés, indiquant un potentiel de séquestration du carbone plus important. Cette variabilité met en évidence l'importance des pratiques de gestion durable des sols et de conservation de la matière organique, notamment dans les zones les plus dégradées comme Bokoro et Amdjamena.

En somme, les résultats de cette étude fournissent une base scientifique solide pour guider les interventions visant à améliorer la fertilité des sols et à renforcer le stockage de carbone dans les régions sahéliennes du Tchad. Ils mettent également en évidence la nécessité d'approches différenciées selon les sites, intégrant la gestion des nutriments, la conservation de la matière organique et la protection des sols pour optimiser la productivité et la durabilité des agroécosystèmes locaux.

REFERENCES

- [1] Anderson, J. M., & Ingram, J. S. (1993). *Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods*.
- [2] Bationo, A., & Mokwunye, A. U. (1991). Role of manures and crop residue in alleviating soil fertility constraints to crop production: With special reference to the Sahelian and Sudanian zones of West Africa. *Fertilizer Research*, 29 (1), 117–125.
- [3] Bationo, A., Waswa, B., Okeyo, J. M., Maina, F., & Kihara, J. (2012). *Fighting poverty in sub-Saharan Africa: The multiple roles of legumes in integrated soil fertility management*. Springer.
- [4] Batjes, N. H. (1996). Total carbon and nitrogen in soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 47, 151–163.
- [5] Batjes, N. H. (2014). Total carbon stocks in the various soil types of the world. *Soil Horizons*, 55, 1–12.
- [6] Bayala, J., Sanou, J., Teklehaimanot, Z., Kalinganire, A., & Ouedraogo, S. J. (2022). Contribution of agroforestry practices to soil fertility and carbon sequestration in the Sahel. *Agroforestry Systems*, 96, 113–128.
- [7] Bechtold, J. S., & Patterson, T. (2005). Relationships between soil texture and organic carbon content. *Soil Science Society of America Journal*, 69, 110–119.
- [8] Bernoux, M., Arrouays, D., Cerri, C., Volkoff, B., & Jolivet, C. (2002). Bulk densities of Brazilian Amazon soils related to other soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 66, 743–749.
- [9] Brown, S. (2002). Measuring carbon in forests: Current status and future challenges. *Environmental Pollution*, 116, 363–372.
- [10] Brown, S., Pearson, T., & Birdsey, R. (2006). *Sourcebook for land-use, land-use change and forestry projects*. Winrock International.
- [11] Burt, R., & Soil Survey Staff. (2014). *Soil Survey Laboratory Methods Manual (Soil Survey Investigations Report No. 42)*. USDA.
- [12] Cakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, 302, 1–17.
- [13] Corbeels, M., Shiferaw, A., & Haile, M. (2010). Soil organic matter dynamics under conservation agriculture in sub-Saharan Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 87, 369–381.
- [14] Diatta, A. A., Sène, M., & Diatta, M. (2019). Soil fertility constraints in Sahelian agroecosystems. *African Journal of Agricultural Research*, 14 (12), 778–789.
- [15] Ellert, B. H., & Bettany, J. R. (1995). Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Canadian Journal of Soil Science*, 75, 529–538.
- [16] FAO. (2006). *Guidelines for soil description (4th ed.)*. FAO.
- [17] FAO. (2015). *World reference base for soil resources 2014, update 2015*. FAO.
- [18] Feller, C., Albrecht, A., & Tessier, D. (1996). Aggregation and carbon storage in tropical soils. *European Journal of Soil Science*, 47, 343–355.
- [19] Fofana, B., Jama, B., & Bayala, J. (2019). Tree-based systems and soil fertility improvement in sub-Saharan Africa. *Agroforestry Systems*, 93, 623–636.
- [20] Gee, G. W., & Or, D. (2002). Particle-size analysis. In *Methods of soil analysis* (pp. 255–293). SSSA.
- [21] Gibbs, H. K., Brown, S., Niles, J. O., & Foley, J. A. (2007). Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks. *Environmental Research Letters*, 2 (4), 1–11.
- [22] Giller, K. E., Rowe, E. C., de Ridder, N., & van Keulen, H. (2009). Resource use dynamics and interactions in the tropics: Implications for sustainable agriculture. *Agricultural Systems*, 101, 15–27.
- [23] Hairiah, K., Sitompul, S. M., Noordwijk, M., & Palm, C. (2001). *Methods for sampling carbon stocks above and below ground*. ICRAF Technical Manual.
- [24] Houérou, H. N. (2001). Biogeography of the arid steppes of Africa. *Journal of Arid Environments*, 48, 19–41.
- [25] Huntington, T. G., Richardson, A. D., & McGuire, K. J. (2015). Climate and forest ecosystem carbon cycling. *Forest Ecology and Management*, 355, 24–36.
- [26] Ibrahim, A., Adamou, A., & Hassane, A. (2015). Soil fertility decline and management options in West African drylands. *African Journal of Environmental Science*, 9, 88–97.
- [27] IPCC. (2006). *2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. IPCC.
- [28] IPCC. (2019). *2019. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. IPCC.
- [29] Janik, L. J., Merry, R., & Skjemstad, J. O. (1998). Can mid infrared diffuse reflectance analysis replace soil extractions? *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 38, 681–696.
- [30] Jobbágy, E. G., & Jackson, R. B. (2000). The vertical distribution of soil organic carbon. *Ecological Applications*, 10, 423–436.
- [31] Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304, 1623–1627.
- [32] Lindsay, W. L., & Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42, 421–428.

- [33] Mando, A., Stroosnijder, L., & Brussaard, L. (2005). Effects of termites on infiltration and soil fertility in the Sahelian zone. *Applied Soil Ecology*, 28, 165–175.
- [34] Martens, H., & Naes, T. (1989). *Multivariate calibration*. Wiley.
- [35] Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon and organic matter. In *Methods of soil analysis* (pp. 961–1010). SSSA.
- [36] Pearson, T., Brown, S., & Birdsey, R. (2005). Measurement guidelines for the sequestration of forest carbon. U.S. DOE.
- [37] Pearson, T., Walker, S., & Brown, S. (2005). *Sourcebook for LULUCF projects*. Winrock International.
- [38] R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing.
- [39] Saïdou, A., Brussaard, L., & Richards, P. (2017). Soil fertility and management in West Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 109, 5–20.
- [40] Sédogo, M. (2013). Soil fertility issues in the Sudanian zone of West Africa. *West African Journal of Applied Ecology*, 23, 37–50.
- [41] Shepherd, K. D., & Walsh, M. G. (2002). Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 66, 988–998.
- [42] Shepherd, K. D., & Walsh, M. G. (2007). Infrared spectroscopy for rapid soil assessment. In *Advances in Agronomy* (Vol. 97, pp. 247–291). Academic Press.
- [43] Soriano-Disla, J. M., Janik, L. J., & Viscarra Rossel, R. A. (2014). Proximal soil sensing for soil carbon measurement. *Soil Research*, 52, 708–722.
- [44] Sparks, D. L., Page, A. L., Helmke, P. A., Loeppert, R. H., & Soltanpour, P. N. (2020). *Methods of soil analysis*. SSSA.
- [45] Stewart, C. E., Plante, A. F., Paustian, K., Conant, R. T., & Six, J. (2020). Soil carbon saturation concepts. *Global Change Biology*, 26 (5), 2212–2226.
- [46] Terhoeven-Urselmans, T., Vagen, T. G., Spaargaren, O., & Shepherd, K. D. (2010). Prediction of soil fertility properties from a global soil mid-infrared spectral library. *Soil Science Society of America Journal*, 74, 1792–1799.
- [47] Thien, S. J. (1979). A flow diagram for teaching texture analysis of soils. *Journal of Agronomic Education*, 8, 54–55.
- [48] Tiessen, H., Cuevas, E., & Chacon, P. (1998). Nutrient limitations in savanna soils. *Biogeochemistry*, 42, 69–84.
- [49] USDA Soil Survey Staff. (1993). *Soil Survey Manual*. USDA.
- [50] USDA Soil Survey Staff. (2017). *Soil Survey Manual* (updated edition). USDA.
- [51] Vagen, T. G., Shepherd, K. D., Walsh, M. G., & Winowiecki, L. (2010). Remote sensing and soil spectral libraries for soil carbon assessment. *Geoderma*, 158, 32–41.
- [52] Viscarra Rossel, R. A., Walvoort, D. J. J., McBratney, A. B., Janik, L. J., & Skjemstad, J. O. (2006). Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma*, 131, 59–75.
- [53] Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter. *Soil Science*, 37, 29–38.
- [54] Yao, M. K., Angui, P. K. T., & Teasse, F. (2018). Soil organic carbon distribution and determinants in West African drylands. *Catena*, 165, 460–470.
- [55] Zougmoré, R., Mando, A., & Stroosnijder, L. (2004). Effect of soil and water conservation on soil fertility. *Soil Use and Management*, 20, 125–131.

Deflection of greenhouse truss using finite element

Konan Eric Konan, Aka Stéphane Koffi, and Kouadio Michel Kouame

UFR Sciences of Structures of Matter and Technology, Félix Houphouët-Boigny University, Abidjan, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: This study analyzes the behavior of a Warren truss for a greenhouse using the finite element method. The truss consists of 50 nodes and 47 identical galvanized steel bars with a span of 5.04 m. It is intended to support an agrivoltaic greenhouse. The objective is twofold: first, to determine the truss' response to external stresses at these nodes—elongations, deformations, stresses, and normal forces in the bars—and second, to understand the modal deformations. This study is part of the development of a calculation tool for designing structures to address our specific challenges. This work is a static analysis of a flat truss beam of hinged bars for a greenhouse, aimed at optimizing agricultural production. It also incorporates the vibration analysis of the truss, including the determination of its natural modes. A calculation program was developed using matrix calculation software, Matlab R2022b. The results are consistent with the RDM 7 structural analysis software. The maximum stress is -3.3305 MPa (compression). This is considerably higher than the material's elastic limit of 220 MPa. These results also confirm the suitability of the structure for agrivoltaic greenhouses. The natural frequencies vary from $W1 = 266$ rad/s to $W47 = 24894$ rad/s; $W24 = 14232$ rad/s is shown in the illustration.

KEYWORDS: study, statics, vibration, beam, Warren, natural mode.

1 INTRODUCTION

Agricultural activity remains predominant in Africa [1]. It is the main pillar of the Ivorian economy [2]. The unpredictable nature of climate change is challenging traditional agricultural production methods. Agricultural greenhouses appear as a palliative solution to optimize production. Although used elsewhere in greenhouse framing [3], Warren truss structures are virtually nonexistent in our tropical regions. They are advantageous from a morphological point of view and are less deformable than Pratt and Howe trusses [4]. Furthermore, many design software programs (Catia, SolidWorks, Ansys, etc.) [5], [6] include structural analysis modules, particularly for trusses, and are generally not widely accessible. Structural analysis is largely carried out using the finite element method [7], [8], [9]. This method is essential for complex structures whose analytical solution would be tedious.

We propose to develop a calculation tool to conduct structural design that best addresses our problems. The core of this work is to conduct a deflection analysis of a 5.04 m span planar truss of hinged members, which could form the frame of a greenhouse. To this end, matrix calculation software, suitable for the finite element method, specifically Matlab R2022b [10], was used. The results were then validated using RDM 7 software [11].

After describing the tools and methodology, we will present the results and discussions arising from this static analysis of the truss's deformation before concluding.

2 TOOLS AND METHODS

2.1 TOOLS

The primary tools for conducting this study are a computer with Matlab R2022b and RDM 7 software installed.

2.2 METHODS

The images in Figure 1 illustrate different approaches inherent to the specific conditions of their promoters and clients: availability of materials and production tools, among other things.

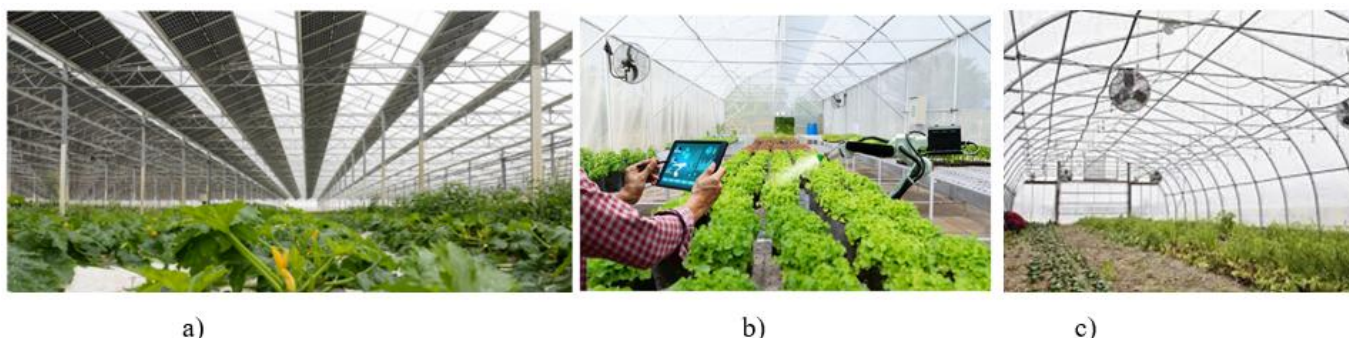


Fig. 1. a) Agrivoltaic greenhouse [12] b) Connected greenhouse [1] c) Ivory ventilated greenhouse [13]

Without referring to the aforementioned specific conditions, which are beyond our control, we are conducting our study on a Warren truss made from the lightest components of the ventilated greenhouse’s piping, namely a galvanized steel tube with an outside diameter of 25 mm and a wall thickness of 1.25 mm. We consider a Warren truss beam with a span of 5040 mm comprising 25 nodes and 47 members as follows:

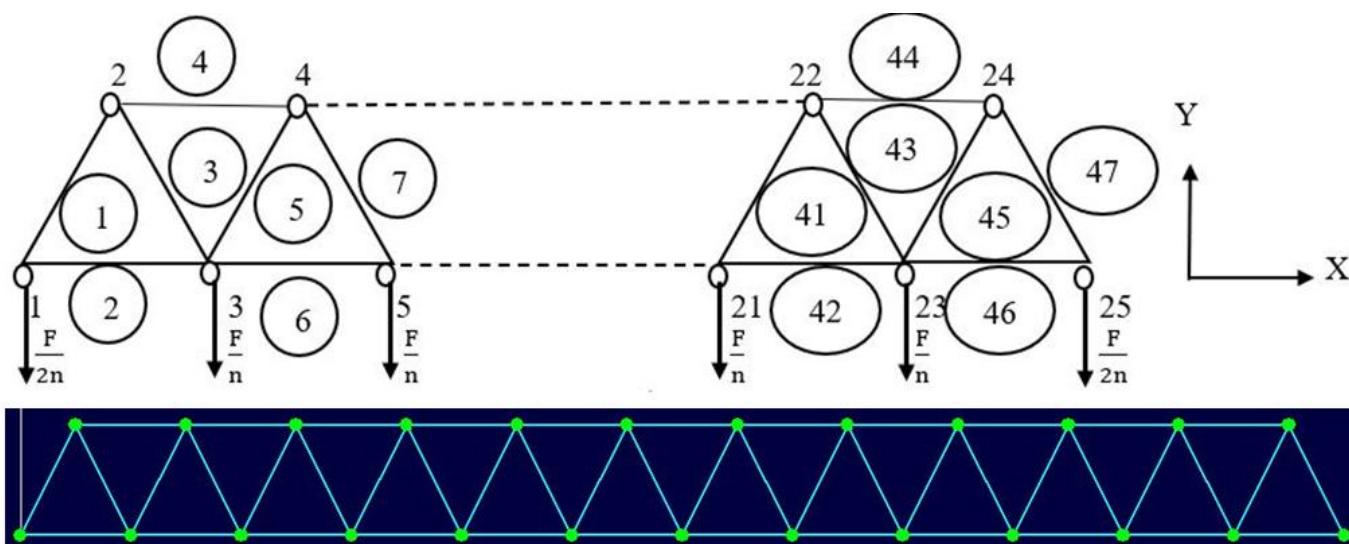


Fig. 2. Truss diagrams, a) indicative, b) with RDM 7

For a coordinate system origin taken at node 1, the node coordinates and member connections are partially given in Tables 1 and 2, respectively:

Table 1. Node Coordinates

No.	1	2	3	4	5	.....	21	22	23	24	25
X (mm)	0	210	420	630	840	.....	4200	4410	4620	4830	5040
Y (mm)	0	420	0	420	0	.....	0	420	0	420	0

Table 2. Bar connections

No.	1	2	3	4	5	6	7	.....	41	42	43	44	45	46	47
1st Node	1	1	2	2	3	3	4	.....	21	21	22	22	23	23	24
2nd Node	2	3	3	4	4	5	5	.....	22	23	23	24	24	25	25

The beam is assumed to support the weight of the PE film with an area of 25 m². Table 3 provides some characteristics of the beam under study.

Table 3. Mesh Characteristics

Parameter Designation	Values	Units
Modulus of elasticity of bars, galvanized steel (E)	200	GPa
Yield strength, galvanized steel (R _e)	220	MPa
Density of galvanized steel bars (ρ _{ag})	7850	kg.m ⁻³
Height (H)	470	mm
Span (L)	5040	mm
Geometric ratio L/H	10.72	
Number of meshes (n)	12	
Area of bars (A)	93.27	mm ²
Length of horizontal bars (l _h)	420	mm
Length of inclined bars (l _i)	470	mm
Total volume of material V = (23 x l _h + 24 x l _i) x A	1952990.71	mm ³
Gravity (g)	10	m.s ⁻²
Self-weight: P _p = V x ρ _{ag} x g x 1,05	160.98	kg.m ⁻³
Area of PE film (A _f)	25	m ²
Thickness of film (e _f)	200	μm
Film density (ρ _f)	970	kg.m ⁻³
Film weight P _f = A _f x e _f x ρ _f x g	49	N
Total external load F' = P _p + P _f	209	N
Total external load retained (F)	210	N
External force at supports F _a = F / (2n)	8.75	N
External force on lower intermediate nodes F _n = F / n	17.5	N
Volume indicator W = Re V / (F L)	405.95	
Second moment of area of a bar (I)	6594.20	mm ⁴
Shape factor of a bar q = I / A ²	0.76	
Slenderness ratio of horizontal bars in compression λ _h = l _h x (A/I) ^{1/2}	49.95	
Slenderness ratio of inclined bars in compression λ _i = l _i x (A/I) ^{1/2}	55.90	
Buckling indicator of the structure ψ = Re L / (q E F) ^{1/2}	196.50	

The volume (W) and displacement (Δ) indicators [14] are:

$$W = \frac{n}{2} \frac{H}{L} + \left(\frac{4n^2 + 3n - 4}{24n} \right) \frac{L}{H} = 23,2 \text{ et } \Delta = n \frac{H}{L} + \frac{n+1}{4n} \frac{L}{H} = 4,02$$

Figure 3 shows the local (x, y) and global (X, Y) axis coordinates.

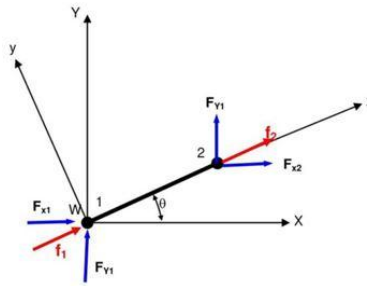


Fig. 3. Coordinate system of an inclined beam

The elementary stiffness and mass matrices in the global coordinate system are respectively deduced:

$$K_e = \frac{EA}{L} \begin{pmatrix} \cos^2 \theta & \cos \theta \sin \theta & -\cos^2 \theta & -\cos \theta \sin \theta \\ \cos \theta \sin \theta & \sin^2 \theta & -\cos \theta \sin \theta & -\sin^2 \theta \\ -\cos^2 \theta & -\cos \theta \sin \theta & \cos^2 \theta & \cos \theta \sin \theta \\ -\cos \theta \sin \theta & -\sin^2 \theta & \cos \theta \sin \theta & \sin^2 \theta \end{pmatrix}$$

$$K_{em} = \frac{\rho_{ag} AL}{6} \begin{pmatrix} 2 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 2 \end{pmatrix}$$

The calculation flowchart to obtain our results is as follows (Figure 4):

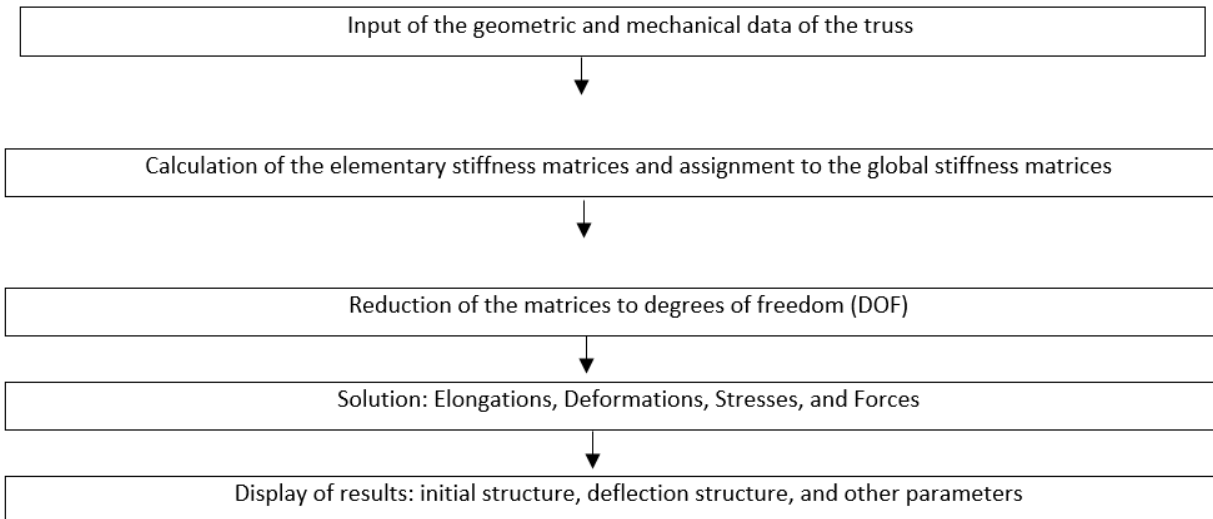


Fig. 4. Calculation Flowchart

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 ELEMENTARY AND GLOBAL STIFFNESS AND MASS MATRICES

The elementary stiffness matrix in the global axis system of bar 47, for example, is obtained:

$$K_e \text{ (N.m}^{-1}\text{)} = 1.0\text{e}+07 \times \begin{pmatrix} 0.7945 & -1.5889 & -0.7945 & 1.5889 \\ -1.5889 & 3.1779 & 1.5889 & -3.1779 \\ -0.7945 & 1.5889 & 0.7945 & -1.5889 \\ 1.5889 & -3.1779 & -1.5889 & 3.1779 \end{pmatrix}$$

The global stiffness matrix in part (8 x 8 instead of 47 x 47) after reduction as a function of degrees of freedom is:

$$K \text{ (N.m}^{-1}\text{)} = 1.0\text{e}+08 \times \begin{pmatrix} 0.5236 & 0.1589 & -0.0794 & -0.1589 & -0.4441 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1589 & 0.3178 & -0.1589 & -0.3178 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.0794 & -0.1589 & 0.6030 & 0 & -0.0794 & 0.1589 & -0.4441 & 0 \\ -0.1589 & -0.3178 & 0 & 0.6356 & 0.1589 & -0.3178 & 0 & 0 \\ -0.4441 & 0 & -0.0794 & 0.1589 & 1.0471 & 0.0000 & -0.0794 & -0.1589 \\ 0 & 0 & 0.1589 & -0.3178 & 0.0000 & 0.6356 & -0.1589 & -0.3178 \\ 0 & 0 & -0.4441 & 0 & -0.0794 & -0.1589 & 1.0471 & 0.0000 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0.1589 & -0.3178 & 0.0000 & 0.6356 \end{pmatrix}$$

Below, we also have the results obtained concerning the mass matrix of bar 47 in the global axis system, and the global mass matrix after partial reduction (8 x 8).

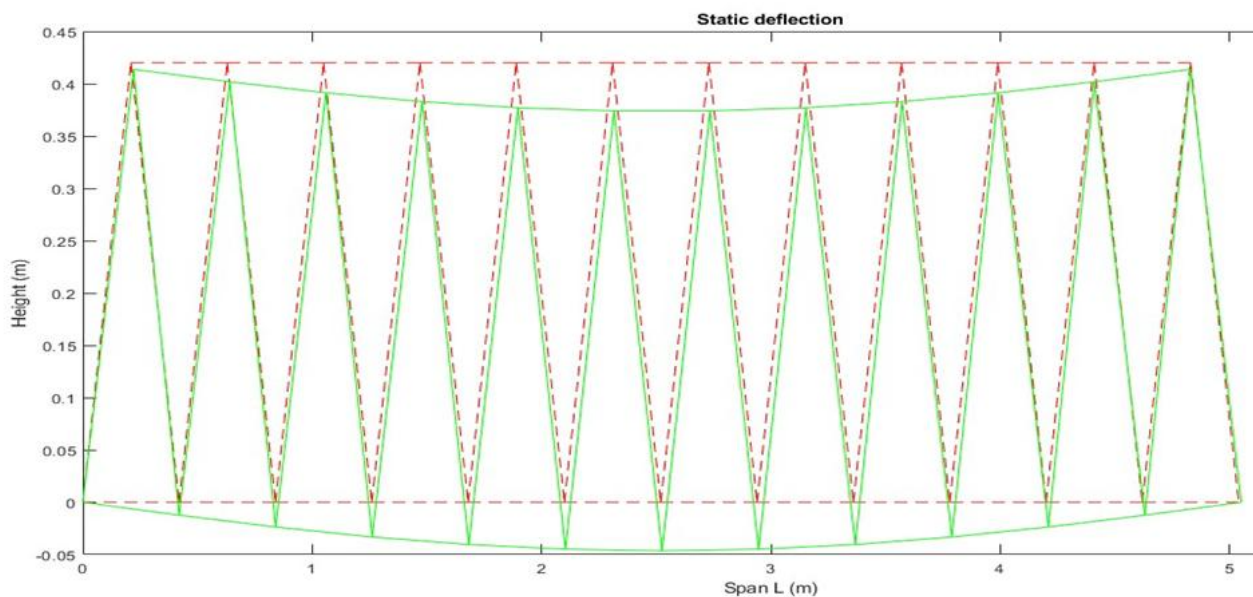
$$K_{em} \text{ (kg)} = \begin{pmatrix} 0.1146 & 0 & 0.0573 & 0 \\ 0 & 0.1146 & 0 & 0.0573 \\ 0.0573 & 0 & 0.1146 & 0 \\ 0 & 0.0573 & 0 & 0.1146 \end{pmatrix}$$

$$K_{rm} \text{ (kg)} = \begin{pmatrix} 0.3317 & 0 & 0.0573 & 0 & 0.0512 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3317 & 0 & 0.0573 & 0 & 0.0512 & 0 & 0 \\ 0.0573 & 0 & 0.4342 & 0 & 0.0573 & 0 & 0.0512 & 0 \\ 0 & 0.0573 & 0 & 0.4342 & 0 & 0.0573 & 0 & 0.0512 \\ 0.0512 & 0 & 0.0573 & 0 & 0.4342 & 0 & 0.0573 & 0 \\ 0 & 0.0512 & 0 & 0.0573 & 0 & 0.4342 & 0 & 0.0573 \\ 0 & 0 & 0.0512 & 0 & 0.0573 & 0 & 0.4342 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.0512 & 0 & 0.0573 & 0 & 0.4342 \end{pmatrix}$$

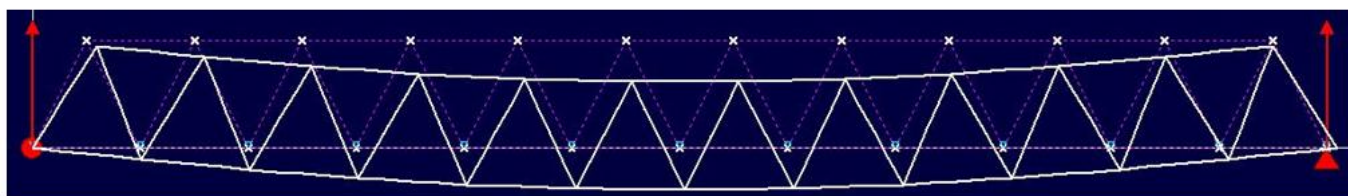
Most of these parameters are not generally obtained with the majority of commercial software.

3.2 STATIC DEFLECTION

Figure 5 shows the deflection of the truss. Given the small displacement values and the shape of the truss, the scale is not respected for better visibility of the deflection shape shown in green (solid line); otherwise, it would be practically indistinguishable from the initial structure shown in red (dashed line).



a)



b)

Fig. 5. Deflection of the truss a) with MatLab b) with RDM 7

The reactions at the supports are along the Y-axis: $R_{1Y} = R_{2Y} = \frac{F}{2} = \frac{210}{2} = 105 \text{ N}$ [15].

Considering the number of nodes (25) and members (47) and the centered load distribution, the results will be presented in summary form, focusing on nodes 10 to 16 and members 21 to 27 (Figure 5), where we have extrema

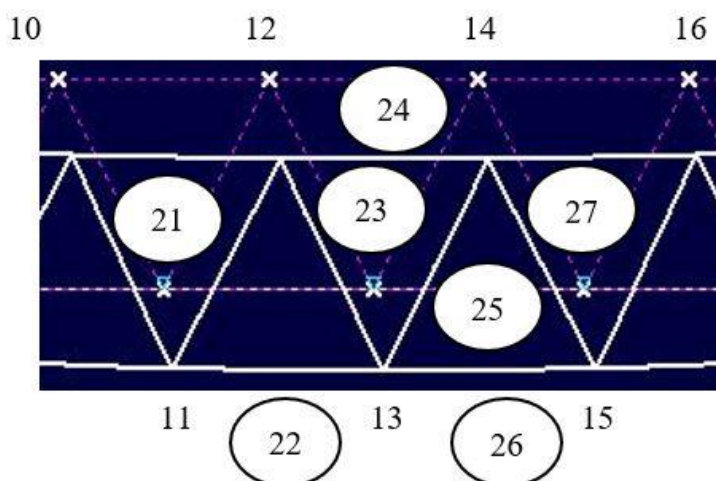


Fig. 6. Central part of the truss

Table 4 shows the displacements obtained at the nodes, with the extreme values in bold.

Table 4. Nodal Displacements Node Number

No. of nodes	2	10	11	12	13	14	15	16	25
U_x (mm)	0.0563	0.0386	0.0212	0.0317	0.0282	0.0246	0.0352	0.0177	0.0563
U_y (mm)	-0.0312	-0.2149	-0.2244	-0.23	-0.232	-0.23	-0.2244	-0.2149	0
U	0.0644	0.2183	0.2254	0.2322	0.2337	0.2313	0.2271	0.2156	0.0563

The maximum displacement along the X-axis is 0.0563 at nodes 2 and 25, the two non-fixed nodes at the ends of the truss. The maximum displacement along Y and the maximum displacement U are 0.232 mm and 0.2337 mm respectively at node 13, the central node of the truss. We obtain a mid-span deflection of $(\frac{0,232}{5040} \approx \frac{1}{21734})$, which is significantly lower than the practical values of $\frac{1}{500}$ [4].

We observe symmetry around node 13 for the U_y displacements. This is not the case for U_x displacements, given the fixed support at the left end (node 1) and the sliding support at the right end (node 25). The displacements remain much smaller compared to the bar lengths ($\frac{0,2337}{420} \times 100 \approx 0,06\%$).

Table 5 presents the parameters of the bars.

Table 5. Bar Parameters

Bar No.	21	22	23	24	25	26	27
1st Node	11	11	12	12	13	13	14
2nd Node	12	13	13	14	14	15	15
Elongations Δl (μm)	-0.246	6.994	0.246	-7.093	0.246	6.994	-0.246
Strains ϵ	-0.0052	0.1665	0.0052	-0.1689	0.0052	0.1665	-0.0052
Stresses σ (MPa)	-0.1049	3.3305	0.1049	-3.3774	0.1049	3.3305	-0.1049
Forces N (N)	-9.7828	310.6250	9.7828	-315	9.7828	310.6250	-9.7828

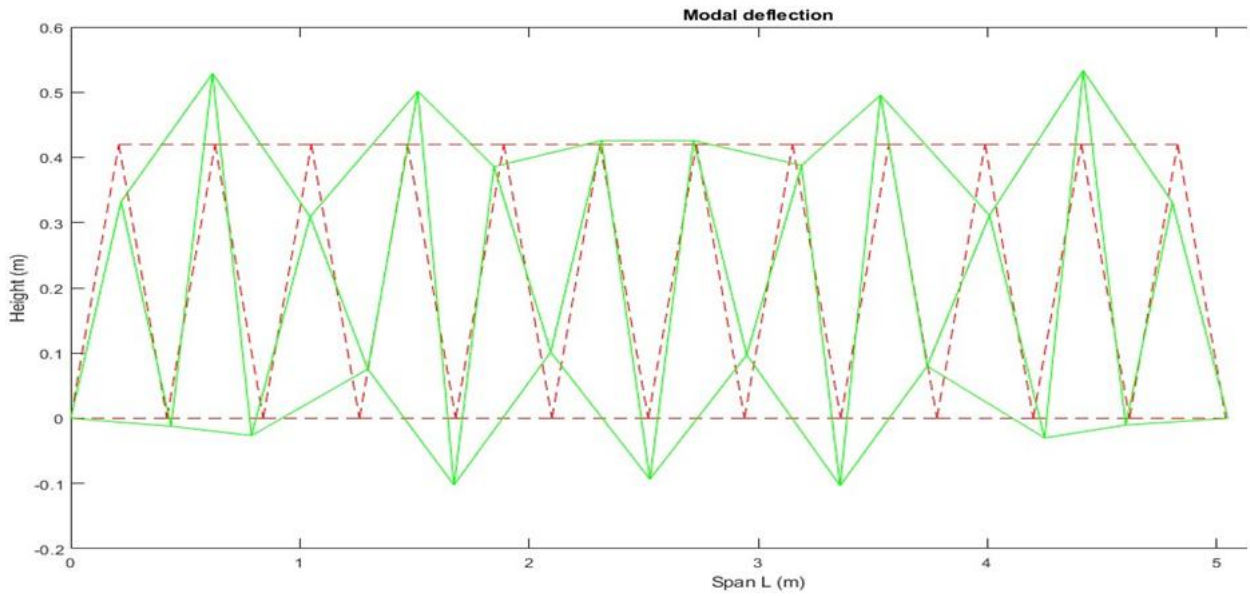
The maximum shrinkage is 7.093 μm with a minimum strain of -0.1689 and a normal stress of -3.3305 MPa for a normal force of -315 N. These values are observed on bar 24 (in compression), followed by bars 22 and 26 (in tension). However, they are considerably far from the elastic limit $Re = 220$ MPa [8].

We therefore observe very good performance of the trellis. This reinforces its use for agrivoltaic greenhouses with a number of photovoltaic panels. Solar radiation is abundant in our tropics, despite the effect of wind, which can be taken into account in terms of loads depending on the region.

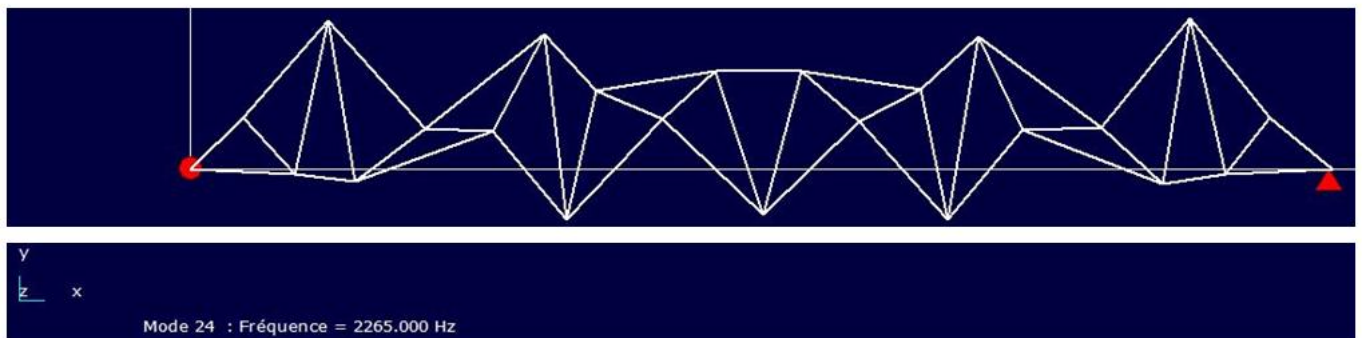
3.3 MODAL DEFLECTION

Furthermore, we can determine the deflection modes of our truss with this calculation code, with a few variations.

This allows us to determine natural frequencies that conform to those of RDM 7, for example: $W_1 = 266 \text{ rd.s}^{-1}$, $W_{12} = 7796 \text{ rd.s}^{-1}$, $W_{24} = 14232 \text{ rd.s}^{-1}$, $W_{36} = 18255 \text{ rd.s}^{-1}$ et $W_{47} = 24894 \text{ rd.s}^{-1}$. Figure 6 shows, for example, the modal shape of the angular frequency W_{24} , whose natural frequency is: $f_{24} = 2265 \text{ Hz}$.



a)



b)

Fig. 7. Modal deflection W24 a) with MatLab b) with RDM 7

Other modal deflections can also be determined.

4 CONCLUSION

We proposed developing a structural design calculation tool by conducting a study of a greenhouse truss.

The use of agrivoltaic greenhouses is practically nonexistent in our tropical regions despite abundant sunshine. Furthermore, the structures are apparently oversized, which is almost commonplace, albeit in varying proportions. This does not invalidate the local approach, which certainly takes into account contingent factors:

- availability of materials
- flexibility of production tools,
- limits in load estimation,
- etc.

Our study highlights a potential optimization of greenhouse truss reinforcement using small cross-section bars (93.27 mm²) and contributes to the development of tools tailored to our specific needs. It also provides an application of the finite element method for students, focusing on the analysis of deflections in trusses made of hinged bars.

REFERENCES

- [1] P. Jacquemot, De l'insécurité à la souveraineté alimentaire en Afrique, Willagri-UM6P, (hal-04314189), 2023.
- [2] K. P. Ouguehi, Y. Bamba, For sustainable economic growth in Côte d'Ivoire, between export agriculture and subsistence agriculture, what type of agriculture to prioritize ? An econometric analysis through the ARDL model - Revue Française d'Economie et de Gestion, - revuefreg.fr, 2025.
- [3] Kenneth A. Beckett, The royal horticultural society's encyclopedia of practical gardening: growing under glass, Londres, 1981.
- [4] P. Latteur, P. Samyn, P. D. Wilde, Etude du poids et de la raideur des treillis Warren, Pratt et Howe, Revue française de génie civil. Volume 4 – n° 4, pages 477 à 502, 2000.
- [5] Samir Hamza, Zitouni Azari, Nouredine Slimane, Conception, modélisation et simulation d'un fauteuil roulant adapté à l'Afrique, The International congress for applied mechanics, Marrakech, 2010.
- [6] A. Geramy, K. Tanne, M. Moradi, H. Golshahi, Y. F. Jalali, Finite element analysis of the convergence of the centers of resistance and rotation in extreme moment-to-force ratios, International Orthodontics, Volume 14, Issue 2, Pages 161-170, June 2016.
- [7] P. Ciarlet, E. Lunéville, La méthode des éléments finis, de la théorie à la pratique, Collection méthodes numériques, 2022.
- [8] Trésor Kanyiki, François Ntawbwe, Détermination de la déformée statique d'une structure en treillis par la méthode des éléments finis, Journal International de Technologie, de l'Innovation, de la Physique, de l'Energie et de l'Environnement, vol. 5, n°1, 2, 2019.
- [9] T. Kanyiki, J. P. Katond, F. Ntambwe, Analysis of the modal deformations of a truss by the finite element method, ISTE Ltd. London, UK – openscience.fr, 2017.
- [10] Matlab is a registered trademark of MathWorks.
- [11] RDM 7 is software developed by the University Institute of Technology (IUT) of Le Mans.
- [12] R. Carrausse, « À l'ombre des panneaux solaires, l'agrivoltaïsme. Retour sur une trajectoire sociotechnique de légitimation », *Développement durable et territoires*, Vol. 15, n°3 | Décembre 2024.
- [13] Serre Ivoire company, Available: <https://serreivoire.pro> (October 28, 2025).
- [14] P. Samyn, P. Latteur. Indicateurs de volume et de déplacement d'une structure isostatique: le cas de la traversée horizontale, chargée verticalement. In: Bulletin de la Classe des sciences, tome 11, n°7-12, pp. 293-311, 2000.
- [15] S.Krenk, J. Høgsberg, Truss Structures. In: Statics and Mechanics of Structures. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6113-1_2, 2013.

Séroprévalence des auto-anticorps associés aux hépatopathies auto-immunes chez les patients préalablement exposés au VHB et au VIH

[Seroprevalence of autoantibodies associated with autoimmune liver disease in patients previously exposed to HBV and HIV]

Bouheria Lamiaa¹, Lamghari Hassan², Drissi Bourhanbour Asma¹⁻³, and El Bakkouri Jalila¹⁻³

¹Laboratoire d'Immunologie, CHU Ibn Rochd, Faculté de Médecine et de Pharmacie, Université Hassan II, Casablanca, Morocco

²Faculté des Sciences Ain chock, Université Hassan II, Casablanca, Morocco

³Laboratoire d'Immunologie Clinique et d'Immuno-Allergie (LICIA), Université Hassan II, Faculté de médecine et de pharmacie, Casablanca, Morocco

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

ABSTRACT: Autoimmune liver diseases are chronic liver diseases caused by the attack of the immune system against liver cells. They result from a variety of factors, including environmental, genetic and infectious. This study aims to compare the seropositivity of autoantibodies associated with autoimmune hepatopathy between patients previously exposed to HBV, HIV and these two viruses simultaneously, with patients who have never been in contact with HBV and HIV. We conducted a retrospective case-control study at Ibn Rochd University Hospital in Casablanca, from June 2023 to February 2024, on 80 patients divided into three groups: a control group without exposure to HBV and HIV, and two groups of cases involving HBV-infected patients and HIV. We evaluated the seroprevalence of autoantibodies associated with autoimmune hepatopathy using the immunodot technique with the LI7 DIV-24 kit and the Blue Diver automaton. Hbs antigen and total Hbc antibodies were detected by automated immuno-chemiluminescence. We found a seroprevalence of autoantibodies associated with autoimmune liver disease of 4% in controls, 30% in HBV-infected patients and 28.60% in HIV-infected patients. Anti-M2/nPDC and anti-Gp210 antibodies were positive in both HBV and HIV groups, anti-SLA predominated in HBV-infected patients, while anti-F-actin antibodies were more frequent in HIV-infected patients ($P<0.02$). In conclusion, our study, in agreement with several bibliographic data, suggests an established association between HBV, HIV and HBV-HIV co-infection and autoimmune hepatopathy.

KEYWORDS: autoimmune hepatopathy, HBV, HIV, HBV-HIV co-infection, autoantibodies, seroprevalence.

RESUME: Les hépatopathies auto-immunes sont des maladies chroniques du foie résultant de l'attaque du système immunitaire contre les cellules hépatiques. Elles sont liées à divers facteurs, notamment environnementaux, génétiques et infectieux. Cette étude a pour objectif de comparer la séropositivité des auto-anticorps associés aux hépatopathies auto-immunes entre des patients préalablement exposés au virus de l'hépatite B (VHB), au virus de l'immunodéficience humaine (VIH) ou aux deux virus simultanément, et des patients n'ayant jamais été en contact avec le VHB ou le VIH. Nous avons mené une étude rétrospective cas-témoins au Centre Hospitalier Universitaire Ibn Rochd de Casablanca, entre juin 2023 et février 2024, portant sur 80 patients répartis en trois groupes: un groupe témoin sans exposition au VHB ni au VIH, et deux groupes de cas comprenant des patients infectés par le VHB ou par le VIH. La séroprévalence des auto-anticorps associés aux hépatopathies auto-immunes a été évaluée par la technique d'immuno-dot à l'aide du kit LI7 DIV-24 et de l'automate Blue Diver. L'antigène HBs et les anticorps anti-HBc totaux ont été détectés par immuno-chimiluminescence automatisée. Nous avons observé une séroprévalence de 4

% chez les témoins, de 30 % chez les patients infectés par le VHB et de 28,6 % chez les patients infectés par le VIH. Les anticorps anti-M2/nPDC et anti-Gp210 étaient positifs dans les groupes VHB et VIH. Les anticorps anti-SLA étaient plus fréquents chez les patients VHB, tandis que les anticorps anti-F-actin prédominaient chez les patients VIH ($P < 0,02$). En conclusion, notre étude, en accord avec plusieurs données de la littérature, suggère une association établie entre l'infection par le VHB, l'infection par le VIH, leur co-infection et la survenue d'hépatopathies auto-immunes.

MOTS-CLEFS: hépatopathies auto-immunes, VHB, VIH, co-infection VHB-VIH, auto-anticorps, séroprévalence.

1 INTRODUCTION

Les hépatopathies auto-immunes (HTAI) sont des affections inflammatoires chroniques du foie, dont la cause est le plus souvent inconnue. Ces maladies se distinguent par une variabilité anatomoclinique, immunologique et biologique, ce qui peut entraîner des défis tant au niveau du diagnostic que du traitement [1]. Elles sont représentées par les hépatites auto-immunes (HAI) avec une incidence annuelle entre 0,67 à 2,0 cas pour 100 000 habitants [2], la cholangite biliaire primitive (CBP) avec une incidence annuelle de 1 à 2 cas pour 100000 habitants [3], et la cholangite sclérosante primitive (CSP) avec une incidence annuelle estimée à 1 cas pour 100000 habitants [4]. Les HTAI résultent généralement de l'interaction entre des facteurs génétiques, des facteurs environnementaux et infectieux, en particulier les virus, les bactéries, les médicaments, et les xénobiotiques [3].

L'organisation mondiale de la santé (OMS) a estimé environ 18 millions cas des hépatites virales chroniques en 2021. Ces virus ciblent spécifiquement les hépatocytes [5] et peuvent évoluer vers la chronicité, la fibrose, la cirrhose ou l'hépatocarcinome altérant par conséquent la qualité de vie des sujets atteints [6]. Certains virus non hépatotropes pouvant entraîner des hépatites. Parmi ces virus, il y a le VIH. En effet une infection par le virus du VIH non ou mal traitée peut être compliquée par la perte progressive des lymphocytes T à l'origine de l'affaiblissement du système immunitaire, favorisant ainsi des maladies infectieuses, oncologiques, cardiovasculaires, rénales, osseuses et hépatiques [9]. Le Programme commun des Nations Unies sur le VIH/sida (ONUSIDA) a estimé 39 millions de personnes infectées par le VIH.

Les autoanticorps se forment lorsque le système immunitaire d'un individu devient dysfonctionnel, et attaque par conséquent ses propres cellules et tissus, déclenchant ainsi les maladies auto-immunes (MAI) [10], ces autoanticorps constituent des marqueurs immunologiques très utiles pour le diagnostic et parfois pour le pronostic des HTAI, justifiant leur utilisation en pratique clinique [1].

L'objectif de notre étude est de comparer la séroprévalence des auto-anticorps associés aux hépatopathies auto-immunes entre les patients ayant préalablement été exposés au VHB, et au VIH, avec des patients n'ayant jamais été en contact avec le VHB et le VIH, afin de prouver une association entre l'infection par le VHB et le VIH et la genèse des hépatopathies auto-immunes.

2 PATIENTS ET MÉTHODES

2.1 PATIENTS ET TÉMOINS

Nous avons mené une étude cas-témoins sur des patients ayant déjà subi des sérologies VIH et VHB, chez lesquels, une recherche des auto-anticorps associés aux hépatopathies auto-immunes a été réalisée, au sein du laboratoire d'immunologie au CHU Ibn Rochd Casablanca, pendant une période de huit mois s'étalant du premier juin 2023 au premier février 2024. Dans cette étude, nous avons inclus tous les patients infectés par le VIH ou le VHB, ainsi que ceux n'ayant jamais été en contact avec ces virus. Nous avons exclu tous les patients porteurs d'autres infections virales en coexistence avec le VHB et le VIH.

2.2 RECHERCHE DES AUTO-ANTICORPS ASSOCIÉS AUX HÉPATOPATHIES AUTO-IMMUNES:

La recherche des auto-anticorps a été réalisée par la technique d'immunodot à l'aide du kit LI7DIV-24 et avec l'automate BlueDiver. Ce kit permet l'identification des anticorps dirigés contre les antigènes suivants: Antigène Mitochondrial M2 / Complexe de la Pyruvate Déshydrogénase (M2/nPDC); Glycoprotéine 210 (gp210); Antigène Nucléaire Sp100 (sp100); Antigène Microsomal Hépatique et Rénal de type 1 (LKM1); Antigène Cytosolique Hépatique de type 1 (LC1); Antigène Soluble Hépatique (SLA); Actine Filamenteuse (F-actin).

2.3 ETUDE STATISTIQUE

Nous avons divisé les sujets de l'étude en trois groupes dont la distribution de l'âge et du sexe est similaire. Le premier groupe est un groupe témoin comportant des patients négatifs pour Ag Hbs, Ac Hbct et Ac Hbs et n'ayant, de ce fait, jamais été exposés au VHB et au VIH. Le deuxième groupe est un groupe de cas, il rassemble des patients possédant des Ac Hbct positifs, quel que soit le résultat des AgHbs, prouvant ainsi une exposition préalable au VHB relative soit à une infection ancienne résolutive (AgHbs négatifs), soit à une infection en cours (AgHbs positifs). Le troisième groupe comporte des patients possédant des Ac anti-VIH et les Ag du VIH positifs. Nous avons par la suite déterminé la séroprévalence des auto-anticorps des hépatopathies auto-immunes dans chaque groupe.

2.4 ANALYSE STATISTIQUE

Nous avons employé le test du Khi deux (χ^2) pour comparer les variables catégoriques de la séroprévalence des auto-anticorps hépatiques entre les cas et les témoins. Nous avons, par la suite, utilisé la valeur du Khi deux de Pearson calculée pour chacune des variables, pour déterminer la valeur signification asymptotique bilatérale (Valeur P). Les valeurs P bilatérales inférieurs au seuil α , défini sur 0,05, ont été considérés comme statistiquement significatives.

3 RESULTATS

3.1 DISTRIBUTION DE L'ÂGE ET DU SEXE CHEZ LES SUJETS ÉTUDIÉS

Nous avons recruté 80 patients dont 27 VHB positifs, 28 VIH positifs et 25 témoins. Dans notre étude les participants étudiés étaient caractérisés par une prédominance masculine, avec une moyenne d'âge de 45 ans.

3.2 SÉROPRÉVALENCE DES AUTO-ANTICORPS ASSOCIÉS AUX HTAI

Sur 25 personnes témoins (groupe 1), une personne possédait des auto-anticorps associés aux hépatopathies auto-immunes, ce qui correspond à une séroprévalence de 4%. Sur 27 patients VHB positifs (groupe 2), 8 possédaient des auto-anticorps associés aux hépatopathies auto-immunes, ce qui correspond à une séroprévalence de 30%. Sur 28 patients VIH positifs (groupe 3), 8 possédaient des auto-anticorps associés aux hépatopathies auto-immunes, ce qui correspond à une séroprévalence de 28.60%. (Figure 1).

Selon le test de Khi deux de Pearson, les différences entre les séroprévalences des auto anticorps associés aux hépatopathies auto-immunes dans les groupes VIH et VHB par rapport au groupe des témoins sont statistiquement significatives au niveau de signification de 5% (Groupe VIH vs groupe des témoins: p-value = 0.0264 / Groupe VHB vs groupe des témoins: p-value = 0.0249). Cela signifie qu'il existe une différence significative entre les groupes VIH et VHB par rapport aux témoins en ce qui concerne la séroprévalence des auto-anticorps.

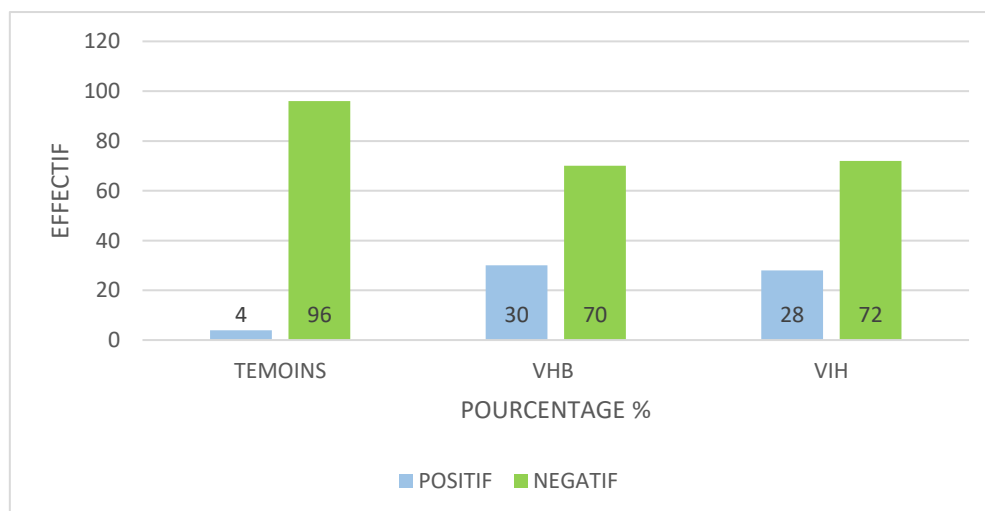


Fig. 1. Séroprévalence des auto-anticorps associés aux hépatopathies auto-immunes dans les trois groupes

3.3 RÉPARTITION DES AUTO-ANTICORPS ASSOCIÉS AUX HTAI CHEZ LES QUATRE GROUPES:

Nos résultats montrent une prédominance des anticorps anti-M2/nPDC (50%) et antiGP210 (12,5%) chez le groupe des patients infectés par le VHB (groupe 2), et par le VIH (groupe 3) (Figure 2). Les anti-SLA étaient présents chez les patients infectés par le VHB (12,5%), tandis que les anticorps anti-F-actin étaient plus fréquents chez les patients infectés par le VIH (37,5%). La séroprévalence élevée de ces AAC chez les groupes de cas par rapport aux témoins suggère une implication probable du VHB, du VIH dans la production des auto-anticorps associés aux HTAI.

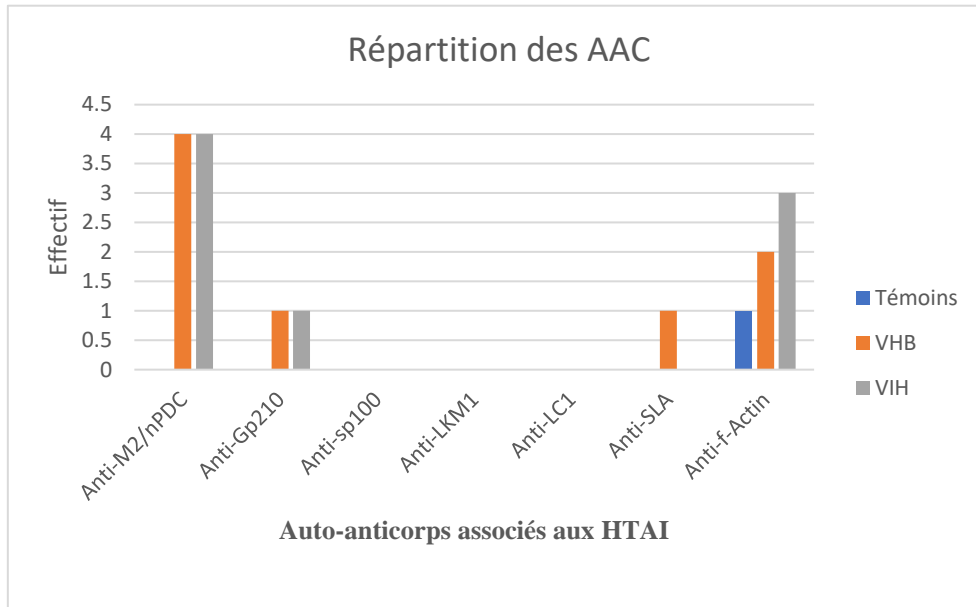


Fig. 2. Répartition des auto-anticorps associés aux hépatopathies auto-immunes chez les quatre groupes

4 DISCUSSION

La séroprévalence élevée des auto-anticorps associés aux hépatopathies auto-immunes, chez le groupe des patients ayant déjà été exposé préalablement au VHB et au VIH suggère une implication probable du VHB et du VIH dans la production des auto-anticorps associés aux hépatopathies auto-immunes. L'infection par le VHB et le VIH peut, par conséquent, jouer un rôle déclencheur dans une grande variété d'hépatopathies auto-immunes.

Le rôle déclencheur du VHB, suggéré dans notre travail, dans la genèse des hépatopathies auto-immunes est soutenu par les résultats de plusieurs études rapportés dans la littérature, qui vont dans le même sens. Ainsi Li et al (2015) rapportent une séroprévalence élevée, de l'ordre de 58,2%, des auto-anticorps associés aux HAI et CBP chez les patients atteints de l'hépatite chronique B [16], cette séroprévalence était significativement plus élevée que celle mesurée chez les sujets sains de l'étude, qui était de seulement 6,7%. En effet, Khatana et al (2023) ont décrit le cas d'une femme de 61 ans présentant une fatigue excessive pendant un an. Les analyses ont révélé des marqueurs positifs d'HAI et d'hépatite B chronique [17]. De plus, Lakkasani et al (2022) ont rapporté le cas d'un homme africain de 62 ans atteint de l'hépatite B chronique diagnostiqué avec une HAI [18]. Enfin, dans une étude sur l'infection occulte par le virus de l'hépatite B (OBI) chez des patients chinois atteints d'hépatite auto-immune (HAI), Chen et al (2019) ont retrouvé une infection occulte par le virus de l'hépatite B dans les sérums de 24 patients parmi 103 atteints de l'hépatite auto-immune, ce qui correspond à une séroprévalence de 23,30% [19].

L'implication du VIH, suggéré dans notre étude, dans la production des auto-anticorps associés aux hépatopathies auto-immunes est concordante avec les résultats des études qui ont été basés sur la présence des auto-anticorps associés aux hépatopathies auto-immunes chez les patients préalablement exposés au VIH. Notamment, Iordache et al (2014) rapportent une association entre l'infection par le VIH et le déclenchement des hépatopathies auto-immunes chez certains patients. Parmi les 52 patients infectés par le VIH, cinq ont manifesté ce type de maladies [20]. Parallèlement, Viroit et al (2017) ont mené une étude sur les patients infectés par le VIH pris en charge dans les services des maladies infectieuses en France de 2003 à 2013. Les résultats ont révélé que sur les 5186 patients suivis pour le VIH, 36 présentaient des maladies auto-immunes (MAI). Parmi ces patients, un seul a été diagnostiqué avec une hépatite auto-immune (HAI) [21]. De même, Mubder et al (2019) ont rapporté les résultats de l'analyse de 15 études dans une étude systématique, qui impliquent 35 patients atteints du VIH et de l'HAI [22].

Conjointement avec cela, Laurenda et al (2023) présentent trois patients âgés de 47 à 63 ans atteints de l’HAI dans le contexte des personnes vivants avec le VIH [23].

En se basant sur ces résultats, nous pouvons conclure que l’infection par le VHB ou le VIH peut jouer le rôle d’un facteur déclencheur de la production des auto-anticorps associés aux hépatopathies auto-immunes, et par conséquent le déclenchement d’une grande variété d’hépatopathies auto-immunes. Ces découvertes, soutenues par les études précédentes, offrent aux cliniciens de nouvelles stratégies de dépistage régulières pour les auto-anticorps chez les patients infectés par le VIH, le VHB et les coinfectés VHB-VIH dans le but de détecter précocement les hépatopathies auto-immunes et adapter une prise en charge appropriée.

5 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

De nombreux facteurs environnementaux, génétiques, et infectieux, en particulier les virus, peuvent être impliqués dans la genèse des maladies auto-immunes du foie.

Nos résultats ont montré une séroprévalence élevée des auto-anticorps associés aux hépatopathies auto-immunes chez les patients infectés par rapport aux témoins, et cela affirme, en corrélation avec diverses données bibliographiques, que l’infection par le VHB et le VIH peut jouer le rôle d’un facteur déclencheur de la production des auto-anticorps associés aux hépatopathies auto-immunes, et par conséquent le déclenchement d’une grande variété d’hépatopathies auto-immunes. En tenant compte de ces considérations, des études supplémentaires avec un échantillonnage plus important, sont nécessaires pour confirmer et étendre nos conclusions, pour clarifier le rôle réel de l’infection par le VHB et le VIH dans l’induction de l’auto-immunité hépatique cliniquement significative, et pour identifier d’autres troubles auto-immuns dans lesquels l’infection par le VHB et le VIH pourrait éventuellement être impliquée dans la pathogenèse.

REFERENCES

- [1] Brahim, Imane, et al. « Hépatites auto-immunes : diagnostic immunologique ». *La Presse Médicale*, vol. 46, n° 11, novembre 2017, p. 1008-19.
DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.lpm.2017.08.012>.
- [2] Sucher, Elisabeth, et al. « Autoimmune Hepatitis—Immunologically Triggered Liver Pathogenesis—Diagnostic and Therapeutic Strategies ». *Journal of Immunology Research*, vol. 2019, novembre 2019, p. 1-19.
DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1155/2019/9437043>.
- [3] Villani, Rosanna, et al. « Autoimmune Liver Disease and Multiple Sclerosis: State of the Art and Future Perspectives ». *Clinical and Experimental Medicine*, vol. 23, n° 7, juillet 2023, p. 3321-38.
DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1007/s10238-023-01128-8>.
- [4] Singh, Siddharth, et Jayant A. Talwalkar. « Primary Sclerosing Cholangitis: Diagnosis, Prognosis, and Management ». *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, vol. 11, n° 8, août 2013, p. 898-907.
DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.cgh.2013.02.016>.
- [5] Herrscher, Charline, et al. « Hepatitis B Virus Entry into Cells ». *Cells*, vol. 9, n° 6, juin 2020, p. 1486.
DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.3390/cells9061486>.
- [6] Malbos, Damien. « Un diagnostic d’infection par le virus de l’hépatite B ». *Actualités Pharmaceutiques*, vol. 59, n° 601, décembre 2020, p. 27-28. *DOI.org (Crossref)*, <https://doi.org/10.1016/j.actpha.2020.10.008>.
- [7] ONUSIDA. (2023). Fiche d’information 2023 Statistiques mondiales sur le VIH Personnes vivant avec le VIH Personnes vivant avec le VIH ayant accès à un traitement anti rétroviral Nouvelles infections au VIH Décès liés au sida Populations clés Femmes et filles. 6, 1–3.
- [8] Bekker, Linda-Gail, et al. « HIV Infection ». *Nature Reviews Disease Primers*, vol. 9, n° 1, août 2023, p. 42.
DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1038/s41572-023-00452-3>.
- [9] Deeks, Steven G., et al. « HIV Infection ». *Nature Reviews Disease Primers*, vol. 1, n° 1, octobre 2015, p. 15035.
DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1038/nrdp.2015.35>.
- [10] Chauhan, R., et al. « The incidence of immunofluorescence patterns and specific autoantibodies observed in autoimmune patients in a tertiary care centre ». *European Annals of Allergy and Clinical Immunology*, vol. 51, n° 04, avril 2019, p. 165.
DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.23822/EurAnnACI.1764-1489.93>.
- [11] Hepatitis B Virus Resources for Health Professionals | CDC [Internet]. 2021 [cité 6 janv 2022].
Disponible sur: <https://www.cdc.gov/hepatitis/hbv/profresourcesb.htm>.
- [12] Training Modules on Hepatitis B and C Screening, Diagnosis and Treatment [Internet]. [cité 6 janv 2022].

- Disponible sur: <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789290227472>.
- [13] Zulfiqar, Hafiza Fizzah, et al. « HIV Diagnosis and Treatment through Advanced Technologies ». *Frontiers in Public Health*, vol. 5, mars 2017, p. 32.
DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00032>.
- [14] Goecke, Nicole B., et al. « Subtyping of Swine Influenza Viruses Using a High-Throughput Real-Time PCR Platform ». *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, vol. 8, mai 2018, p. 165.
DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.3389/fcimb.2018.00165>.
- [15] Testing, H. I. V, Continuum, C., Testing, H. I. V, & States, U. (2018). *HIV Diagnostic Testing*. 1–57.
<https://cdn.hiv.uw.edu/pdf/screening-diagnosis/diagnostic-testing/core-concept/all>.
- [16] Li, Bo-An. « Autoantibodies in Chinese Patients with Chronic Hepatitis B: Prevalence and Clinical Associations ». *World Journal of Gastroenterology*, vol. 21, n° 1, 2015, p. 283.
DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.3748/wjg.v21.i1.283>.
- [17] Khatana, G., Philip, G. R., Sebastian, S., & Joseph, D. (2023). *A Unique Conundrum : Unraveling Autoimmune Hepatitis in a Chronic Hepatitis B Patient*. 22 (8), 13–16.
<https://doi.org/10.9790/0853-2208041316>.
- [18] Lakkasani, S., Michaels, S., Sai, G., Jagirdhar, K., & Michael, S. (2022). MAR Publications. A Rare Case of Liver Failure from Autoimmune Hepatitis in a Patient with Chronic Hepatitis B Virus Infection.
- [19] Chen, Xin-xin, et al. « Occult HBV Infection in Patients with Autoimmune Hepatitis: A Virological and Clinical Study ». *Journal of Microbiology, Immunology and Infection*, vol. 53, n° 6, décembre 2020, p. 946-54.
DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.jmii.2019.04.009>.
- [20] Iordache, Laura, et al. « Autoimmune Diseases in HIV-Infected Patients: 52 Cases and Literature Review ». *Autoimmunity Reviews*, vol. 13, n° 8, août 2014, p. 850-57.
DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1016/j.autrev.2014.04.005>.
- [21] Viro, Emilie, et al. « Autoimmune Diseases and HIV Infection: A Cross-Sectional Study ». *Medicine*, vol. 96, n° 4, janvier 2017, p. e5769.
DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000005769>.
- [22] Mubder, Mohamad, et al. « Autoimmune Hepatitis in Patients with Human Immunodeficiency Virus Infection: A Systematic Review of the Published Literature ». *Medicine*, vol. 98, n° 37, septembre 2019, p. e17094.
DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000017094>.
- [23] Laurenda, Obeng, et al. « Autoimmune Hepatitis in People Living with HIV: A Case Series and Review of Literature ». *The Open AIDS Journal*, vol. 17, n° 1, août 2023, p. e187461362307310.
DOI.org (Crossref), <https://doi.org/10.2174/18746136-v17-230825-2023-15>.

Perceptions paysannes et adoptabilité agroécologique de deux cultures fourragères au Niger: Cas du *Pennisetum purpureum* et du *Dolichos lablab*

[Farmer Perceptions and Agroecological Adoptability of Two Forage Crops in Niger: The Case of *Pennisetum purpureum* and *Dolichos lablab*]

Soumaila Koure Abdoul Aziz¹, Djibo Idrissa Sidikou², Mamman Mani³, and Adamou Akourki⁴

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

²Maître de Conférences, Département Sciences et Techniques d'Élevage, Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement, Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, Niger

³Chercheur, Département des Productions animales, INRAN Niamey, Niger

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

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

ABSTRACT: This study analyzes farmer perceptions and the agroecological adoptability of two forage crops (*Pennisetum purpureum* and *Dolichos lablab*) within Sahelian agro-pastoral systems in Niger. A survey was conducted among 304 producers across 11 villages in three departments (Dakoro, Madarounfa, Konni), using structured questionnaires, field observations, and statistical analysis. *Dolichos lablab* is widely known (70.8%) and primarily used for hay production, while *Pennisetum purpureum* remains marginally adopted (29.8%) despite its agronomic potential. Preferences vary by soil type, with *Pennisetum purpureum* favored on sandy soils and *Dolichos lablab* on clay soils. Major constraints include limited access to quality seeds and insufficient technical support. The complementary integration of these species, supported by participatory approaches and appropriate public policies, offers a strategic pathway to enhance agroecological sustainability and animal food security in Niger.

KEYWORDS: food security, climate adaptation, forage crops, agroecological sustainability, farmer adoptability.

RESUME: Cette étude vise à analyser les perceptions paysannes et l'adoptabilité de deux cultures fourragères (*Pennisetum purpureum* et *Dolichos lablab*) dans les systèmes agro-pastoraux sahéliens du Niger.

Une enquête a été menée auprès de 304 producteurs dans 11 villages répartis sur trois départements (Dakoro, Madarounfa, Konni), combinant questionnaires structurés, observations de terrain et analyse statistique. *Dolichos lablab* est largement connu (70,8 %) et utilisé pour la production de foin, tandis que *Pennisetum purpureum* reste marginalement adopté (29,8 %), malgré son potentiel agronomique. Les préférences varient selon les types de sols. Les contraintes majeures sont le manque de semences de qualité et l'insuffisance d'accompagnement technique. L'intégration complémentaire de ces deux espèces, soutenue par des approches participatives et des politiques publiques adaptées, constitue un levier stratégique pour renforcer la durabilité agroécologique et la sécurité alimentaire animale au Niger.

MOTS-CLEFS: sécurité alimentaire, adaptation climatique, cultures fourragères, durabilité agroécologique, adoptabilité paysanne.

1 INTRODUCTION

La sécurité alimentaire et l'adaptation aux changements climatiques constituent des grands enjeux pour les systèmes agro-pastoraux des régions sahéennes. En particulier au Niger, les aléas climatiques fréquents, combinés à la dégradation continue des ressources naturelles, exercent une pression significative sur les moyens de subsistance des populations rurales (Moussa et al., 2022; Zakari et al., 2022). Face à ces défis, l'intégration de cultures fourragères telles que *Pennisetum purpureum* et *Dolichos lablab* apparaît comme une stratégie essentielle pour pallier le déficit fourrager, améliorer la productivité animale et renforcer la durabilité des systèmes agricoles.

Ces deux espèces fourragères offrent des avantages spécifiques adaptés aux zones sahéennes. *Dolichos lablab*, légumineuse fourragère largement connue, est particulièrement appréciée pour sa teneur élevée en protéines et sa capacité à améliorer la fertilité des sols grâce à la fixation d'azote (RECA Niger, 2022). Il est déjà intégré dans certains systèmes agricoles intensifs et semi-extensifs du Niger. En revanche, *Pennisetum purpureum*, plante à forte production de biomasse et résiliente à la sécheresse, demeure largement sous-utilisée, en partie à cause d'un manque d'information et de sensibilisation auprès des producteurs (Gemechu et al., 2020). Ces différences d'adoption soulèvent des interrogations sur les perceptions des producteurs agricoles et leur rôle dans la diffusion de ces cultures.

Le Projet de Recherche-Développement pour la Sécurité Alimentaire et l'Adaptation aux Changements Climatiques (RED/SAACC-Niger), mis en œuvre depuis 2016, s'inscrit dans cette dynamique de promotion agroécologique. Ce projet, coordonné par l'Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN) et CARE International au Niger, en collaboration avec NORAGRIC de la Norwegian University of Life Sciences, a pour objectif d'accroître la résilience de 40 000 exploitations agricoles familiales fragiles et de renforcer la sécurité alimentaire des populations rurales (Mossi, 2018). En sa deuxième phase, il vise à développer et améliorer les ressources alimentaires pour les petits ruminants, notamment par l'intégration des cultures fourragères (*Pennisetum purpureum* et *Dolichos lablab*).

C'est dans ce cadre que s'inscrit la présente recherche, qui analyse les perceptions paysannes concernant ces deux cultures fourragères et explore leur adoptabilité dans le contexte sahéen. Basée sur une enquête de perception menée auprès de 304 producteurs agricoles dans les départements de Dakoro, Madarounfa et Konni, cette étude vise à identifier les contraintes et opportunités liées à leur adoption. Elle ambitionne également de formuler des recommandations pour une meilleure intégration des cultures dans les systèmes agro-pastoraux locaux, contribuant ainsi à la durabilité des pratiques agricoles et à l'amélioration de la sécurité alimentaire animale.

En enrichissant la compréhension de l'interaction entre pratiques agroécologiques et perceptions des producteurs, cette recherche aspire à offrir des solutions adaptées aux réalités sahéennes tout en consolidant les bases d'une agriculture résiliente dans un contexte marqué par des défis socio-économiques et climatiques (Banque mondiale, 2022).

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 ZONE D'ÉTUDE ET CONTEXTE

L'enquête a été réalisée dans trois départements au Niger, à savoir **Dakoro**, **Madarounfa** et **Konni**, situés dans les régions de Maradi et Tahoua. Ces zones sont caractéristiques des systèmes agro-pastoraux sahéens et présentent une diversité de contextes écologiques et socio-économiques. Elles sont particulièrement vulnérables aux aléas climatiques et à la dégradation des sols, ce qui justifie l'intérêt pour les cultures fourragères comme *Pennisetum purpureum* et *Dolichos lablab*. Ces départements abritent principalement des exploitations agricoles familiales pratiquant l'agriculture pluviale et l'élevage extensif.

2.2 POPULATION CIBLE

L'enquête s'est concentrée sur les **producteurs et productrices agricoles** des villages ciblés, incluant des agro-éleveurs représentatifs des réalités locales. Ces enquêtés, au nombre total de **304**, ont été répartis dans **11 villages**:

- **Dakoro**: Na Allah (46 enquêtés), Bargass (9 enquêtés), Kornaka (18 enquêtés).
- **Madarounfa**: Kodaraoua (55 enquêtés), Adaraoua (26 enquêtés), Djirataoua (8 enquêtés).
- **Konni**: Kadé-Badé (34 enquêtés), Guidan-Rana (27 enquêtés), Kaku (18 enquêtés), Tounga-Makoki (33 enquêtés), Tsernaoua (30 enquêtés).

Cette répartition a permis de capturer une diversité de perceptions en fonction des conditions agro climatiques, des pratiques agricoles et des ressources locales.

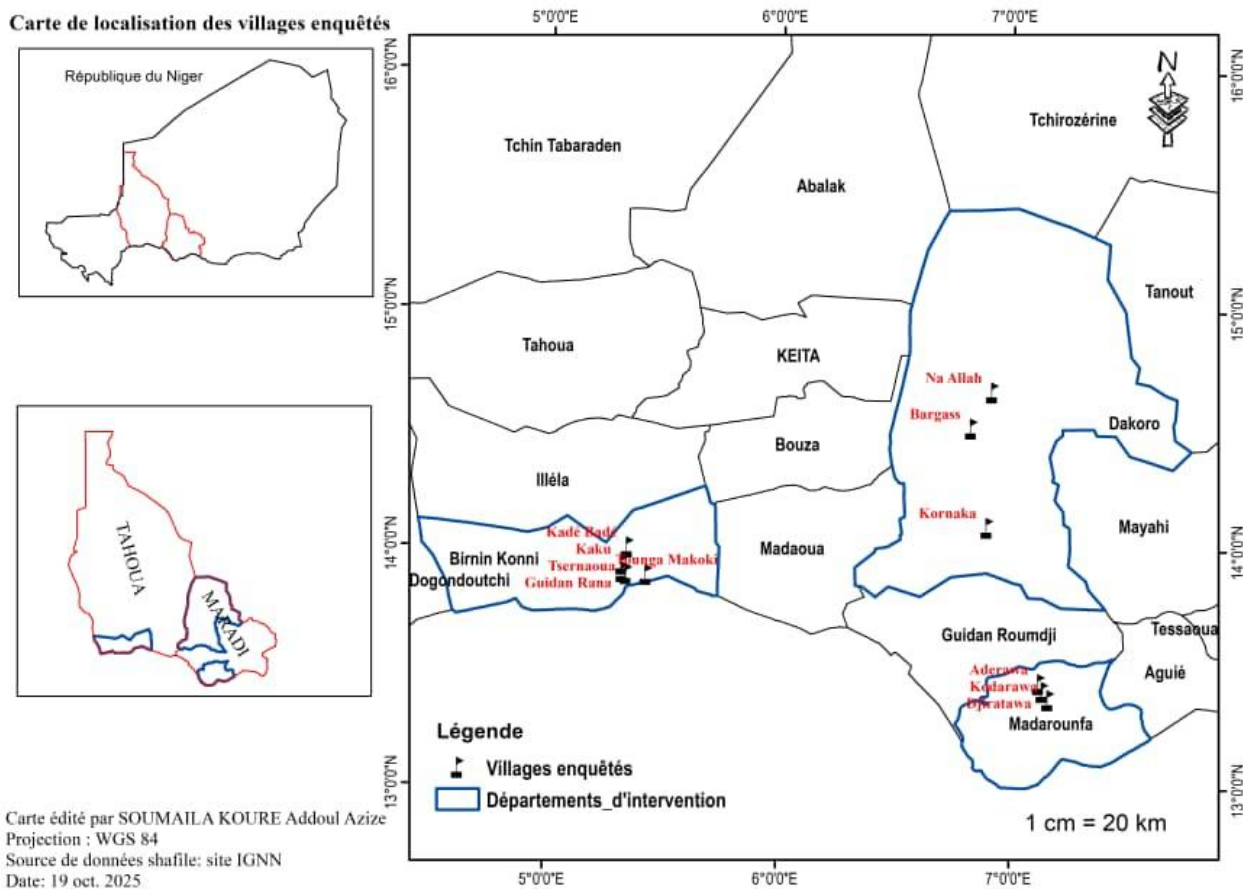


Fig. 1. Cartographie des villages cibles d'enquête

2.3 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

2.3.1 PRÉPARATION ET CONCEPTION DE L'OUTIL D'ENQUÊTE

o Un questionnaire structuré a été élaboré pour collecter des informations spécifiques sur:

- Les connaissances générales par rapport aux cultures fourragères (*Pennisetum purpureum* et *Dolichos lablab*);
- La production fourragère actuelle et les pratiques associées;
- Les contraintes de production rencontrées par les producteurs.
- Les techniques de traitement du fourrage, telles que l'ensilage et les blocs multinutritionnels.
- Les aspects techniques et financiers liés aux deux cultures étudiées.

2.3.2 FORMATION DES ENQUÊTEURS

- Une formation préalable a été organisée pour une équipe composée de **cinq enquêteurs** et un superviseur, afin d'assurer la compréhension des objectifs et la maîtrise de l'outil.
- Une **simulation** de collecte a été réalisée dans un village hors échantillon pour tester les questionnaires.

2.3.3 TECHNIQUES D'ÉCHANTILLONNAGE

- Un échantillonnage stratifié a été utilisé pour sélectionner les villages et enquêtés afin de refléter les caractéristiques variées des départements étudiés.
- Les enquêtés ont été choisis parmi les exploitants agricoles actifs, tenant compte de leur rôle dans la production fourragère et leur intérêt pour les nouvelles cultures.

2.3.4 COLLECTE DES DONNÉES

- Les données ont été collectées sur le terrain entre le **10 et le 19 janvier 2025**.
- Chaque enquêteur a interrogé les producteurs de manière individuelle, en utilisant le questionnaire. Le processus a été supervisé par le doctorant responsable pour garantir la rigueur et la qualité des données.



Photo 1. Equipe d'enquête entrain d'expliquer le but de la mission et de chercher le consentement des producteurs.



Photo 2. Un enquêteur entrain de questionner une productrice d'un groupement à Na'Allah Azagor/Maradi-Niger, dans une exploitation des cultures fourragères.

2.3.5 ANALYSE DES DONNÉES

Les données collectées ont été organisées et nettoyées avant d'être analysées à l'aide d'outils statistiques. Les méthodes suivantes ont été utilisées:

- **Analyse descriptive** pour évaluer les connaissances et pratiques des producteurs sur les cultures fourragères.
- **Comparaison inter-villages** pour mettre en évidence les différences de perception en fonction des localités.
- **Identification des contraintes majeures** à l'adoption du *Pennisetum purpureum* et du *Dolichos lablab*.

2.3.6 VALIDITÉ ET FIABILITÉ

Pour garantir la qualité des données:

- Une supervision étroite des enquêteurs a été effectuée par le superviseur sur le terrain.
- La triangulation des informations a été appliquée en recoupant les réponses des producteurs avec des observations directes dans les champs et granges.

3 RÉSULTATS

3.1 NIVEAU DE CONNAISSANCE DES PRODUCTEURS SUR LES CULTURES FOURRAGÈRES

L'analyse révèle une disparité dans les connaissances des producteurs sur les cultures fourragères. *Pennisetum purpureum* est peu connu (29,8 %), avec des niveaux faibles à Dakoro (9,8 %) et Madarounfa (6,9 %), alors que *Dolichos lablab* est largement reconnu (70,8 %), notamment à Konni (41,3 %), Tableau (1).

Tableau 1. Connaissances de *P. purpureum* et *D. lablab*

	P.purpureum (p-Value =0,052)		D. lablab (p-Value =0,000)		
	Non	Oui	Non	Oui	
Département	Dakoro	14,4%	9,8%	20,3%	3,9%
	Konni	33,4%	13,1%	5,2%	41,3%
	Madarounfa	22,3%	6,9%	3,6%	25,6%
Total		70,2%	29,8%	29,2%	70,8%

3.2 TYPES DE SOLS ET CULTURES FOURRAGÈRES PAR ZONE SELON LES PAYSANS

Le graphique ci-dessous illustre la répartition des cultures fourragères selon les paysans et par type de sols dans les zones de Dakoro, Konni et Madarounfa. À Dakoro, *Pennisetum purpureum* est largement associé aux sols sableux (32,97 %), notamment grâce au projet PIRSa ayant favorisé son adoption sur le site pilote de Na'Allah. En revanche, *Dolichos lablab* y montre une faible adaptation perçue. À Konni, *Pennisetum purpureum* est préféré sur les sols argilo-sableux (39,35 %), alors que *Dolichos lablab* y est marginalement adopté. À Madarounfa, *Dolichos lablab* est mieux représenté sur les sols argilo-sableux (12,50 %) et argileux (10,19 %) sur les berges de goulbi, tandis que *Pennisetum purpureum* affiche une répartition équilibrée mais faible, témoignant de la faible connaissance de l'espèce fourragère.

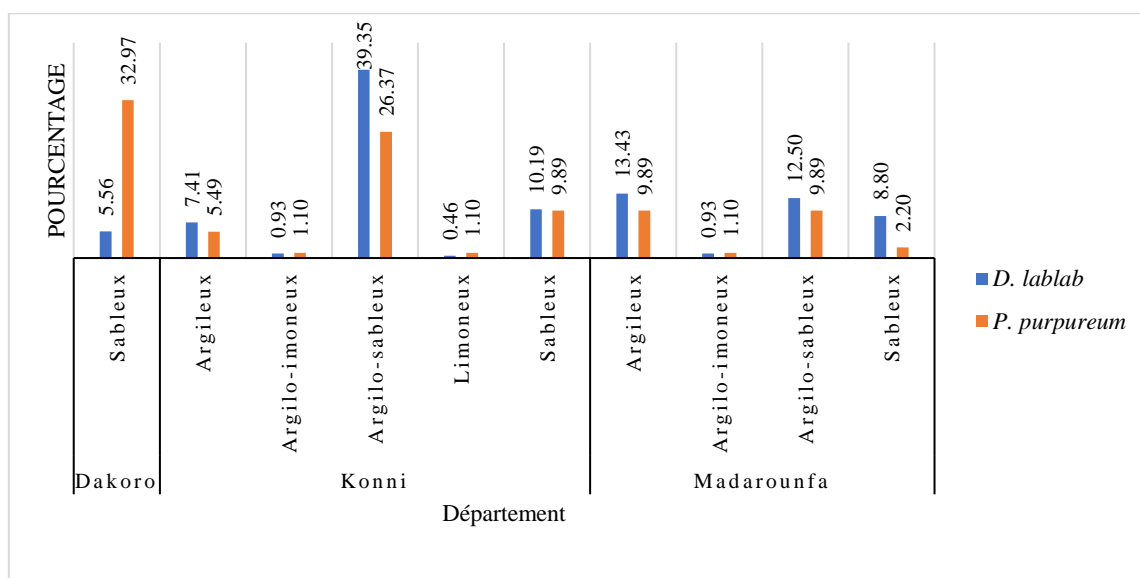


Fig. 2. Perception des paysans sur les types de sols et cultures fourragères selon les zones

3.3 ADOPTION ET USAGES DU DOLICHOS LABLAB

Dolichos lablab est majoritairement utilisé pour le foin (59,6 %), suivi de l'association foin et pâturage (34,3 %), tandis que l'usage exclusif pour le pâturage reste marginal (6,1 %). En revanche, le *Pennisetum purpureum* est peu exploité. Ces données sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 2. Répartition des usages de *Pennisetum purpureum* et *Dolichos lablab* selon les départements

Département		<i>P. purpureum</i>		<i>D. lablab</i> (p-Value = 0,000)	
		Foin	Foin et Pâturage	Foin	Pâturage
Département	Dakoro	71,4%	0%	17,8%	0%
	Konni	21,4%	23,0%	31,0%	1,9%
	Madarounfa	7,1%	11,3%	10,8%	4,2%
Total		100,0%	34,3%	59,6%	6,1%

3.4 CONTRAINTES LIÉES À L'ADOPTION DES CULTURES FOURRAGÈRES

Les contraintes à l'adoption du *Pennisetum purpureum* et du *Dolichos lablab* varient selon les départements. L'insuffisance d'accompagnement technique et financier (63 %) prédomine, suivie des problèmes d'eau et de ressources financières (9,5 %) et du manque de semences de qualité (23,1 %). Ces proportions sont illustrées dans le graphique ci-dessous.

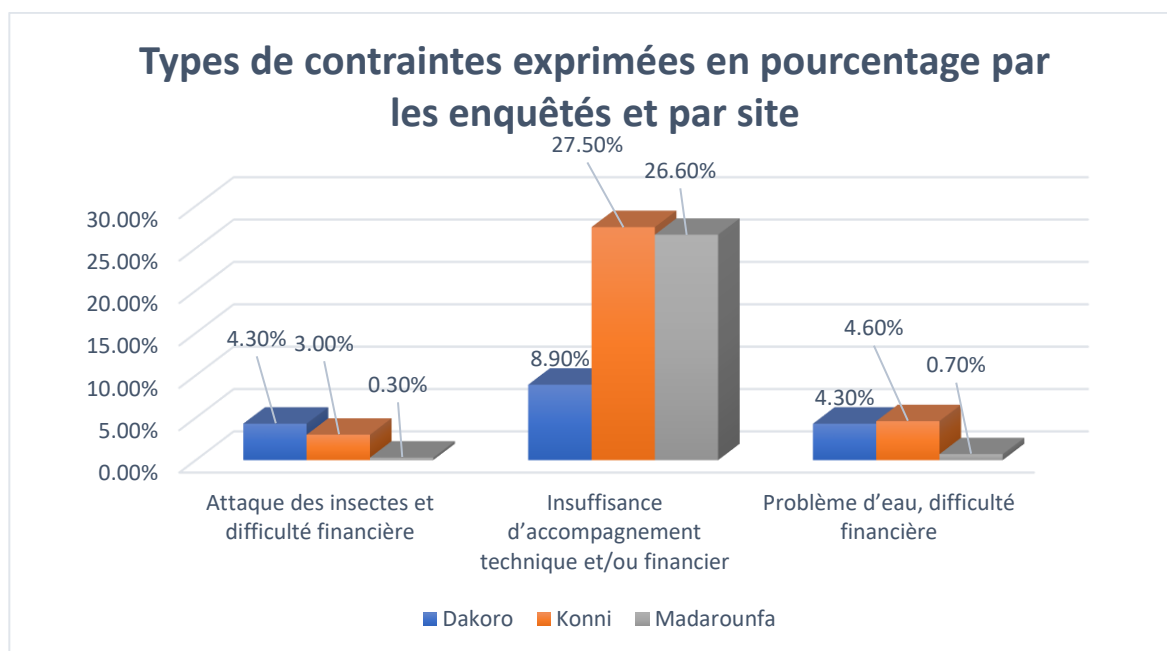


Fig. 3. Contraintes exprimées en pourcentage par les enquêtés et par site

3.5 PERSPECTIVES ET ATTENTES DES PRODUCTEURS

Les attentes des producteurs se concentrent sur la disponibilité des fourrages (75,8 %) et l'accès aux semences (5,3 %), avec des variations selon les sites étudiés. Ces proportions sont illustrées dans le graphique suivant, mettant en évidence les priorités exprimées par les enquêtés :

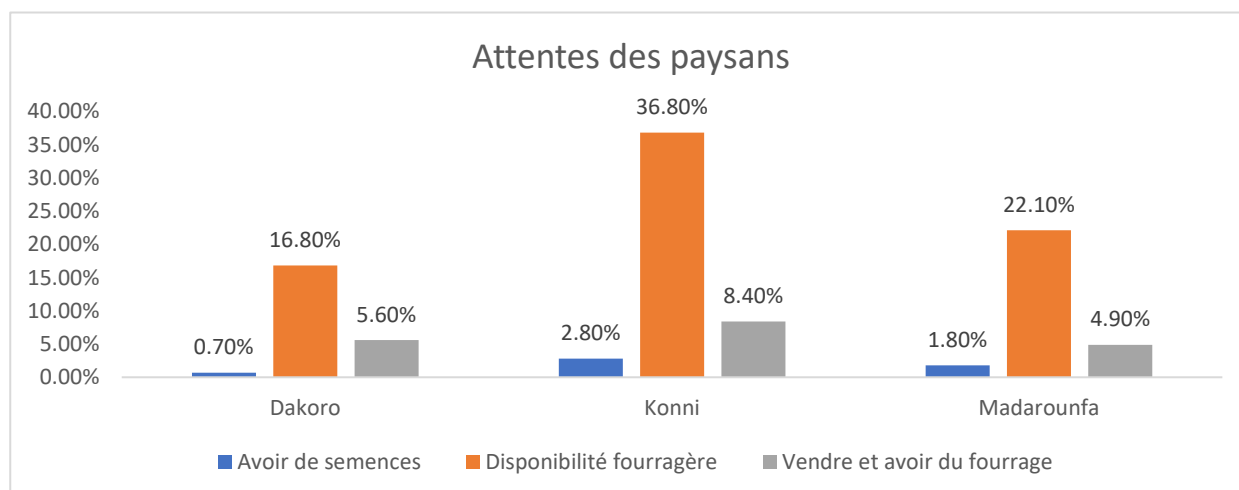


Fig. 4. Attentes des paysans en termes de la promotion des cultures fourragères

4 DISCUSSION

Dolichos lablab et *Pennisetum purpureum* présentent des caractéristiques distinctes influençant leur adoption dans les systèmes agro-pastoraux sahéliens. *Dolichos lablab*, une légumineuse, est reconnue pour ses qualités nutritives élevées, notamment sa teneur en protéines et sa capacité à améliorer la fertilité des sols grâce à la fixation d'azote (Salissou et al., 2018). En revanche, *Pennisetum purpureum*, une graminée, se distingue par sa forte production de biomasse et sa résistance à la sécheresse. Cependant, l'adoption de cette dernière reste limitée en raison de contraintes techniques et financières (FAO, 2015; Gemechu et al., 2020).

Une étude récente a démontré que l'ensilage combiné de ces deux espèces améliore la digestibilité et la croissance des petits ruminants, soulignant leur complémentarité dans les systèmes de production animale (Gemechu et al., 2020).

Les paysans associent souvent *Pennisetum purpureum* aux sols sableux et argilo-sableux, ce qui reflète une perception de cette culture comme résistante ou adaptable à des sols moins fertiles. En revanche, *Dolichos lablab* est mieux accepté dans les sols argileux, notamment dans des zones comme Madarounfa.

Ces perceptions ne relèvent pas uniquement de représentations symboliques: elles orientent directement les choix de culture, les investissements en semences, et les pratiques de gestion du fourrage.

Dolichos lablab (doliqne d'Égypte) est de plus en plus intégré dans les systèmes agro-pastoraux sahéliens en raison de ses nombreux avantages agronomiques et zootechniques. Il présente une bonne adaptabilité aux sols variés, y compris les sols pauvres ou dégradés, et conserve des rendements appréciables même en conditions climatiques difficiles (Beckett, 2004; RECA Niger, 2022). Sa capacité à fixer l'azote atmosphérique, à améliorer la structure du sol et à fournir un fourrage riche en protéines le rend particulièrement attractif pour les producteurs locaux. De plus, son excellente appétibilité pour les petits ruminants et sa valorisation en foin ou en pâturage renforcent son rôle dans la résilience des systèmes de production sahéliens. En effet, le doliqne est fortement apprécié pour sa valeur nutritive, sa capacité à améliorer l'embonpoint des animaux, et sa contribution à la réduction des déficits fourragers dans les zones à faible pluviométrie (Pasternak, 2013; RECA Niger, 2022). Son usage comme engrais vert témoigne de son potentiel multifonctionnel dans les systèmes agroécologiques (Tera, A. & Nouhou, D. B., 2024). Ces avantages expliquent pourquoi 70,8 % des producteurs interrogés déclarent la connaître et l'utiliser principalement pour la production de foin.

Malgré ses avantages, *Pennisetum purpureum* rencontre plusieurs obstacles freinant son adoption. Les producteurs citent le manque de semences ou bouture de qualité, son besoin apparent en sols riches et son exigence à la disponibilité en eau. De plus, le faible niveau de connaissance des producteurs (29,8 %) à propos de cette culture fourragère reflète un manque de sensibilisation et de formation technique (JICA Niger, 2024).

Un rapport récent met également en évidence la nécessité d'un accompagnement technique accru pour maximiser le potentiel de cette graminée dans les systèmes agro-pastoraux (RECA Niger, 2024).

PERSPECTIVES D'AMÉLIORATION

Pour surmonter les défis liés à l'adoption du *Pennisetum purpureum* dans les systèmes agro-pastoraux sahéliens, plusieurs leviers d'action complémentaires peuvent être mobilisés:

APPROCHES PARTICIPATIVES

Les démonstrations agricoles constituent un outil puissant pour favoriser l'appropriation des innovations techniques. Selon RECA Niger, les parcelles de démonstration permettent aux producteurs de visualiser concrètement les bénéfices d'une nouvelle pratique, facilitant ainsi son adoption collective (Fert, 2020).

RENFORCEMENT DES FORMATIONS

Le programme ProSol de la GIZ met en œuvre des formations ciblées pour les petits producteurs, axées sur la gestion durable des sols et les techniques agroécologiques. Ces formations renforcent les capacités locales et favorisent la diffusion des cultures fourragères adaptées aux zones arides (GIZ, 2023).

POLITIQUES PUBLIQUES FAVORABLES

Le Programme Agroécologie en Afrique de l'Ouest, soutenu par la FAO, souligne l'importance d'un cadre politique propice à la transition agroécologique. Il recommande notamment de renforcer l'accès au foncier, de soutenir les produits agroécologiques et d'impliquer les jeunes et les femmes dans les processus décisionnels (FAO, 2012).

Ces recommandations s'inscrivent dans les orientations des programmes nationaux et rejoignent les objectifs de la Stratégie Nationale de Résilience Climatique, qui promeut l'agroécologie comme levier d'adaptation.

5 CONCLUSION

Cette étude met en lumière une asymétrie significative dans l'adoption des cultures fourragères au sein des systèmes agropastoraux sahéliens. *Dolichos lablab*, légumineuse polyvalente, bénéficie d'une reconnaissance étendue auprès des producteurs (70,8 %), en raison de ses qualités nutritives, de sa facilité de culture et de son rôle dans la régénération des sols. Son intégration dans les pratiques locales, notamment pour la production de foin, témoigne d'une appropriation réussie, soutenue par des connaissances empiriques et des usages adaptés aux contraintes climatiques.

À l'inverse, *Pennisetum purpureum*, malgré son potentiel agronomique élevée, forte biomasse, résilience à la sécheresse, valorisation en pâturage reste marginalement adopté (29,8 %). Cette faible intégration s'explique par un déficit de sensibilisation, un accès limité aux semences ou boutures de qualité, et des contraintes techniques et financières persistantes. Les données recueillies dans les départements de Dakoro, Madarounfa et Konni révèlent également une méconnaissance de cette graminée, souvent perçue comme exigeante en eau ou réservée à des sols spécifiques.

Ces disparités d'adoption ne traduisent pas seulement des préférences agronomiques, mais reflètent des dynamiques de diffusion inégales, des écarts d'accompagnement technique et des perceptions paysannes fortement influencées par les expériences locales. Elles soulignent l'urgence de renforcer les dispositifs de formation, de vulgarisation participative et de soutien institutionnel pour favoriser une complémentarité agroécologique entre ces deux espèces.

En définitive, l'adoption différenciée de *Dolichos lablab* et de *Pennisetum purpureum* reflète des dynamiques locales complexes, où les perceptions paysannes, les contraintes techniques et les politiques d'appui doivent être articulées pour favoriser une transition agroécologique inclusive.

En définitive, l'intégration stratégique du *Dolichos lablab* et du *Pennisetum purpureum*, fondée sur une meilleure connaissance des sols, des usages et des contraintes paysannes, pourrait constituer un levier puissant pour améliorer la sécurité alimentaire animale, renforcer la résilience des exploitations familiales et consolider les bases d'une agriculture sahélienne durable et inclusive.

REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leur profonde gratitude au Projet REDSAACC II pour son appui scientifique, logistique et financier, notamment à travers l'octroi d'une bourse d'étude ayant permis la réalisation de cette recherche doctorale. Nous remercions particulièrement l'Institut National de la Recherche Agronomique du Niger (INRAN) pour son accompagnement scientifique constant, ainsi que CARE Niger, structure coordinatrice du projet, pour son appui opérationnel et institutionnel. Nous saluons également l'engagement des enquêteurs de terrain, dont la rigueur et le dévouement ont été essentiels à la qualité des données collectées. Enfin, nous adressons nos sincères remerciements aux producteurs et productrices des départements de Dakoro, Madarounfa et Konni, qui ont généreusement consacré leur temps, partagé leurs savoirs, et accordé leur consentement éclairé pour participer à cette étude. Leur contribution constitue le socle de cette recherche et reflète la richesse des connaissances paysannes dans la construction de solutions agroécologiques adaptées aux réalités sahéliennes.

REFERENCES

- [1] Banque mondiale. (2022, 15 mai). Répondre à la crise alimentaire dans le Sahel en s'attaquant aux situations d'urgence et aux déficiences structurelles du système alimentaire ouest-africain. <https://www.banquemondiale.org/fr/results/2022/05/15/afw-responding-to-the-food-crisis-in-the-sahel>.
- [2] Beckett, C. (2004, janvier 20). *Dolichos lablab: A legume that feeds people, animals and the soil*. ECHOcommunity. <https://www.echocommunity.org/resources/c82a56e2-82a2-4ac1-9873-c4bff04e1480>.
- [3] FAO. (2012). *Good agricultural practices for conservation agriculture in dryland conditions of sub-Saharan Africa*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/024e17be-9fad-4556-be94-a8e2f229023d/content>.
- [4] FAO. (2015). Filières d'approvisionnement en aliments de bétail en Afrique de l'Ouest. <https://reca-niger.org/spip.php?article560>.
- [5] Fert. (2020). *Fiche méthode: Comment conduire une expérimentation (Fiche technique No. V1)*. <https://www.fert.fr/v2/wp-content/uploads/2020/12/prod-demo-fiche-methode-2020.pdf>
- [6] Gemechu, T., Girma, M., & Eshetu, M. (2020). Effect of Elephant grass (*Pennisetum purpureum*) ensiled with different proportions of *Dolichos lablab* (*Lablab purpureus*) on intake, digestibility and growth performance of Horro sheep. *Nigerian Journal of Animal Science and Technology*, 3 (4), 1–19. <https://www.academia.edu/86433859>.

- [7] GIZ. (2023, juillet). *Protéger et restaurer les sols – pour l'alimentation et la protection du climat*. <https://www.giz.de/en/projects/protéger-et-restaurer-les-sols-pour-l'alimentation-et-la-protection-du-climat>.
- [8] JICA Niger. (2024). *Projet d'Amélioration du Système de Vulgarisation Agricole au Niger (PASVA)*. https://www.jica.go.jp/french/overseas/niger/office/others/_icsFiles/afieldfile/2024/05/14/PASVA_1.pdf
- [9] Mossi, R. H. (2018, septembre 10). *RED/SAACC – Research and Development Project for Food Security and Climate Change Adaptation of Production Systems in Niger*. CARE Climate Change. https://careclimatechange.org/wp-content/uploads/2019/03/REDSAACC_En.pdf
- [10] Moussa, B. M. C., Mohamadou, T. B., Halima, O. D., & Abdourahmane, B. (2022). Risques climatiques et sécurité alimentaire et nutritionnelle au Niger: Cartographie des impacts et des besoins de résilience. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, 22 (1). <https://doi.org/10.4000/vertigo.35040>.
- [11] Pasternak, D. (2013). *Le dolique d'Égypte (Lablab purpureus): Une nouvelle culture de base pour les régions soudano-sahéliennes*. ECHOcommunity. https://assets.echocommunity.org/publication_issue/de847bb4-9a24-4783-9061-9f124ef8f261/fr/tn-73-le-dolique-d-egypte-lablab-purpureus.pdf
- [12] RECA Niger. (2022). *Culture fourragère de dolique (Dolichos lablab)*. <https://reca-niger.org/spip.php?article1799>.
- [13] RECA Niger. (2024). *Sélection thématique n° 24: Cultures fourragères irriguées*. https://reca-niger.org/IMG/pdf/selection_duddal_24_cultures_fourrageres_irriguees.pdf
- [14] Salissou, I., Lawali, S., & Idrissa, S. (2018). *Fiche technique sur la culture fourragère du dolique*. RECA Niger. https://reca-niger.org/IMG/pdf/ft_dolique_inran_pmrsa.pdf
- [15] Tera, A., & Nouhou, D. B. (2024). Gestion des cultures fourragères sous contrainte hydrique: Cas du Sahel nigérien. *Bulletin Agropastoral du RECA*, 19 (1), 12–21. <https://reca-niger.org/spip.php?article1957>.
- [16] Zakari, S., Ibro, G., Moussa, B., & Abdoulaye, T. (2022). Adaptation strategies to climate change and impacts on household income and food security: Evidence from Sahelian region of Niger. *Sustainability*, 14 (5), 2847. <https://doi.org/10.3390/su14052847>.

Composition chimique, activités antioxydante et antibactérienne de l'huile essentielle d'*Hyptis spicigera* Lam. du NIGER

[Chemical Composition, Antioxidant activity and Antibacterial activity of Essential oil of *Hyptis spicigera* Lam. grown in NIGER]

Bala Namata Abba^{1,2}, Amadou Tidjani Ilagouma², Mouhamadou Mounkaila Boureima³, and Abderrahmane Romane⁴

¹Ecole Nationale d'Ingénierie et des Sciences d'Energie, Université d'Agadez, B.P 199 Agadez, Niger

²Laboratoire des Substances Naturelles et Synthèse Organique, Faculté des Sciences et Techniques, Université Abdou Moumouni, B.P. 10662 Niamey, Niger

³Laboratoire de Biotechnologie et Amélioration des Plantes, Institut des Radio-Isotopes, Université Abdou Moumouni, B.P. 10662 Niamey, Niger

⁴Laboratoire de Chimie Appliquée et Biomasse, Faculté des Sciences Semlalia Marrakech, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Morocco

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

ABSTRACT: This study focuses on the analysis of the chemical composition and the evaluation of the antioxidant and antibacterial activities of the essential oil of *Hyptis spicigera* from Niger.

Hyptis spicigera is a plant that belongs to the Lamiaceae family. Analysis of the chemical composition of this plant's essential oil by using gas chromatography coupled with mass spectrometry allowed to the identification of 39 compounds with (E)- β -caryophyllene (38.04%) as the major constituent. The antioxidant activity of the oil essential was evaluated by using the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl free radical scavenging method and expressed as IC_{50} , and the iron reduction method and expressed as EC_{50} . An IC_{50} value of 4.56 mg/mL and an EC_{50} value of 2.51 mg/mL were obtained. The antibacterial activity was studied using the disc diffusion method and the microdilution method on Gram-positive and Gram-negative bacteria. The essential oil showed good antibacterial activity on the bacterial strains tested, with an inhibition zone diameter of 35 ± 1.5 mm and a minimum inhibitory concentration (MIC) of 0.03 mg/mL for the *Enterococcus faecium* H3434 strain, and an inhibition zone diameter of 20 ± 1 mm and a minimum inhibitory concentration (MIC) of 0.5 mg/mL for the methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* P1123 strain.

KEYWORDS: *Hyptis spicigera*, essential oil, chemical composition, biological activity, NIGER.

RESUME: Le présent travail porte sur l'analyse de la composition chimique et l'évaluation des activités antioxydante et antibactérienne de l'huile essentielle de la plante *Hyptis spicigera* du Niger. *Hyptis spicigera* est une plante de la famille des Lamiacées. L'analyse de la composition chimique de l'huile essentielle de cette plante réalisée par chromatographie gazeuse couplée à la spectrométrie de masse a permis d'identifier 39 composés dont le constituant majoritaire est le (E)- β -caryophyllène (38,04%). L'activité antioxydante de l'huile a été évaluée par la méthode du piégeage du radical libre de 2,2 diphényl-1-picrylhydrazyl puis exprimée en IC_{50} et par la méthode de réduction du fer et exprimée en EC_{50} . On a obtenu une valeur de IC_{50} de 4,56 mg/mL et une valeur de EC_{50} de 2,51 mg/mL. L'étude de l'activité antibactérienne a été réalisée par la méthode de diffusion de disques et la méthode de micro-dilution sur des bactéries à Gram positif et à Gram négatif. L'huile essentielle avait démontré une bonne activité antibactérienne sur les souches bactériennes testées, avec un diamètre de la zone d'inhibition de $35 \pm 1,5$ mm et une concentration minimale inhibitrice (CMI) égale à 0,03 mg/mL pour la souche *Enterococcus faecium* H3434, et un diamètre de la zone d'inhibition de 20 ± 1 mm et une concentration minimale inhibitrice (CMI) de 0,5 mg/mL pour la souche *staphylococcus aureus* résistant à la méticilline P1123.

MOTS-CLEFS: *Hyptis spicigera*, huile essentielle, composition chimique, activité biologique, NIGER.

1 INTRODUCTION

Hyptis spicigera est l'une des cinq espèces du genre *Hyptis* fréquemment rencontrées en Afrique occidentale et tropicale, en Amérique et en Asie [1]. C'est une plante de la famille des lamiacées ayant une forte odeur aromatique. *H. spicigera* est une plante utilisée en médecine traditionnelle pour traiter diverses affections. En médecine traditionnelle sénégalaise, le décocté de la plante est utilisé comme revigorant et la poudre des parties aériennes est employée comme médicament antimigraineux, tandis que la plante entière est consommée en boisson théiforme, comme eupnéique, béchique excitant et fluidifiant des sécrétions bronchiques [2]. La plante entière, est utilisée comme désinfectant funéraire et la cendre des feuilles et des fleurs est employée en frictions contre la gale. Les inflorescences fraîches de cette plante sont utilisées pour traiter les céphalées et le coryza par introduction dans les narines [3]. *H. spicigera* est utilisée au Brésil pour lutter contre la fièvre, l'inflammation et les troubles gastriques [4]. Dans le nord du Nigéria, les populations l'utilisent dans la fabrication des savons, des parfums et de diverses lotions. Le décocté de la plante est pris sous forme de bain contre les maladies de la peau [5]. Au Mexique elle est utilisée dans la médecine traditionnelle pour traiter les troubles gastro-intestinaux, les infections de la peau, ainsi que les plaies et les piqûres d'insectes [6]. *H. spicigera*, est utilisée traditionnellement dans plusieurs pays Africains par les paysans pour protéger les graines contre les infestations des insectes ou pour la protection des récoltes contre les termites [7]. La plante entière est fortement odorante, dans certaines régions d'Afrique elle est brûlée dans les chambres pour éloigner les moustiques [8]. *H. spicigera* est une herbacée communément utilisée par certaines populations africaines aussi bien dans le traitement de certaines maladies (maux de tête, sinusite) que dans la conservation des denrées alimentaires et leur cuisson [9]. Au Niger cette plante est utilisée en médecine traditionnelle dans le traitement des maux de ventre, pour calmer l'hypertension, pour les rites et son décocté est utilisé comme revigorant et fortifiant nourrisson [10].

Ainsi dans le cadre de la valorisation des plantes aromatiques et médicinales du Niger, nous avons choisi dans ce travail d'étudier la composition chimique et d'évaluer les activités antioxydante et antibactérienne de l'huile essentielle de la plante *Hyptis spicigera* récoltée au Niger.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Les parties aériennes de la plante *Hyptis spicigera* ont été récoltées à Lido dans le sud du Niger (Altitude: 238 m, Latitude (N) 12°53.078', Longitude (E) 003°44.923'). Les échantillons de la plante ont été débarrassés de tous éléments étrangers, séchés à l'ombre et à température ambiante à l'abri de la lumière et de l'humidité. Après séchage, les échantillons ont été placés dans des sacs et soigneusement stockés dans un endroit sec jusqu'à leurs futures utilisations. La plante a été authentifiée par un botaniste du Département de biologie de la faculté des sciences et techniques de l'Université Abdou Moumouni de Niamey au Niger. Elle a reçu le numéro (voucher number) de référence de NA/04.

2.2 EXTRACTION DE L'HUILE ESSENTIELLE

L'huile essentielle (HE) de la plante a été extraite par la méthode d'hydrodistillation en utilisant un appareil de type Clevenger [11]. Le dispositif d'extraction est constitué d'un chauffe ballon, un réfrigérant à boule, un ballon en verre pyrex et d'un appareil Clevenger. 100g de matériel végétal sec ont été introduits dans un ballon de 2L, additionnés d'eau distillée (1500 mL). Après avoir mis en marche la réfrigération, le contenu du ballon est porté à l'ébullition à l'aide d'un chauffe ballon pendant 4 heures. À l'ébullition, le mélange azéotropique de vapeurs d'eau et d'huile essentielle est condensé au niveau du réfrigérant et l'huile essentielle est séparée de l'eau par différence de densité (dans le Clevenger). À la fin de la distillation, l'huile essentielle est récupérée par une micropipette dans de petits flacons sombres. Ensuite, l'huile obtenue est conservée à une température de 4°C jusqu'à son utilisation. L'huile essentielle a été pesée afin de calculer le rendement d'extraction par rapport à la masse initial de matériel végétal utilisé.

2.3 ANALYSE DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DE L'HUILE ESSENTIELLE

L'analyse de la composition chimique de l'huile essentielle (HE) par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC/MS) a été réalisée en utilisant un chromatographe de type QP2010SE (SHIMADZU CORPORATION, Columbia-USA) équipé de deux colonnes, une Zebron ZB-5ms 5% Phényl-Arylène, 95% Diméthylpolysiloxane (20 m x 0,18 mm x 0,18 µm) et une Zebron ZB-WAX (20 m x 0,18 mm x 0,18 µm) couplée à un détecteur de masse (quadripôle). La température initiale du four a été maintenue à 50 °C pendant 3 minutes puis augmentée jusqu'à 280 °C à une vitesse de 2 °C/min. La température finale est maintenue pendant 30 minutes. L'échantillon a été injecté en utilisant un injecteur de type split/splitless

automate 150 positions, et le volume injecté était de 1 µL. L'hélium était utilisé comme gaz vecteur (1 mL/min). Les molécules sont bombardées par un faisceau électronique de 70 eV par ionisation en mode impact électronique (EI). Les données ont été collectées sur une plage de masse de 20 à 500, avec une vitesse de scan de 50 scans/s et une vitesse d'acquisition de 10 000 uma/s. Les constituants de l'huile ont été identifiés en comparant leurs indices de rétention (RI) déterminés en utilisant une série homologue de n-alcanes et les spectres de masse obtenus avec ceux stockés dans la base de données de spectres de masse NIST08.LIB du système d'analyse GC-MS et les données de la littérature [12]. Les concentrations des constituants chimiques ont été calculées sur la base des surfaces de leurs pics GC sans utiliser de facteurs de correction.

2.4 ÉVALUATION DE L'ACTIVITÉ ANTIOXYDANTE

L'activité antioxydante de l'huile essentielle a été évaluée par la méthode du piégeage du radical de DPPH[•] (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) et le test du pouvoir réducteur de l'ion ferrique (FRAP).

2.4.1 MÉTHODE DU PIÉGEAGE DU RADICAL LIBRE DPPH[•]

L'activité antioxydante de l'huile essentielle a été évaluée par la méthode du DPPH[•] rapporté par [13], avec quelques modifications. À différentes concentrations, 1 mL de l'huile essentielle est ajouté à 2 mL d'une solution méthanolique de DPPH[•] (0,02 g dans 100 mL méthanol), le mélange est incubé à l'obscurité pendant 30 minutes à température ambiante. L'absorbance des solutions est mesurée à 517 nm à l'aide d'un spectrophotomètre de type Uviling 9400 (SECOMAM) contre un blanc (1 mL de méthanol + 2 mL de la solution du DPPH[•]). L'acide ascorbique a été utilisé comme control positif.

Le pourcentage d'inhibition des radicaux libres est calculé selon la formule suivante:

$$I\% = \frac{(A_0 - A_1)}{A_0} \times 100$$

Avec A₀ absorbance du blanc et A₁ absorbance de l'échantillon testé.

Les résultats sont exprimés en CI₅₀ ou concentration inhibitrice de 50 %, qui correspond à la concentration de l'échantillon testé nécessaire pour réduire de 50 % la concentration initiale de DPPH[•] [14]. Les CI₅₀ sont calculées à partir des équations des graphes tracés, pourcentages d'inhibition en fonction de différentes concentrations des échantillons testés.

2.4.2 TEST DU POUVOIR RÉDUCTEUR DE L'ION FERRIQUE (FRAP)

Le protocole expérimental utilisé est celui rapporté par [15]. 1 mL de l'échantillon à différentes concentrations est mélangé avec 2,5 mL d'une solution tampon phosphate à 0,2 M (pH= 6,6) et 2,5 mL d'une solution de ferricyanure de potassium [K₃Fe(CN)₆] à 1 %. Le mélange est incubé à 50°C pendant 30 min dans un bain marie, puis refroidi à la température ambiante. 2,5 mL d'acide trichloracétique à 10 % sont ajoutés pour stopper la réaction, puis les tubes sont centrifugés à 3000 tours pendant 10 minutes. Après centrifugation 2,5 mL du surnageant sont ajoutés à 2,5 mL d'eau distillée et 0,5 mL d'une solution de chlorure de fer (FeCl₃·6H₂O) à 0,1 %. La lecture des absorbances est faite contre un blanc à 700 nm à l'aide d'un spectrophotomètre de type Uviling 9400 (SECOMAM).

Les résultats de l'activité antioxydante sont exprimée en CE₅₀, qui correspond à la concentration effective donnant une absorbance de 0,5 [16]. Les valeurs de CE₅₀ ont été calculées à partir des équations des tracés des absorbances obtenues à 700 nm en fonction des différentes concentrations utilisées pour chaque échantillon. L'acide ascorbique a été utilisé comme contrôle positif.

2.5 ÉVALUATION DE L'ACTIVITÉ ANTIBACTÉRIENNE

2.5.1 LES SOUCHES BACTÉRIENNES TESTÉES

Les souches cliniques et les souches de références (ATCC: American Type Culture Collection Center, Manassas, VA, USA) utilisées dans cette étude proviennent de la collection de culture du Laboratoire de Virologie et Microbiologie du Centre Hospitalier Universitaire Mohammed VI de Marrakech. Ces souches bactériennes ont été choisies sur la base de leur caractère pathogénique, leur disponibilité au laboratoire et leur résistance aux antibiotiques. Elles sont composées de bactéries à Gram-négatif: *Acinetobacter baumannii* multi-résistant P1483, *Salmonella* spp. H1548, *Escherichia coli* BLSE-Bu8566, *Enterobacter cloacae* Bu147, *Proteus mirabilis* Bu190, *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853), *Klebsiella pneumoniae* (ATCC 700603),

Escherichia coli (ATCC 25922) et de bactéries à Gram-positif: *Enterococcus faecium* H3434, *Staphylococcus aureus* résistant à la méticilline P1123 et *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923).

L'activité antibactérienne de l'huile essentielle a été évaluée par la méthode de diffusion des disques et par la méthode de micro-dilution en milieu liquide.

2.5.2 MÉTHODE DE DIFFUSION DES DISQUES

L'activité antibactériennes de l'huile essentielle a été évaluée par la méthode de diffusion de disques rapporté par [17]. Afin d'obtenir des colonies bactériennes en croissance exponentielle et bien isolées, les bactéries à tester sontensemencées sur des boîtes de Pétri contenant le milieu gélosé de Mueller-Hinton puis incubés à 37°C pendant 24 heures dans l'étuve. Après 24h d'incubation, les jeunes colonies bactériennes sont prélevées à l'aide d'une anse, puis émulsionnées dans un tube contenant 4,5 mL d'eau physiologique stérile NaCl 0,9 %, le tube est agité à l'aide d'un vortex et la densité de l'inoculum est ajusté à 0,5 Mc Farland (10^8 UFC/mL) grâce à un DENSIMAT (spectrophotomètre de type BD PhoenixSpec). Cette suspension bactérienne estensemencée sur les boîtes de Pétri et à l'aide d'une pince stérile, des disques du papier Wattman N°1 (diamètre de 6 mm) sont déposés délicatement sur la surface de la boîte gélosée de Mueller-Hinton. Ensuite, Les disques sont imprégnés avec 10 µL d'huile essentielle. Les disques imprégnés avec 10 µL de diméthyl-sulfoxyde (DMSO) ont été utilisés comme contrôle négatif et le chloramphénicol comme contrôle positif. Les boîtes gélosées ainsi préparées sont maintenue à la température du laboratoire pendant 30 min afin de permettre une pré-diffusion des échantillons testés puis elles sont incubées à 37 °C pendant 24 heures dans l'étuve. Après 24 heures d'incubation, le diamètre de la zone d'inhibition de la croissance bactérienne autour des disques est mesurée en mm. Chaque expérience est répétée trois fois.

2.5.3 MÉTHODE DE MICRO-DILUTION EN MILIEU LIQUIDE

La méthode de Micro-dilution a été utilisée pour déterminer la concentration minimale inhibitrice (CMI) et la concentration minimale bactéricide (CMB) de l'huile essentielle comme décrit par [18], avec légère modification. La concentration minimale inhibitrice (CMI) est la plus faible concentration d'un agent antibactérien capable d'inhiber dans un milieu, toute croissance visible de la souche étudiée [19]. Pour déterminer la concentration minimale inhibitrice de l'huile essentielle de la plante contre les souches bactériennes testées, nous avons utilisé la technique de micro-dilution par microplaques stériles comportant 96 puits à fond. L'huile essentielle a été solubilisée dans le diméthyl-sulfoxyde (DMSO) pour préparer une gamme de 10 concentrations (0,003; 0,06; 0,12; 0,25; 0,5; 1; 1,25; 2,5; 5 et 10 mg/mL). Les microplaques ont été préparées en introduisant 90 µL de bouillon Mueller Hinton et 10 µL de l'inoculum dans les puits de la 1^{ère} à la 12^{ème} colonne. Ensuite, sont ajoutés 100 µL de chaque concentration de la gamme de dilution des échantillons dans les puits de la 1^{ère} à la 10^{ème} colonne. 100 µL de DMSO et 100 µL de chloramphénicol sont additionnés dans les 11^{ème} et 12^{ème} puits de chaque rangée pour servir de contrôle négatif et de contrôle positif, respectivement. Le volume final de chaque puit était de 200 µL. Les plaques sont ensuite recouvertes puis incubées à 37 °C pendant 24 h. la CMI de l'huile essentielle a été déterminée après incubation à partir du premier puit de la gamme de concentration dépourvu de croissance bactérienne visible [20].

La concentration minimale bactéricide (CMB) correspond à la plus petite concentration de l'agent antimicrobien qui ne laisse que 0,01% de bactéries survivantes après 24 h d'incubation [21]. Pour déterminer la concentration minimale bactéricide (CMB), le contenu des puits ne présentant aucune croissance bactérienne visible a été repiqué par ensemencement sur la gélose Mueller Hinton et les boîtes de Pétri ont été incubées à 37 °C pendant 24h [22]. Après incubation, la CMB de l'huile est déduite à partir de la première boîte dépourvue de bactérie.

3 RÉSULTATS

3.1 COMPOSITION CHIMIQUE DE L'HUILE ESSENTIELLE

Les résultats de l'analyse par GC-MS de la composition chimique de l'huile essentielle de *H. spicigera* sont regroupés dans le tableau 1.

Tableau 1. Composition chimique de l'huile essentielle d'*Hyptis spicigera*

N°	^a IR	^b IR	^c Constituants	Pourcentage (%)
1	928	930	α-Thujène	0,91
2	948	939	α-Pinène	2,18
3	956	954	Camphène	0,21
4	969	975	Sabinène	2,68
5	973	979	β-Pinène	2,36
6	985	990	Myrcène	0,21
7	998	1002	δ-2-Carène	0,89
8	1038	1029	Limonène	0,92
9	1039	1031	1,8-Cinéole	3,15
10	1058	1059	γ-Terpinène	0,14
11	1082	1085	<i>m</i> -Cymène	2,06
12	1087	1091	<i>p</i> -Cymène	0,25
13	1108	1100	Isopentyl 2-methyl butanoate	0,50
14	1110	1104	Isovalérate de 2-Methyl butyle	0,80
15	1141	1146	Camphre	1,70
16	1168	1177	Terpinène-4-ol	2,47
17	1187	1183	<i>p</i> -Cymène-8-ol	1,37
18	1191	1188	α-Terpinéol	0,49
19	1277	1285	Acétate de bornyle	0,40
20	1375	1371	Cyclosativène	0,21
21	1371	1375	α-Ylangène	0,51
22	1374	1376	α-Copaène	0,24
23	1379	1388	β-Cubebène	0,43
24	1389	1388	β-Bourbonène	0,79
25	1407	1408	(<i>Z</i>)-Caryophyllène	0,30
26	1419	1416	Aristolène	0,42
27	1417	1419	(<i>E</i>)-β-Caryophyllène	38,04
28	1445	1436	γ-Elemène	1,51
29	1455	1446	Seychellène	0,91
30	1459	1454	α-Humulène	2,64
31	1469	1479	γ-Muuroloène	2,13
32	1475	1481	Germacrène D	0,75
33	1565	1561	Germacrène B	0,34
34	1580	1583	Oxide de caryophyllène	22,50
35	1637	1646	Cubénoïl	0,80
36	1854	1845	Phytone	0,17
37	1912	1913	(<i>5E,9E</i>)- Farnésyl acétone	0,12
38	1961	1966	(<i>3Z</i>)-Cembrène A	1,24
39	2271	2275	dehydro-Abiétal	0,14
Monoterpènes hydrocarbonés				12,81
Monoterpènes oxygénés				10,48
Sesquiterpènes hydrocarbonés				49,22
Sesquiterpènes oxygénés				23,3
Autres				2,07
Total identifiés (%)				97,88

^aIR: Indices de rétention expérimentaux,

^bIR: Indices de rétention de littérature,

^cConstituants listés par ordre d'élution de la colonne.

3.2 ACTIVITÉ ANTIOXYDANTE DE L'HUILE ESSENTIELLE

Le potentiel antioxydant de l'huile essentielle d'*Hyptis spicigera* a été évalué par la méthode de piégeage du radical libre DPPH^{*} (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) et le test de réduction du fer (FRAP: Ferric reducing antioxidant power). L'acide

ascorbique qui est connu pour ses propriétés antioxydantes est utilisé comme contrôle positif. L'activité antioxydante est exprimée par les concentrations qui fournissent 50% d'inhibition du radical DPPH* présent dans la solution testée (CI₅₀) et les concentrations effectives qui donnent une absorbance de 0,5 pour le pouvoir réducteur du fer (CE₅₀). Les résultats sont regroupés dans le tableau 2.

Tableau 2. Valeurs des CI₅₀ et CE₅₀ de l'huile essentielle d'*Hyptis spicigera* et d'acide ascorbique

Échantillons	Méthodes	
	DPPH*: CI ₅₀ (mg/mL)	Test de réduction du fer: CE ₅₀ (mg/mL)
Huile essentielle	4,56	2,51
Acide ascorbique	0,044	0,028

3.3 ACTIVITÉ ANTIBACTÉRIENNE DE L'HUILE ESSENTIELLE

L'activité antibactérienne de l'huile essentielle d'*Hyptis spicigera* Lam. a été évalué par la méthode de diffusion de disques sur un milieu gélosé solide (Mueller-Hinton) et par la méthode de micro-dilution en milieu liquide. Les souches de bactéries utilisées dans cette étude sont composées de bactéries à Gram-négatif: *Acinetobacter baumannii* multi-résistant P1483, *Salmonella* spp. H1548, *Escherichia coli* BLSE-Bu8566, *Enterobacter cloacae* Bu147, *Proteus mirabilis* Bu190, *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853), *Klebsiella pneumoniae* (ATCC 700603), *Escherichia coli* (ATCC 25922) et de bactéries à Gram-positif: *Enterococcus faecium* H3434, *Staphylococcus aureus* résistant à la méticilline P1123 et *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923).

3.3.1 MÉTHODE DE DIFFUSION DES DISQUES

Le pouvoir antibactérien de l'huiles essentielle a été déterminé en mesurant le diamètre des zones d'inhibition de la croissance bactérienne autour des disques après 24h d'incubation à 37°C. La sensibilité des bactéries vis-à-vis de l'huile essentielle a été estimée par le diamètre des zones d'inhibition comme décrit par [23]. Le chloramphénicol a été utilisé comme antibiotique de référence. Les résultats sont présentés sur la figure 1.

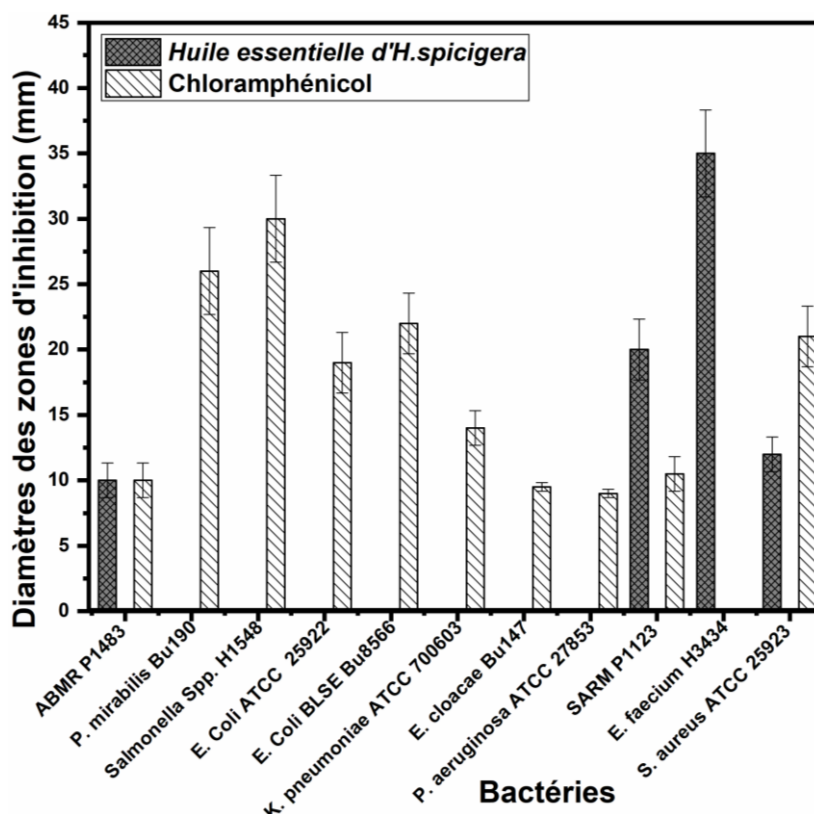


Fig. 1. Diamètres des zones d'inhibition de l'huile essentielle d'*Hyptis spicigera* et du Chloramphénicol

3.3.2 MÉTHODE DE MICRO-DILUTION

L'activité antibactérienne de l'huile essentielle de la plante étudiée a été également estimée en déterminant les concentrations minimales inhibitrice (CMI) et bactéricide (CMB).

Les résultats exprimés en concentration minimale inhibitrice (CMI) et en concentration minimale bactéricide (CMB) par la méthode de micro-dilution pour l'huile essentielle d'*Hyptis spicigera*, ainsi que pour le chloramphénicol sont présentés dans le tableau 3

Tableau 3. CMI et CMB de l'huile essentielle d'*Hyptis spicigera* et du Chloramphénicol

Bactéries	Huile essentielle		Chloramphénicol
	CMI (mg/mL)	CMB (mg/mL)	CMI (mg/mL)
ABMR P1483	5	10	2,5
<i>Proteus mirabilis</i> Bu190	-	-	0,06
<i>Salmonella</i> spp. H1548	-	-	0,03
<i>E. Coli</i> ATCC 25922	-	-	0,25
<i>E. Coli</i> BLSE Bu8566	-	-	0,5
KP ATCC 700603	-	-	1,25
PA ATCC 27853	-	-	-
<i>Enterobacter cloacae</i> Bu147	-	-	-
SARM P1123	0,5	1,25	2,5
<i>Enterococcus faecium</i> H3434	0,03	0,5	-
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923	2,5	5	0,5

4 DISCUSSION

L'analyse de la composition chimique de l'huile essentielle d'*H. spicigera* a permis l'identification de 39 composés représentant environ 97,88% des composés identifiés. Les principaux constituants de cette huile sont le (*E*) - β -caryophyllène (38,04%), l'oxide de caryophyllène (22,50%), le 1,8-cinéole (3,15%), le sabinène (2,68%), l' α -humulène (2,64%), le terpinène-4-ol (2,47%) et le β -pinène (2,36%). La classe des sesquiterpènes hydrocarbonés représente la proportion la plus élevée (49,22%), suivie par les sesquiterpènes oxygénés (23,3%). Les monoterpènes hydrocarbonés (12,81%) et les monoterpènes oxygénés (10,48%) constituent les groupes de composés les moins abondants dans cette huile. Dans la littérature des travaux sur la composition chimique de l'huile essentielle d'*Hyptis spicigera* sont rapporté dans d'autres pays. Nos résultats sont similaires à ceux rapportés sur la composition chimique de l'huile essentielle de l'espèce du Bénin, du Mali et du Togo [3], [24], [25]. Dans l'huile essentielle d'*H. spicigera* du Niger nous avons obtenu le (*E*) - β -caryophyllène (38,04%) qui est le composé le plus abondant, avec une quantité supérieure à celle rapportée dans l'huile de l'espèce du Mali (23-28%) et du Togo (33,8%). Cependant, le pourcentage le plus élevé en (*E*) - β -caryophyllène a été obtenu dans l'huile essentielle d'*H. spicigera* du Bénin (7,0- 53,2%). Par contre, α -pinène a été rapporté comme le composé le plus abondant de l'huile essentielle de l'espèce du Cameroun, du Sénégal, du Burkina Faso et du Nigéria [26], [27], [28], [29]. En comparant nos résultats avec ceux de la littérature, nous constatons une très grande variabilité chimique des huiles essentielles extraites d'*H. spicigera*. Cela peut être due à l'impact de nombreux facteurs sur la qualité et la quantité des huiles essentielles: provenance, conditions environnementales, période de récolte, potentiel génétique, variations climatique et techniques de récolte [30], [31]. D'après nos investigations, aucune étude n'a été réalisée auparavant sur cette plante au Niger.

L'analyse des résultats du tableau 2 montre que l'huile essentielle de la plante *Hyptis spicigera* présente une activité antioxydante modéré vis-à-vis du radical DPPH* avec un Cl₅₀ de 4,56 mg/mL. En comparant avec l'acide ascorbique, ce dernier possède la plus faible valeur de Cl₅₀ (0,044 mg/mL) et donc une meilleure activité antioxydante que l'huile essentielle. Dans la littérature les auteurs [32], ont rapporté l'activité antioxydante de l'huile essentielle d'*Hyptis spicigera* du Burkina Faso évaluée par la méthode du piégeage du radical DPPH* ils ont obtenu un pourcentage d'inhibition de 41,70 \pm 3,10% à la concentration de 8 mg/mL. De même l'huile essentielle a exprimé une activité réductrice du fer moyenne, traduite par une valeur de CE₅₀=2,51 mg/mL. Cependant, l'acide ascorbique a présenté un meilleur pouvoir réducteur de fer (CE₅₀ = 0,028 mg/mL).

Les résultats présentés à la figure 1 indiquent que l'huile essentielle a montré des degrés d'inhibition de la croissance bactérienne très différents. On constate que l'huile essentielle est plus active que l'antibiotique chloramphénicol. Celle-ci a présenté une meilleure inhibition de la croissance bactérienne traduit par le plus grand diamètre de la zone d'inhibition contre les souches *Enterococcus faecium* H3434 (35 \pm 1,5 mm) et SARM P1123 (20 \pm 2 mm). Le chloramphénicol était plus actif que

l'huile essentielle contre les souches *Proteus mirabilis* Bu190, *Salmonella* spp. H1548, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Escherichia coli* BLSE Bu8566, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 700603 et *S. aureus* ATCC 25923. L'inhibition maximale du chloramphénicol a été enregistrée contre la souche *Salmonella* spp. H1548 (30 ± 2 mm). Toutefois, l'huile essentielle était inactive contre les bactéries *Salmonella* spp. H1548, *E. Coli* ATCC 25922, *E. Coli* BLSE Bu8566, *Enterobacter cloacae* Bu147, *Proteus mirabilis* Bu190, *KP* ATCC 700603 et *PA* ATCC 27853. Quant au chloramphénicol il était inactif contre la souche *Enterococcus faecium* H3434.

Les résultats de la présente étude montrent que l'huile essentielle d'*Hyptis spicigera* est plus active sur les bactéries à Gram-positif que sur les bactéries à Gram-négatif, contrairement à l'antibiotique chloramphénicol. Cette différence peut être due à la structure de la paroi cellulaire des bactéries. Les bactéries à Gram-négatif ont été trouvées comme étant plus résistantes à l'effet des produits naturels tels que les huiles essentielles, en raison de leur membrane lipopolysaccharide externe qui leur permet d'être plus résistantes [33].

Les résultats du tableau 3 montrent que les activités inhibitrice et bactéricide de l'huile essentielle d'*Hyptis spicigera* sont très variables selon les bactéries testées. On observe une forte activité antibactérienne de l'huile essentielle sur la souche *Enterococcus faecium* H3434 avec des concentrations minimales inhibitrice et bactéricide de 0,03 et 0,5 mg/mL respectivement. Une bonne activité a été également obtenue sur la souche *SARM* P1123 avec une CMI = 0,5 mg/mL et une CMB = 1,25 mg/mL. Pour *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 une activité relativement faible a été enregistrée avec des valeurs de CMI et CMB de 2,5 et 5 mg/mL respectivement. Chez la souche *ABMR* P1483, la CMI était de 5 mg/mL et la CMB de l'ordre de 10 mg/mL, ce qui démontre une faible sensibilité de cette souche vis-à-vis de l'huile essentielle. Quant au chloramphénicol il a exercé une forte activité antibactérienne sur les souches *Salmonella* spp. H1548 et *Proteus mirabilis* Bu190 avec des concentrations minimales inhibitrices de 0,03 et 0,06 mg/mL respectivement. Toutefois, *ABMR* P1483 et *SARM* P1123 étaient moins sensibles au chloramphénicol comparativement aux autres souches bactériennes. On constate que l'antibiotique de référence était plus actif sur la majorité des souches testés contrairement à l'huile essentielle d'*Hyptis spicigera* qui n'étaient actifs que sur quatre (4) souches. Les résultats de la présente étude montrent une résistance de certaines bactéries testées vis-à-vis de l'huile essentielle d'*Hyptis spicigera*.

5 CONCLUSION

Ce travail nous a permis de démontrer que l'huile essentielle d'*Hyptis spicigera* du Niger est riche en composés bioactifs avec 39 composés identifiés et le chémotype de cette huile est de type (E) - β -caryophyllène. Les résultats obtenus ont montré que l'huile essentielle possède une activité antioxydante modérée. Il faut noter aussi la concordance des résultats obtenus avec les deux méthodes sur l'activité antioxydante. Au vu de son activité et du fait que la capacité antioxydante déterminée est en relation directe avec le contenu en métabolites secondaires de l'huile essentielle, on peut considérer cette plante comme source alternative d'antioxydants naturels à utiliser pour lutter contre les pathologies causées par les radicaux, protéger l'organisme contre le stress oxydatif, dans le domaine alimentaire pour lutter contre l'oxydation des produits et dans le domaine pharmaceutique en tant que remède pour certaines maladies. L'huile essentielle de notre plante a démontré un bon potentiel antibactérien vis-à-vis des souches bactériennes pathogènes testées. Cependant, les bactéries à Gram-positif testées étaient plus sensibles à l'huiles essentielle que les bactéries à Gram-négatif. Les résultats obtenus dans la présente étude ont permis de mettre en évidence le potentiel antibactérien de cette plante en vue de sa valorisation et de son utilisation notamment, pour lutter contre les infections microbiennes. Ceci indique que cette plante constitue une source naturelle de composés bioactifs et peut être utilisée pour le développement de composés alternatifs pour traiter les infections causées par ces bactéries pathogènes étudiés. Ainsi ces résultats peuvent justifier les différents usages traditionnels de cette plante dans le traitement de certaines maladies.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient:

Le Professeur Jean Luc-Pirat, ENSCM, Montpellier-France, de son aide pour la réalisation de l'analyse de l'huile essentielle; Dr Nabila Soraa et Ilham Dilagui, Laboratoire de Virologie et Microbiologie du Centre Hospitalier Universitaire Mohammed VI de Marrakech, Université Cadi Ayyad, Marrakech-Maroc, pour leur accueil et leur aide.

REFERENCES

- [1] J. Hutchinson, D. J. McEwen., and and Hepper F.N, *Flora of West Tropical Africa. Volume II.*, 2nd ed. London: Crown Agents for Oversea Governments and Administrations, 1963.
- [2] J. Kerharo and J. G. Adam, «La pharmacopée senegalaise traditionnelle: plantes médicinales et toxiques.» Paris (France) Vigot, 1974.
- [3] Bogninou-Agbidinoukoun G.S. and n, «Volatile oil composition and antiproliferative activity of *Hyptis spicigera* Lam against human breast adenocarcinoma cells MCF-7,» *Res. J. Chem. Sci.*, vol. 3, no. 1, pp. 27–31, 2013.
- [4] C. Takayama, F. M. De-Faria, A. C. A. De Almeida, D. O. Valim-Araújo, C. S. Rehen, R. J. Dunder, E. A. R. Socca, L. P. Manzo, A. L. Rozza, M. J. Salvador, C. H. Pellizzon, C. A. Hiruma-Lima, A. Luiz-Ferreira, and A. R. M. Souza-Brito, «Gastroprotective and ulcer healing effects of essential oil from *Hyptis spicigera* Lam. (Lamiaceae),» *J. Ethnopharmacol.*, vol. 135, no. 1, pp. 147–155, 2011, doi: 10.1016/j.jep.2011.03.002.
- [5] O. A. Onayade, A. Looman, J. J. C. Scheffer, and A. B. Svendsen, «Composition of the herb essential oil of *Hyptis spicigera* Lam.,» *Flavour Fragr. J.*, vol. 5, no. 2, pp. 101–105, 1990, doi: 10.1002/ffj.2730050209.
- [6] F. Kini, B. Kam, J. P. Aycard, E. M. Gaydou, and I. Bombarda, «Chemical composition of the essential oil of *Hyptis spicigera* Lam. From Burkina Faso,» *J. Essent. Oil Res.*, vol. 5, no. 2, pp. 219–221, 1993, doi: 10.1080/10412905.1993.9698206.
- [7] J. D. H. Lambert, J. Gale, J. T. Arnason, and B. J. R. Philogene, «Bruchid control with traditionally used insecticidal plants *Hyptis spicigera* and *Cassia nigricans*,» *Int. J. Trop. Insect Sci.*, vol. 6, no. 02, pp. 167–170, 1985. doi: 10.1017/s1742758400006573.
- [8] J. M. Dalziel, *The useful plants of west tropical Africa*. London: Crown Agents for the Colonies, 1937.
- [9] B. Bayala, «Etude des propriétés anti-oxydantes, anti-inflammatoires, anti-prolifératives et anti-migratoires des huiles essentielles de quelques plantes médicinales du Burkina Faso sur des lignées cellulaires du cancer de la prostate et de glioblastomes,» Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, 2014.
- [10] K. Ikhiri, M. Garba, and M. Saadou, «Pharmacopée traditionnelle : Recherche Sur La Pharmacopée Au Niger,» *OUA/CELTHO*, pp. 31–35, 1984.
- [11] J. F. Clevenger, «Apparatus for the Determination of Volatile Oil,» *J. Am. Pharm. Assoc.*, vol. 17, no. 4, pp. 345–349, Apr. 1928, doi: 10.1002/jps.3080170407.
- [12] R. P. Adams, *Identification Of Essential Oil Components By Gas Chromatography/Mass Spectrometry*, Ed. 4.1. Carol Stream, IL: Allured publishing corporation, 2017.
- [13] M. S. Blois, «Antioxidant Determinations by the Use of a Stable Free Radical,» *Nature*, vol. 181, no. 4617, pp. 1199–1200, Apr. 1958, doi: 10.1038/1811199a0.
- [14] D. Villaño, M. S. Fernández-Pachón, M. L. Moyá, A. M. Troncoso, and M. C. García-Parrilla, «Radical scavenging ability of polyphenolic compounds towards DPPH free radical,» *Talanta*, vol. 71, no. 1, pp. 230–235, Jan. 2007. doi: 10.1016/j.talanta.2006.03.050.
- [15] A. Yıldırım, A. Mavi, and A. A. Kara, «Determination of Antioxidant and Antimicrobial Activities of *Rumex crispus* L. Extracts,» *J. Agric. Food Chem.*, vol. 49, no. 8, pp. 4083–4089, Aug. 2001, doi: 10.1021/jf0103572.
- [16] W. Megdiche-Ksouri, N. Trabelsi, K. Mkadmini, S. Bourgou, A. Noumi, M. Snoussi, R. Barbria, O. Tebourbi, and R. Ksouri, «*Artemisia campestris* phenolic compounds have antioxidant and antimicrobial activity,» *Ind. Crops Prod.*, vol. 63, pp. 104–113, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.indcrop.2014.10.029.
- [17] I. Ben El Hadj Ali, M. Chaouachi, R. Bahri, I. Chaieb, M. Boussaïd, and F. Harzallah-Skhiri, «Chemical composition and antioxidant, antibacterial, allelopathic and insecticidal activities of essential oil of *Thymus algeriensis* Boiss. et Reut.,» *Ind. Crops Prod.*, vol. 77, pp. 631–639, Dec. 2015, doi: 10.1016/j.indcrop.2015.09.046.
- [18] A. Chrysargyris, P. Xylia, G. Botsaris, and N. Tzortzakis, «Antioxidant and antibacterial activities, mineral and essential oil composition of spearmint (*Mentha spicata* L.) affected by the potassium levels,» *Ind. Crops Prod.*, vol. 103, no. August 2016, pp. 202–212, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.indcrop.2017.04.010.
- [19] A. A. Mostafa, A. A. Al-askar, K. S. Almaary, T. M. Dawoud, E. N. Sholkamy, and M. M. Bakri, «Saudi Journal of Biological Sciences Antimicrobial activity of some plant extracts against bacterial strains causing food poisoning diseases,» *Saudi J. Biol. Sci.*, vol. 25, no. 2, pp. 361–366, 2018, doi: 10.1016/j.sjbs.2017.02.004.
- [20] N. Canillac and A. Mourey, «Effet des huiles essentielles de sapin et de pin sur quelques microorganismes d'affinage,» *MAN Microbiol. Aliment. Nutr.*, vol. 13, no. 3, pp. 267–273, 1995.
- [21] J.-P. Ganière, C. Mangion, and M. Peridy, «Détermination des Concentrations Minimales Inhibitrices et Bactéricides de la cefquinome, la marbofloxacin, la tylosine et la spiramycine en solution dans du lait vis-à-vis de bactéries isolées de mammites bovines,» *Rev. Med. Vet. (Toulouse)*, vol. 155, no. 8–9, pp. 411–416, 2004, [Online]. Available: <https://hal.inrae.fr/hal-02679845>.

- [22] Y. Shahbazi, «Chemical compositions, antioxidant and antimicrobial properties of *Ziziphora clinopodioides* Lam. essential oils collected from different parts of Iran,» *J. Food Sci. Technol.*, vol. 54, no. 11, pp. 3491–3503, Oct. 2017, doi: 10.1007/s13197-017-2806-2.
- [23] A. G. Ponce, R. Fritz, C. del Valle, and S. I. Roura, «Antimicrobial activity of essential oils on the native microflora of organic Swiss chard,» *LWT - Food Sci. Technol.*, vol. 36, no. 7, pp. 679–684, Nov. 2003, doi: 10.1016/S0023-6438(03)00088-4.
- [24] L. Sidibé, J.-C. Chalchat, and R.-P. Garry, «Aromatic Plants of Mali (III): Chemical Composition of Essential Oils of Two Hyptis Species: *H. suaveolens* (L.) Poit. and *H. spicigera* Lam.,» *J. Essent. Oil Res.*, vol. 13, no. December 2014, pp. 55–57, 2001, doi: 10.1080/10412905.2001.9699605.
- [25] K. Koba, C. Raynaud, J. Millet, J. P. Chaumont, and K. Sanda, «Chemical composition of *Hyptis pectinata* L., *H. lanceolata* Poit., *H. suaveolens* (L.) Poit. and *H. spicigera* Lam. essential oils from Togo,» *J. Essent. Oil Bear. Plants*, vol. 10, no. 5, pp. 357–364, 2007, doi: 10.1080/0972060X.2007.10643567.
- [26] F. Noudjou; H. Kouninki, L. S. T. Ngamo, P. M. Maponmestsem, M. Ngassoum, T. Hance, E. Haubruge, F. Malaisse, M. Marlier, and G. C. Lognay, «Effect of site location and collecting period on the chemical composition of *hyptis spicigera* Lam. an insecticidal essential oil from North-Cameroon,» *J. Essent. Oil Res.*, vol. 19, no. 6, pp. 597–601, 2007, [Online]. Available: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-37049013520&partnerID=tZOTx3y1>.
- [27] M. T. Gueye; A. Diallo, S. Gueye, D. Seck, E. Assiedu, J. Wathélet, and G. Lognay, «Analysis of the Composition of Plant Essential Oil Used in Cereals and Legumes Storage in Senegal,» *J. Essent. Oil Bear. Plants*, vol. 19, no. 2, pp. 403–409, Feb. 2016, doi: 10.1080/0972060X.2014.935019.
- [28] D. Wangrawa, A. Badolo; Z. Ilboudo, W. Guelbéogo, M. Kiendrébeogo, R. Nébié, N. Sagnon, and A. Sanon, «Insecticidal Activity of Local Plants Essential Oils Against Laboratory and Field Strains of *Anopheles gambiae* s. l. (Diptera: Culicidae) From Burkina Faso,» *J. Econ. Entomol.*, vol. 111, no. 6, pp. 2844–2853, Oct. 2018, doi: 10.1093/jee/toy276.
- [29] Z. Ladan, O.J. Amupitan, A.O. Oyewale, M.E. Okonkwo, O.E. Ladan, B. Odjobo, N. Habila, «Chemical composition and biological activity of the volatile oils of *Hyptis spicigera* against *Trypanosoma brucei brucei*, (Tbb) found in Northern Nigeria,» *African J. Pure Appl. Chem.*, vol. 5, no. 4, pp. 53–58, 2011.
- [30] B. Bernhardt, K. Szabó, and J. Bernáth, «Sources of variability in essential oil composition of *Ocimum americanum* and *Ocimum tenuiflorum*,» *Acta Aliment.*, vol. 44, no. 1, pp. 111–118, Mar. 2015, doi: 10.1556/AALim.44.2015.1.11.
- [31] E. H. Loukili, F. Abrigach, M. Bouhrim, M. Bnouham, M. Fauconnier, and M. Ramdani, «Chemical Composition and Physicochemical Analysis of *Opuntia dillenii* Extracts Grown in Morocco,» *J. Chem.*, vol. 2021, pp. 1–11, Jan. 2021, doi: 10.1155/2021/8858929.
- [32] B. Bayala, I. Bassole, C. Gnoula, R. Nebie, A. Yonli, L. Morel, G. Figueredo, J. Nikiema, J. Lobaccaro, and J. Simpore, «Chemical Composition, Antioxidant, Anti-Inflammatory and Anti-Proliferative Activities of Essential Oils of Plants from Burkina Faso,» *PLoS One*, vol. 9, no. 3, p. e92122, Mar. 2014, doi: 10.1371/journal.pone.0092122.
- [33] V. D. da Silva, F. Almeida-Souza, A. Teles, P. Neto, R. Mondego-Oliveira, N. Mendes-Filho, N. Taniwaki, A. Abreu-Silva, K. Calabrese, and V. Mouchrek-Filho, «Chemical composition of *Ocimum canum* Sims. essential oil and the antimicrobial, antiprotozoal and ultrastructural alterations it induces in *Leishmania amazonensis* promastigotes,» *Ind. Crops Prod.*, vol. 119, no. March, pp. 201–208, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.indcrop.2018.04.005.

Regards croisés des acteurs scolaires sur l'efficacité et les limites de la politique des « caisses écoles » à Madagascar

[A cross-perspective of school stakeholders on the effectiveness and limitations of the « school fund » policy in Madagascar]

Kamel Arêo GARBA¹, Nathaniel FOCKSIA DOCKSOU², and Rasmané ZALLE³

¹Enseignant-Chercheur à l'Université d'Abomey Calavi, Bénin

²Enseignant-Chercheur à l'Université de N'Djaména, Tchad

³Enseignant-Chercheur à l'École Normale Supérieure, Burkina Faso

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

ABSTRACT: Madagascar, like several other African countries, introduced a support measure for public primary schools into its education system in 2002, known as the «school fund» (CE). While this measure, designed to alleviate the costs incurred by parents for financing minor maintenance and school operations, has seen some success, it appears to have lost momentum in recent years and reveals a significant gap between the current situation and its initial objectives. This research, which required both qualitative and quantitative data collected using administered data collection tools from one hundred and fifty-three (153) respondents, aims to understand the perceptions of school stakeholders regarding the «school fund» in the country. The results obtained show that while the «school funds» have alleviated some of the burdens faced by those involved in education, they still struggle to meet expectations. Their management and the mobilization of resources to fully cover schools' needs were frequently cited as major issues by beneficiaries.

KEYWORDS: perception, school stakeholders, school funds, effectiveness, limitations.

RESUME: Madagascar, comme plusieurs autres pays africains a introduit dans le système éducatif en 2002, la mesure d'appui aux écoles primaires publiques sous l'appellation de la « caisse école » en abrégé (CE). Si cette mesure, dont le but est d'alléger les coûts encourus par les parents d'élèves en ce qui concerne le financement des dépenses liées aux petits travaux d'entretien et au fonctionnement des écoles a connu quelques succès, elle semble s'essouffler depuis quelques années et révèle un sévère décalage entre l'existant et les ambitions.

La présente recherche qui a requis des données aussi bien qualitatives que quantitatives collectées au moyen d'outils de collecte administrés sur cent cinquante trois (153) enquêtées vise donc à comprendre la perception des acteurs de l'école sur la « caisse école » dans le pays.

Des résultats obtenus, il se dégage que si les « caisses écoles » ont dans une certaine mesure soulagé les peines des acteurs de l'école, il n'en demeure pas moins vrai qu'elles peinent à combler les attentes. Son pilotage ainsi que la mobilisation des ressources pour une couverture totale des besoins des écoles ont été souvent les points noirs évoqués par les bénéficiaires.

MOTS-CLEFS: perception, acteurs scolaires, caisses écoles, efficacité, limites.

1 INTRODUCTION

Depuis une vingtaine d'années, dans un nombre croissant de pays, une réforme importante dans la gestion de l'éducation a été introduite. En effet, les écoles qui, jusqu'à un passé récent n'intervenaient pas dans la gestion de leurs finances, ont accès à des fonds alloués par les gouvernements centraux. En revanche, dans certains pays développés, cette pratique n'a rien de nouveau. Elle s'intègre dans le cadre des politiques d'autonomisation de l'école introduites à partir des années 1980 dans les pays de l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE), et lors de la décennie suivante dans la plupart des pays d'Amérique latine. Cependant, pour de nombreux pays en développement, cette réforme est beaucoup plus récente et se retrouve liée à l'introduction de la gratuité de la scolarité depuis le début des années 2000.

La question globale des subventions aux écoles constitue le centre d'intérêt de la présente recherche. En effet, le rapport¹ mondial sur le commerce (2006, p: 49), traitant des subventions estime que, bien qu'il soit largement employé en économie, le terme "subvention" est rarement défini. Souvent, il est utilisé comme un antonyme du mot *taxe*, désignant un transfert d'argent des pouvoirs publics à une entité du secteur privé. Une autre approche consiste à dire qu'une "subvention" existe chaque fois qu'un programme public profite à des acteurs privés.

Chimier et Harang (2018: p1) définissent les subventions aux écoles (SAE) comme le transfert des fonds du niveau central vers les établissements scolaires pour assurer leurs frais de fonctionnement.

Autrement dit, une subvention est donc une aide financière, directe ou indirecte, allouée par une personne publique en vue de financer une activité d'intérêt général. Le bénéficiaire de la subvention peut être public ou privé, entreprise, association, ou personne, etc. La subvention peut porter sur un projet, sur un type de bien, sur une situation, etc. Cette politique qui a été instaurée dans plusieurs pays pour améliorer surtout l'accès à l'école primaire publique n'est pas conçue suivant le même format. Si dans certains pays comme le Bénin la subvention aux écoles ne prend en compte que le fonctionnement de l'école (l'État met déjà à disposition les manuels, les cantines scolaires, les enseignants, la construction des infrastructures scolaires, etc), Garba (2023), dans d'autres pays cette subventions prend en compte plusieurs postes de dépenses allant du fonctionnement jusqu'à l'investissement.

Selon la Banque Mondiale (2025), à Madagascar, le secteur de l'éducation est confronté à de nombreux défis. Si l'accès à l'école s'est amélioré et que les écarts entre les filles et les garçons se réduisent, les taux d'achèvement scolaire et les résultats d'apprentissage restent préoccupants. Seuls 63 % des filles et 58 % des garçons terminent le cycle primaire, et 95 % des élèves en fin de primaire ne savent pas lire correctement. Le taux de redoublement atteint 25,3 % dans les écoles publiques, soit le double de la moyenne en Afrique subsaharienne. Par ailleurs, 63 % des enseignants du primaire sont des enseignants communautaires (FRAM), souvent peu ou pas formés, dont les salaires reposent entièrement sur les contributions des parents d'élèves. Les infrastructures sont également insuffisantes: entre 1 000 et 2 000 salles de classe sont détruites chaque année par les cyclones. Enfin, seulement 2,5 % du PIB est consacré à l'éducation, contre 3,7 % en moyenne dans la région.

Ce tableau très peu réjouissant justifie les nombreuses mesures prises en faveur des écoles dont celle des « caisses écoles ». En effet, la réforme a été introduite dans le système éducatif en 2002 sous l'appellation de la « caisse école » en abrégiation (CE). Elle visait quelques écoles publiques et privées sur financement du Crédit de Renforcement du Secteur de l'Éducation (CRESED) dans le but d'alléger les coûts encourus par les parents d'élèves en ce qui concerne le financement des dépenses liées aux petits travaux d'entretien et au fonctionnement des écoles. Les CE ont été par la suite généralisées dans toutes les écoles à partir de 2004 et sont inscrites dans le budget du Ministère chargé de l'éducation nationale. Ne parvenant pas à couvrir tous les besoins des écoles, d'autres transferts de ressources aux écoles sont effectués par des partenaires techniques et financiers (PTF) à travers des projets et des programmes extra-budgétaires toujours dans le but de réduire la charge parentale et d'encourager l'accès à l'éducation qui a été fortement dégradé à la suite de la crise sociopolitique que le pays a connue en 2002 et en 2009.

Selon l'étude Hafedh² relative à la répartition de la caisse école, le montant de la subvention CE a subi des variations et des interruptions liées au contexte sociopolitique du pays. En effet, en 2003, l'enveloppe de la CE était déterminée sur la base de 2 000 MGA par élève. Ce ratio unitaire par élève a été porté à 3 000 MGA en 2007 pour les écoles situées dans les zones les plus défavorisées. En 2009, il y a eu interruption de la CE en raison de la crise qui sévissait dans le pays et qui a impacté les finances publiques. La reprise de la CE a été plutôt timide en limitant le ratio unitaire à 800 MGA par élève en 2010 puis à 900 MGA par élève en 2011. À partir de 2012, le montant a été porté à 2 000 MGA.

¹ Source : https://www.wto.org/french/res_f/booksp_f/anrep_f/wtr06-2b_f.pdf

² Étude sur la répartition de la caisse école unique

À partir de 2015, le montant de la CE est déterminé sur la base des sections puis des groupes pédagogiques et enfin des groupes pédagogiques redressés avec l'inclusion d'une partie fixe équivalente à environ 15% de la CE. Ramené en termes de ratio unitaire par élève, le montant a atteint 4 840 MGA en 2015 et 3 835 MGA en 2018.

La présente recherche vise à (i) analyser la perception des acteurs de l'école autour des enjeux liés à la mesure de la caisse école ainsi que les défis auxquels font face quotidiennement les écoles et de (ii) proposer des pistes pour une nouvelle clé de répartition qui prenne en compte les expériences du passé et qui couvrent les besoins réels des établissements.

2 APPROCHES METHODOLOGIQUES

2.1 SITE ET APPROCHE DE LA RECHERCHE

La recherche a été réalisée à Madagascar à travers les écoles primaires publiques, les circonscriptions scolaires, les directions régionales.

L'approche utilisée dans le cadre de cette recherche est une approche mixte. Des données aussi bien quantitatives que qualitatives ont été collectées auprès des acteurs cibles.

Compte tenu de la nature de la recherche, qui part du fait que les structures enquêtées peuvent ne pas fournir des données fiables, la stratégie de collecte de données a consisté à une triangulation. Les données ont été à la fois collectées au niveau d'une même unité, mais aussi celles de l'échelon supérieur et de l'échelon inférieur à des fins de comparaison des résultats.

2.2 MÉTHODES ET OUTILS DE COLLECTE DES DONNÉES

2.2.1 MÉTHODES DE COLLECTE DES DONNÉES

L'atteinte des objectifs de la mission s'est faite par le recours à une diversité de méthodes et d'outils de recueil de l'information. Il s'agit essentiellement de: l'analyse documentaire, et les entretiens individuels (voir tableau-ci-dessous).

Par ailleurs, un prétest a été organisé dans quelques écoles de la ville de Tana pour stabiliser les outils de collecte.

Tableau 1. Techniques, outils de collecte et unités enquêtées

Méthodes	Instruments de collecte	Unités enquêtées
Analyse documentaire	Fiches d'analyse	<ul style="list-style-type: none"> Structures centrales, et déconcentrées et locales des ministères en charges de l'éducation
Entretien individuel semi-structuré	Guides d'entretien	<ul style="list-style-type: none"> Directeurs/membres FEFFI Responsables des CISCO et DREN.

2.2.1.1 OUTILS DE COLLECTE DES DONNÉES

Il a été élaboré deux types de questionnaires qui ont été administrés à différents niveaux. Les outils de collecte de données portent sur:

- questionnaires directions centrales et régionales du Ministère de l'Éducation Nationale (MEN) et le Ministère des Finances et du Budget;
- questionnaires écoles (directeurs, membres FEFFI).

2.2.1.2 LA REVUE DOCUMENTAIRE

La collecte de données qualitatives s'est faite à travers la recherche, la consultation et l'analyse critique de toute la documentation disponible.

2.2.1.3 LES ENTRETIENS INDIVIDUELS SEMI-STRUCTURÉS

Pour une grande partie des responsables des niveaux central, régional et local, le recueil de l'information qualitative s'est fait aux moyens de guides d'entretien individuel semi-structurés.

2.3 ECHANTILLONNAGE

La recherche a couvert les structures situées à plusieurs niveaux: le niveau central, le niveau régional (Direction Régional de l'Éducation Nationale (DREN), le niveau déconcentré (Circonscription Scolaire (CISCO)), le niveau local à l'intérieur des communes ou à la base (écoles et FEFFI). Pour chaque niveau, il a été nécessaire d'en délimiter les sites d'enquêtes, d'en définir la population-cible de la recherche ainsi que les modalités de tirage de l'échantillon.

2.3.1 LES PRINCIPES D'ÉCHANTILLONNAGE

Le tirage des sites d'enquêtes et des groupes cibles à interroger s'est fait en s'appuyant sur une combinaison des critères essentiels ci-après:

- Le milieu urbain/milieu rural;
- La situation sociale: couches favorisées/couches défavorisées;
- L'accessibilité géographique des sites et des personnes.

2.3.2 AU NIVEAU CENTRAL

La recherche a couvert le ministère en charge de l'éducation. L'identification des acteurs s'est faite par la technique de choix raisonné.

2.3.3 AU NIVEAU DÉCONCENTRÉ (CISCO)

La technique d'échantillonnage aléatoire simple est considérée. Ainsi, 19 CISCO ont été échantillonnées et touchées. Le recueil d'information s'est fait auprès des responsables de chaque CISCO identifiée afin de mieux apprécier la situation actuelle d'allocation des subventions aux écoles.

2.3.4 AU NIVEAU LOCAL À L'INTÉRIEUR DE CHAQUE CISCO

Par le principe de choix aléatoire, un certain nombre de centres éducatifs ont été identifiés. Un effectif de 60 écoles pour les travaux de collecte de données a été touché. Une répartition équitable a été de mise pour chaque CISCO, soit trois (03) écoles au moins par CISCO, une école en milieu rural, une autre en milieu urbain et une école en milieu semi urbain.

2.3.5 SYNTHÈSE SUR LA TAILLE DE L'ÉCHANTILLON

La couverture territoriale de l'échantillon est assez significative et se présente ainsi qu'il suit

Tableau 2. Synthèse de l'échantillon

Profil des acteurs à interroger	Type de données	Technique d'échantillonnage	Taille prévisionnelle de l'échantillon
Responsables des structures centrales du MEN	Qualitatif	Choix raisonné	14
Responsable DREN	Mixte	Choix aléatoire	1
Responsables CISCO	Mixte	Choix aléatoire	19
Directeurs	Mixte	Choix aléatoire	60
Membres FEFFI (président et trésorier)	Mixte	Choix aléatoire	59
TOTAL			153

2.4 MÉTHODES D'ANALYSE DES DONNÉES

2.4.1 MÉTHODES D'ANALYSE DES DONNÉES QUANTITATIVES

L'analyse des données quantitatives se résume en trois types d'analyse: les mesures de tendance centrale, les mesures de dispersion et de position ainsi que les analyses de fréquences.

2.4.2 MÉTHODES D'ANALYSE DES DONNÉES QUALITATIVES

L'analyse qualitative a fait l'objet de deux types d'analyses que sont l'analyse thématique et l'analyse du contenu catégorielle. L'analyse thématique qualitative a été utile pour confronter les propos de plusieurs répondants en lien avec la problématique en jeu. Quant à l'analyse du contenu catégorielle, elle a permis de prendre en considération la totalité d'un texte pour le transformer en fréquence de présence ou d'absence d'items de sens.

2.5 TRAITEMENT DES DONNÉES

Le traitement des données s'est fait à partir des logiciels les plus appropriés tels que STATA, Excel, etc.

3 RESULTATS

3.1 ETAT DES LIEUX DE LA « CAISSE ÉCOLE »

3.1.1 MISE EN APPLICATION DE LA CLÉ DE RÉPARTITION ADOPTÉE EN 2019: UN DÉCALAGE ENTRE L'EXISTANT ET LA NORME ADOPTÉE

La mesure visant l'appui aux écoles par l'entremise des caisses écoles n'est véritablement pas soutenu par un document de politique. En effet, les difficultés relatives à l'allocation efficiente des ressources aux écoles ont conduit le pays à adopter en 2019 un document de mise en œuvre qui définit les critères d'allocation des caisses écoles. La mise en application desdits critères a révélé un sévère décalage entre la planification et les réalités de terrain; ce qui a conduit à une modification desdits critères sans amendement du document fixant les modalités.

L'analyse comparative des deux clés montre que celle de 2019 a été retouchée à tous les niveaux, désorganisant ainsi la logique qui a milité dans la définition de certains critères. Cette situation pourrait s'expliquer par la difficulté de mise en œuvre de la clé proposée initialement, la complexité de ladite clé, la non flexibilité de certains critères, la non disponibilité à date de certaines données, notamment les résultats du Certificat Élémentaire d'Études Primaire inexistantes pour les écoles à cycles incomplets et l'impossibilité de disposer de certaines données de l'année pour laquelle les caisses écoles doivent être calculées, etc...

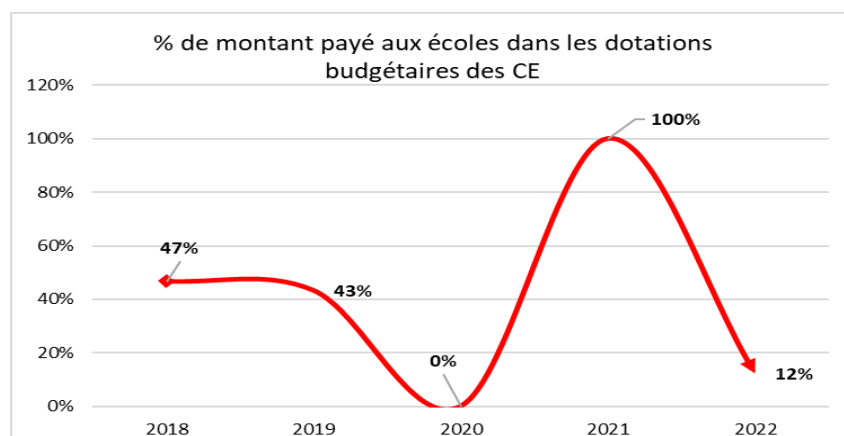
3.1.2 PARTICIPATION DE L'ÉTAT À LA « CAISSE ÉCOLE »: UNE RELATIVE PRISE EN CHARGE DES CAISSES ÉCOLES PAR L'ÉTAT

La caisse école est financée depuis 2019 par le budget national à hauteur de soixante dix pour cent (70%) et le Programme d'Appui à l'Éducation de Base (PAEB) à hauteur de trente pour cent (30%). Ces ressources sont mobilisées séparément au niveau des différentes sources de financement et mises à la disposition des écoles à travers le circuit d'acheminement des caisses écoles. Jusqu'en 2021-2022, les ressources mobilisées sur le budget national (70% du montant total de la caisse école) permettaient de prendre en charge les rubriques « **subvenir aux besoins essentiels des écoles** » et « **la dotation variable selon la taille des écoles** ». Quant aux ressources du PAEB (30% du montant total de la caisse école), elles permettaient de soutenir les volets « **équité et discrimination positive** » et « **les performances des écoles** ». Malheureusement, au titre de l'année 2023, pour des difficultés de mobilisation des ressources sur le budget national, les écoles n'ont pu bénéficier des soixante dix pour cent (70%) des ressources dédiées à la caisse école. Cette situation a complexifié le fonctionnement normal des écoles dans la mesure où lesdites ressources étaient attendues pour subvenir aux besoins élémentaires des établissements scolaires. Dans quelques écoles, un fonctionnement très approximatif des établissements scolaires a été assuré avec le concours financier et parfois en nature des parents d'élèves.

3.1.3 PROGRAMMATION BUDGÉTAIRE AU NIVEAU SECTORIEL: DES BUDGETS DES « CAISSES ÉCOLES » EN HAUSSE DEPUIS 2018

Depuis l'année 2018, les montants prévus pour le compte des caisses écoles ont connu une hausse considérable. Cette hausse est plus accentuée à partir de 2020 où on constate une évolution plus accrue du montant prévu pour la CE passant de 18 milliards à plus de 60 milliards Ar.

Il est cependant important de s'assurer que les dotations budgétaires prévues au titre de la caisse école arrivent effectivement à destination des écoles. Le graphique suivant nous renseigne sur la proportion des ressources caisses écoles effectivement payées aux écoles sur la période de 2018 à 2022.

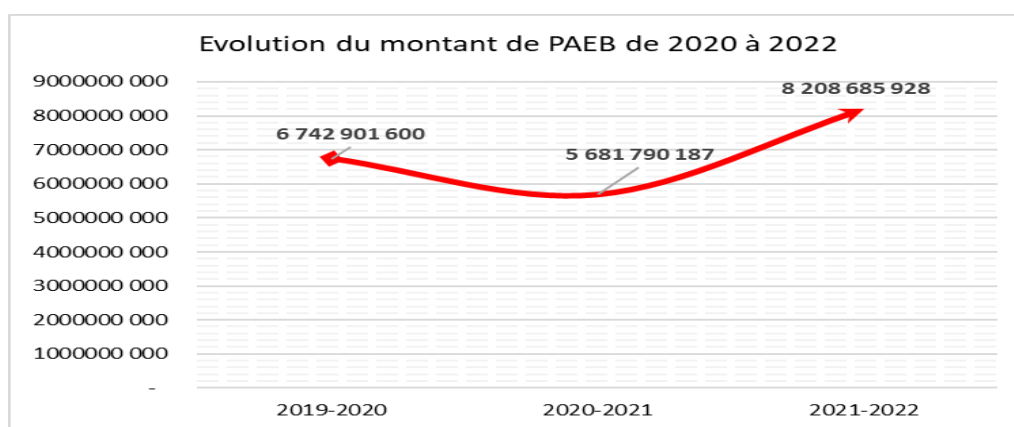


Graphique 1: Écart entre le montant payé aux écoles et le montant budgétisé par année

Source: A partir des données du PAEB

Le graphique ci-dessus nous permet de constater que les montants planifiés ne sont pas toujours ceux effectivement payés aux écoles dans le cadre de la caisse école. En 2019 par exemple, année d'introduction de la nouvelle clé de répartition des caisses écoles, seulement 47% des montants planifiés ont été décaissés au profit des écoles au titre de la caisse école contre 0% en 2019/2020 et 12% en 2021/2022. C'est seulement au cours de l'année 2020/2021 que la totalité des crédits planifiés ont été effectivement décaissés aux écoles. Cette situation pourrait être due aux difficultés de mobilisation des ressources et/ou également à la faible capacité de consommation des crédits par les acteurs de la chaîne des dépenses publiques.

Pour ce qui concerne le projet PAEB qui finance à hauteur de 30% la caisse école, même si sa contribution est en retard d'année en année, on note cependant, à travers le graphique ci-après qu'il y a une évolution positive de la dotation entre 2019 et 2021 avec une légère baisse d'environ 15% en 2020.



Graphique 2: Evolution du montant de PAEB dans le cadre de la CE de 2020 à 2022

Source: A partir des données du PAEB

3.2 EVALUATION DE LA MESURE DE CAISSE ÉCOLE

La recherche a permis d'évaluer la politique des caisses écoles depuis la conception jusqu'à sa mise en œuvre en 2023. Elle note que la politique comporte des forces à conserver, des faiblesses qui entravent l'atteinte des objectifs et qui devront être corrigées.

3.2.1 UN PILOTAGE PERTINENT ET VISIONNAIRE EN MATIÈRE DE PLANIFICATION

Selon les données des entretiens réalisés avec les parties prenantes, la programmation des besoins au titre de la caisse école se fait au niveau de la Direction de la Planification de l'Éducation en collaboration avec la Direction de l'Éducation Fondamentale et de la Petite Enfance qui établit la liste des écoles avec les montants de la caisse école par établissement qui est transmise soit à l'Unité de Facilitation de Projets (UFP) pour la CE sous financement PAEB ou du budget national, pour la suite du processus de transfert des fonds selon le

circuit de source de financement. C'est après que les ressources sont virées sur le compte des FEFPI selon le circuit adopté par chaque source de financement.

Si ce volet pilotage est une force du dispositif d'allocation des caisses écoles, il mériterait d'être renforcé, notamment par un système d'information moderne et efficace, capable de mettre à disposition des données statistiques fiables pour la prise de décision.

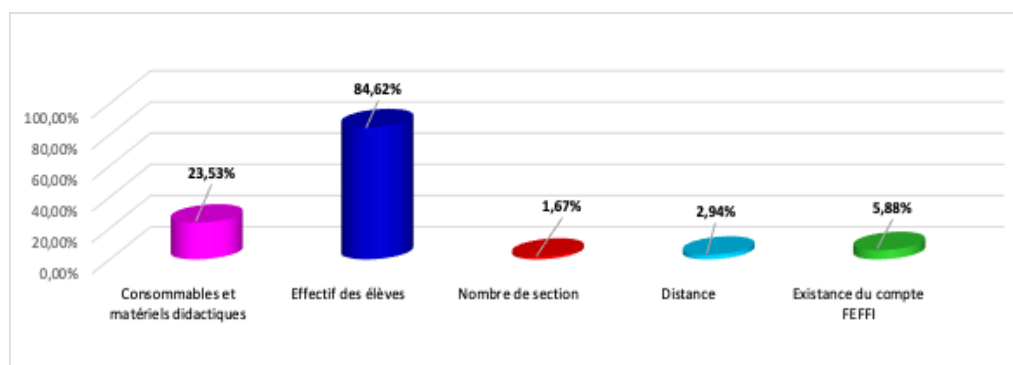
3.2.2 L'ENRACINEMENT DE LA MOBILISATION COMMUNAUTAIRE: UN DES ATOUTS PHARES DE LA POLITIQUE

La recherche a permis de noter que toutes les écoles disposent d'une association dénommée FEFPI. La participation des acteurs locaux dans la gestion de l'école semble réduire les fuites des ressources destinées à la caisse école. En effet, le Ministère de l'Éducation a eu recours à l'expertise du Projet d'appui à la gestion participative et décentralisée de l'école appelé TAFITA, sous financement de l'Agence Japonaise de coopération internationale (JICA) pour former les acteurs locaux à la gestion participative et décentralisée, condition pour bénéficier des caisses écoles. Toutes les écoles disposent ainsi désormais des projets décidés au niveau des membres des FEFPI lors des assemblées générales pour la prise de décision.

Cette mobilisation communautaire autour de la gestion de l'école dans le contexte de la décentralisation est un grand atout pour une bonne gestion des caisses écoles. Cependant, il est important de noter que des réflexions futures doivent être orientées vers la capacité de gestion des membres des FEFPI.

3.2.3 LA MÉCONNAISSANCE DES CRITÈRES D'ALLOCATION DES CAISSES ÉCOLES: UNE MENACE À L'APPROPRIATION

L'analyse des données collectées sur le terrain renseigne sur le niveau de maîtrise des critères d'allocation de la caisse école. Le graphique ci-après montre la connaissance que les directeurs des écoles primaires publiques ont des critères d'allocation de la caisse école.



Graphique 3: connaissance des critères des CE par les directeurs

Source: Données de terrain, mars 2023

L'analyse de ce graphique indique que les directeurs des écoles enquêtées ont une connaissance très sommaire de la clé de répartition actuelle. Les critères d'équité et de performance par exemple qui font partie de la clé de répartition actuelle sont méconnus de tous les enquêtés, d'où leur absence du graphique.

La situation semble être plus prononcée au niveau des responsables centraux du ministère en charge de l'éducation.

A la question de savoir s'ils connaissent les critères utilisés pour allouer la caisse école aux établissements, 62% des responsables centraux du MEN ont déclaré ne rien savoir desdits critères. Parmi les 38% qui ont déclaré avoir une connaissance de la clé actuelle de répartition, plus de 90% n'ont qu'une connaissance très sommaire des détails des critères qui gouvernent l'allocation de la clé des caisses écoles dans le pays.

La méconnaissance des critères d'allocation des caisses écoles aux établissements par tous les acteurs du niveau central jusqu'au niveau déconcentré est une insuffisance qu'il faudra corriger afin d'assurer la transparence dans le processus.

3.2.4 LES RETARDS DANS LA MISE À DISPOSITION DES FONDs: UN DÉCALAGE ENTRE LES AMBITIONS ET L'EXISTANT

La logique qui a gouverné la politique des caisses écoles dans le pays était de mettre les ressources à disposition des écoles au cours de la semaine de pré-rentrée. La recherche a relevé que, dans la pratique, les ressources sont mises à disposition des écoles bien après la rentrée des classes.

Pour ce qui est des ressources du PAEB par exemple, il est important de noter que ces transferts de fonds ont connu un décalage d'une année à cause entre autres du retard de l'obtention de l'Avis de Non Objection de la Banque Mondiale (BM). En effet, ce retard est dû principalement à la préparation et à la constitution des dossiers à soumettre à la BM pour la demande de son avis (établissement de la liste des bénéficiaires, application de la clé de répartition de la caisse école en vigueur, contractualisation avec les prestataires de paiement, l'effectivité de la formation des gestionnaires de fonds locaux (FEFFI) avant transfert de fonds de l'UFP vers les prestataires, étape la longue qui occasionne le plus de retard, etc... Il ressort que ce retard est souvent dû à la lenteur dans les préparations principales qui sont obligatoires et qui doivent être effectuées annuellement. Si ces préparations ne sont pas effectuées, les fonds ne pourraient pas être transférés aux écoles pour éviter toute fraude.

Pour ce qui est des ressources sur budget national, il ressort des échanges, qu'il y a régulièrement du retard dans la mise à disposition de ces subventions caisses écoles allouées pour le fonctionnement des écoles. Ces retards sont sources de déperdition indirecte car l'absence de ressources occasionne le mauvais fonctionnement des dites écoles.

3.2.5 COUVERTURE DES BESOINS VITAUX DES ÉCOLES: UN DÉFI PERMANENT NON ENCORE RELEVÉ

Les entretiens avec les directeurs des écoles et les membres des associations FEFFI renseignent que les ressources de la caisse école n'ont jamais comblé les attentes.

La quasi-totalité des enquêtés ont déclaré que les montants alloués à la caisse école ne couvrent pas les besoins des écoles. Pour la moitié des personnes enquêtées, elles estiment que les montants de la caisse école sont insuffisants contre 38% qui estiment qu'ils sont très insuffisants et 11% moyennement insuffisants. Parmi les enquêtés qui estiment que les montants sont très insuffisants, 95% proviennent des zones défavorisées, ce qui dénote de l'étendue des besoins à satisfaire dans les écoles situées dans les milieux enclavés.

Pour Chimier, C.; Harang, C. (2018), une condition essentielle à la conception et à la mise en œuvre réussie d'une politique de subventions aux écoles consiste à identifier et à formuler clairement les objectifs auxquels elle entend contribuer, à partir d'une analyse de la situation des écoles et de la politique sectorielle.

En effet, on note que les caisses écoles sont beaucoup plus utilisées pour les achats de matériels pédagogiques et didactiques (45%), les frais de transport pour le retrait des fonds (18%), l'achat de fournitures pour le fonctionnement administratif de l'école (19%), les fonds pour la récupération des manuels scolaires (16%) surtout en zones rurales et accessoirement la maintenance des infrastructures. Dans les certaines zones rurales, certains directeurs d'écoles ont déclaré que les membres de FEFFI ne se sont pas déplacés pour procéder au retrait de la caisse école à cause des frais de transport qui avoisineraient les montants à encaisser et des montants à décaisser qui sont moins élevés que la CE.

Il importe donc de revoir le circuit d'acheminement des caisses en explorant la piste de transfert monétaire via les opérateurs de téléphonies mobiles pour réduire les frais de transport qui viennent éroder la capacité financière des écoles à faire face aux besoins essentiels de leurs établissements.

3.2.6 LES CONTRIBUTIONS PARENTALES: UN PLAN DE SECOURS QUI NE COMBLE PAS TOUJOURS LES BESOINS DES ÉCOLES

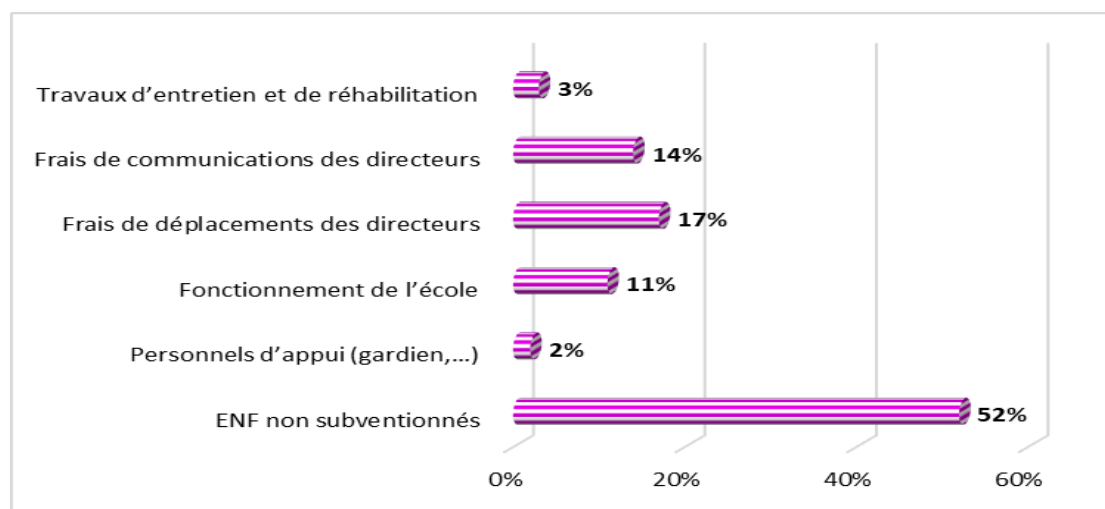
La dépense de la CE (Etat ou Partenaires Techniques et Financiers) est strictement limitée par le respect des dépenses éligibles, autrement l'école est sanctionnée de reverser les dépenses non éligibles. C'est surtout le motif de la participation financière ou matérielle des parents d'élèves pour l'amélioration notamment de l'environnement scolaire. Les contributions parentales représentent une part très importante dans les ressources destinées au fonctionnement des écoles bien qu'elles ne soient pas retracées dans les statistiques officielles. Aussi faudrait-il faire remarquer qu'elles ne comblent pas toujours les besoins des écoles. Elles viennent juste à la rescousse de l'Etat qui semble essoufflé par les dépenses de fonctionnement des établissements scolaires.

Parmi les 45% des directeurs qui estiment que les contributions parentales sont suffisantes, 98% se retrouvent dans les zones fortement urbaines où les besoins de fonctionnement des écoles sont maîtrisés avec le concours des parents souvent lettrés (les parents lettrés sont souvent convaincus de l'importance de l'accompagnement financier qu'il faut apporter aux écoles pour leur fonctionnement) et possédant un pouvoir d'achat plus ou moins modeste comparativement aux parents des zones défavorisées.

3.2.7 CONTRIBUTIONS PARENTALES À LA « CAISSE »: UN PLAN DE SECOURS POUR ASSURER LES DÉPENSES DU PERSONNEL ET LE FONCTIONNEMENT DES ÉCOLES

Les contributions parentales viennent combler un tant soit peu le vide laissé par l'Etat dans certains domaines. Pour des raisons d'insuffisance de ressources, certaines dépenses éligibles (travaux d'entretien et fonctionnement de l'école) ne sont pas totalement couvertes. Le gap est supporté par les contributions parentales. En plus de ces dépenses, d'autres non moins importantes sont exécutées sur les mêmes contributions parentales. Au titre de celles ci, on peut citer notamment les dépenses liées aux diverses communications du directeur dans le cadre professionnel et surtout celles afférentes à son déplacement pour des réunions administratives diverses. En l'absence de ressources des parents, le fonctionnement normal des écoles pourrait être compromis. En effet, selon l'Express (2023), en

plus des fournitures scolaires, il y a aussi l'argent qui doit être payé dans les écoles publiques. Les parents se plaignent des cotisations annuelles qui doivent être payées lors de l'inscription.



Graphique 5: Utilisation faite des contributions parentales

3.2.8 UNE FAIBLESSE MAJEURE DE LA « POLITIQUE » DES « CAISSES ÉCOLES »: LA COMPLEXITÉ DES CRITÈRES D'ALLOCATION

Des entretiens avec les parties prenantes, il ressort que l'une des faiblesses de la clé de répartition actuelle est sa complexité. Elle allie des critères qui sont difficilement accessibles aux responsables centraux qui sont pourtant censés les expliquer. En outre, la pertinence de certains critères, compte tenu du système d'information actuel au niveau du MEN semble difficilement soutenable.

4 DISCUSSION

4.1 APPUI DU PAEB AUX « CAISSES ÉCOLES »: UN RISQUE DE BLOCAGE DU FONCTIONNEMENT DES ÉCOLES

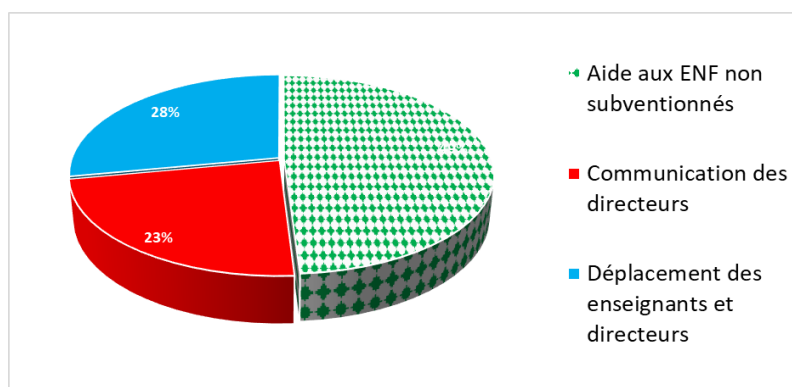
Le financement de la caisse école, instauré en 2019, repose sur une répartition disjointe des ressources: 70 % proviennent du budget national, tandis que 30 % sont alloués par le Programme d'Appui à l'Éducation de Base (PAEB). Cette dualité dans les sources de financement non seulement fragilise le fonctionnement des établissements scolaires, mais exacerbe également les inégalités dans l'allocation des ressources éducatives.

Les périodes de mise à disposition des fonds sont caractérisées par un manque de synchronisation, ce qui complique la gestion budgétaire des écoles. En conséquence, les établissements se retrouvent dans une situation critique, où les ressources nécessaires pour couvrir les besoins élémentaires sont souvent irrégulières, compromettant ainsi la continuité pédagogique et le bien-être des élèves.

Face à cette insuffisance de financement public, certaines écoles ont été contraintes de recourir à l'appui financier et matériel des parents d'élèves, ce qui crée une dépendance problématique et renforce l'idée d'un système éducatif à deux vitesses. Cette situation ne peut qu'interroger sur l'engagement réel de l'État envers l'éducation, soulignant ainsi l'urgence d'une réforme structurelle visant à garantir un financement stable, anticipé et équitable, essentiel à la pérennité du système éducatif.

4.2 LES DÉPENSES ÉLIGIBLES À LA CAISSE ÉCOLE: DES RESTRICTIONS PRÉJUDICABLES AU BON FONCTIONNEMENT DES ÉCOLES

Le graphique suivant fait la synthèse des nouvelles dépenses proposées par les acteurs de l'école pour figurer dans la liste des dépenses éligibles sur les ressources de la caisse école.



Graphique 6: Les nouvelles dépenses à rendre éligibles selon les enquêtés

Source: enquête de terrain, mars 2023

49% des personnes enquêtées proposent que les salaires des enseignants non fonctionnaires (ENF) soient intégrés à la liste des dépenses éligibles, 28% souhaiteraient que les dépenses liées au déplacement soit à la charge de la CE et 23% voudraient voir les charges de communication des directeurs d'écoles prises en compte dans les dépenses de la caisse école. Or, prendre en compte les salaires de cette catégorie d'enseignants par les caisses écoles reviendrait probablement à donner trop de responsabilités aux directeurs des écoles et ouvrirait la porte à toutes sortes de dérives.

4.3 LA NON FONGIBILITÉ ASYMÉTRIQUE DES CRÉDITS CE: UNE DIFFICULTÉ MAJEURE DE CONSOMMATION DES CE

La fongibilité est dite asymétrique car, si les crédits de personnel peuvent être utilisés pour d'autres natures de dépenses (fonctionnement, intervention, investissement...), l'inverse n'est pas permis. De ce fait, le montant des crédits de personnel voté pour chaque programme est limitatif.

Appliquer cette théorie à la caisse école reviendrait à donner aux directeurs d'écoles et aux FEFPI la possibilité de réallocation des dépenses de fonctionnement administratif vers les dépenses de fonctionnement pédagogique et du fonds de développement local de l'éducation vers les dépenses de fonctionnement pédagogiques aux fins de permettre aux écoles de réallouer leurs ressources non consommées sur le poste lié au fonctionnement pédagogique. L'inverse est proscrit.

5 CONCLUSION

Il se dégage de la présente recherche que si les « caisses écoles » ont dans une certaine mesure soulagé les peines des acteurs de l'école, il n'en demeure pas moins vrai qu'elles peinent à combler les attentes. Son pilotage ainsi que la mobilisation des ressources pour une couverture totale des besoins des écoles ont été souvent les points noirs évoqués par les bénéficiaires.

Sur la base d'analyses et de constats, nous avons formulé des recommandations. Elles portent sur les points ci-après:

Point 1: Renforcement des efforts budgétaires et équité dans les allocations

- Maintenir la priorité accordée au secteur de l'éducation tout en réhaussant l'enveloppe budgétaire dédiée au secteur éducatif et principalement à la caisse école (CE).
- Faire un plaidoyer en direction du Ministère des Finances et du Budget pour une réévaluation des crédits des caisses écoles.
- Orienter les investissements vers l'amélioration des indicateurs de qualité (ratios élève/enseignant, élèves/salle de classe, élève/manuel scolaire) à travers la construction des salles de classe, le recrutement et la formation des enseignants.
- Rationaliser les dépenses de fonctionnement au niveau du Ministère de l'éducation Nationale.

Point 2: Efficience allocative et technique ainsi que le renforcement des capacités

- Renforcer les capacités des acteurs intervenant dans la chaîne des dépenses publiques sur les mécanismes de consommation optimale des budgets, notamment ceux des caisses écoles.
- Poursuivre le renforcement de capacités des directeurs et des FEFPI pour une gestion efficiente et transparente des ressources
- Hâter la réflexion sur l'actualisation d'un nouveau circuit d'acheminement unique et simultané des CE qui intègre le transfert monétaire des ressources via les opérateurs de téléphonies mobiles.

- Former les démembrements de l'Unité de contrôle et d'Audit sur les techniques de détection de fuites des ressources et l'audit communautaire.

Point 3: Amélioration des performances du système éducatif

- Mettre en place des stratégies de réduction drastiques des redoublements qui constituent une énorme charge financière sur les faibles ressources allouées au système;
- Faire des subventions aux écoles, une question de souveraineté nationale.
- Envisager à moyen terme la suppression des cotisations parentales pour améliorer davantage les indicateurs d'accès.
- Revoir l'organisation administrative centrale actuelle du MEN de manière à supprimer les doublons de postes constatés.
- Poursuivre les efforts en matière de décentralisation/déconcentration.

Point 4: Poursuite de la réflexion sur certaines réformes importantes pour le secteur

- Différer la réflexion relative au transfert des ressources des kits scolaires et cantines scolaires à la caisse école.
- Envisager un partenariat de gestion des cantines scolaires par le Programme Alimentaire Mondial (PAM) pour une gestion plus efficiente.
- Envisager une convention avec l'UNICEF pour l'acquisition et la mise à disposition des kits scolaires auprès des bénéficiaires.

REFERENCES

- [1] Chimier, C., & Harang, C. (2018). Concevoir et mettre en œuvre une politique de subventions aux écoles. IIPE-UNESCO. Paris.
- [2] Garba, K. (2023). Politique de subventions de l'État aux écoles primaires publiques au Bénin: historique, faiblesses et défis. *Revue DJIBOUL*, 8, 269-286. Université Félix Houphouët-Boigny.
- [3] Groupe de la Banque Mondiale. (2025). Communiqué de presse. Consulté le 17 août 2025, sur banquemondiale.org.
- [4] L'Express. (2023). Ecole publique - Les parents se plaignent de la cotisation annuelle.
- [5] Ministère de l'Éducation Nationale et de l'Enseignement Technique et Professionnel. (2020). *Projet d'Appui à la Gestion Participative et Décentralisée de l'École*, Rapport final.

Contribution to the development of a modular approach to the cross-disciplinary integration of environmental skills training modules in initial training at secondary school level and in higher education

Ahodegnon Zéphyrin Magloire Dognon

Institute of Mathematics and Physical Sciences, University of Abomey-Calavi, Abomey-Calavi, Benin

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

ABSTRACT: This article proposes a curricular engineering approach to the identification of competency modules with a view to their integration into university and secondary vocational training. The curricular theory based on the choice of a recommended curriculum and a possible curriculum dictated by the axiological and epistemological dimensions served as a framework for this research. Methodologically, a corpus of environmental skills modules was analysed and their potential for integration into existing VET curricula was examined. As a result, a set of three modules respecting the conditions of transversality was identified and proposed for integration into vocational and university training in the field of industry within the framework of a didactic programme to be carried out.

KEYWORDS: curriculum, cross-disciplinary skills, cross-disciplinary integration, environment.

1 THEORETICAL FRAMEWORK

1.1 THE CONCEPT OF CURRICULUM

This research is a part of the curricular theory (Mœglin & Chaptal, 2016) developed by Franklin Bobbit (1919). This approach provides a fertile ground for revising and developing curriculum content. The axiological and epistemological dimensions of curriculum theory are relevant to this research. The axiological dimension places the human being and society as the goal, and the *curriculum* is based on values and goals. The epistemological dimension bases the curriculum on knowledge of content and processes. Barthes (2022) proposed methodologies for analysing curricular systems based on the epistemologies of the sociology of the *curriculum* developed by Forquin (2008). The concept of *curriculum* includes:

- The *formal curriculum* refers to the hierarchical set of content, tasks and procedures to be taught and learned within the framework of a teaching programme (class, school, year, etc.). The *curriculum* also conveys "typical sets of socially approved questions, procedures and answers" (ibid., 1989). The formal curriculum may be prescribed (official programme and instructions) but it may also be recommended, taking into account the axiological dimension of curriculum theory;
- The real, observable curriculum, which refers to what is actually taught and practiced;
- The produced curriculum: this is the curriculum experienced by pupils. We could say that the curriculum produced is what pupils retain at the end of their learning;
- The hidden curriculum, which represents what is hidden by the learner or by the involuntary action of the teacher, depending on his or her culture;
- The possible curriculum concerns the researcher's work of exploration and prospecting, justified by a reference system with the aim of pushing back the limits of what already exists. In this respect, this "possible curriculum remains virtual (in potential), as long as the conditions for its implementation have not been identified" (lange, 2014).

1.2 THE CONCEPT OF TRANSVERSAL SKILLS IN EDUCATION

The concept of competence

The concept of competence has been the subject of a large number of studies. There are several definitional approaches, among which Tardif's (2006) seems to be the most widely accepted, and it is in line with the development proposed in this document.

According to Tardif:

A competence is an ability to act based on the effective mobilization and combination of a variety of internal resources (knowledge, cognitive ability, metacognitive ability, relational know-how, procedural know-how, physiological resources, emotional resources, etc.) and external resources (networks, software, databases, documentary resources, members of the team, resources in the professional environment, etc.) within a given situation and context.

CROSS-CURRICULAR SKILLS

According to Tardif and Dubois (2013) *"a compétence is said to be cross-curricular because it has no disciplinary or professional anchor. In this sense, it is general in relation to disciplinary, specific or professional skills"*. Cross-curricular skills relate to personal skills (personal effectiveness, relationships and services, impact and influence, performance, cognitive skills) and generic professional skills (knowledge of legislation and regulations, economic knowledge, basic scientific and technological skills, understanding of the environment, information and communication technology skills, foreign language skills). Cross-disciplinary skills should therefore be seen as skills that can be used in a variety of professional situations. For this reason, a cross-disciplinary skill is non-disciplinary and is not anchored in a given profession.

THE CROSS-CUTTING INTEGRATION OF A TRAINING MODULE AND THE CONTEXT OF PROJECT

Cross-cutting integration or the integration of cross-cutting skills into existing training courses is defined as a concept which aims to take account of cross-cutting dimensions (such as gender, the environment, protection, etc.) in the training activities of an organization or a project. Following Tardif and Dubois (Ibid), we believe that the implementation of a competency, whether transversal or specific, is always highly contextualized; the characteristics and constraints of the context can never be ignored in the deployment of a competency.

Integration must take account of:

- The sector (trade, profession, module, etc.);
- The school curriculum (within the framework of a didactic program);
- The prescribed curriculum (program and study program guide, timetable, etc.).

Cross-disciplinary integration into an existing curriculum is done by substitution or by extension. In the first case, elements of the existing curriculum which are no longer relevant to the profession, for example because of technological and societal developments in the profession, are identified and replaced by a module identified for this purpose, taking into account the balance of the curriculum from the thematic and temporal points of view. In the second case, the cross-disciplinary skills module is added to the existing curriculum, taking into account the contextual factors mentioned above. In this case, the corollary is a heavier curriculum.

Two approaches to implementing cross-curricular integration:

The cross-curricular integration of subject content involves two approaches: *the approach based on the content of the profession and the modular approach*.

APPROACH BASED ON THE CONTENT OF THE PROFESSION

In this approach, the steering chain for a given field starts with demand engineering, which is updated by observing the market and conducting sector studies that highlight training needs. A list of occupations is then proposed. This is followed by supply engineering. For each trade, a description of the occupation and the work involved is provided, including the work process, the tasks and operations, the conditions under which they are carried out and the performance criteria associated

with the trade. On the basis of these descriptions, a comparative analysis of the tasks and operations involved in practicing the various trades will identify the tasks and operations that cut across the various trades. By combining the tasks and operations of the different professions, we can create a profession that meets the needs of the market and integrates the different professions. It is in this sense that one talk about *cross-disciplinary integration or the art of combining knowledge in the service of the general interest*.

THE MODULAR APPROACH

This approach focuses on modules. A module refers to three essential dimensions. Firstly, the term "module" essentially refers to the dimension of units, sequences or parts of content that form an autonomous whole. To this first dimension is added that of the organization of the content, which must be planned and logical (Legendre, 1988). Thirdly, the term 'module' highlights the dimension of independence and autonomy from the point of view of content, which means that a module, depending on the theme developed and the level of the learners for whom it is intended, is complete in itself. Once they have completed one module, learners can move on to another. In this approach, a module can be identified and developed by a scholarly community in a fully responsible manner so that it can find its place in existing or developing teaching and training objects.

1.3 THE RESEARCH PROBLEM

The cross-disciplinary integration of training content is a current issue in vocational training. Indeed, the development of new professional skills dictated by the economy tends to overshadow the need to take account of cross-disciplinary skills and disseminate them across different training courses in order to optimize them. Based on the axiological and epistemological dimensions of curriculum theory, we have analyzed the environmental skills modules that exist in the school and university curriculum in Côte d'Ivoire. The environmental theme is justified by a contextual requirement (the 2023 Dubai Conference on climate change, the Kyoto agreements, COP 21 to 28, etc.) and an institutional requirement (National Determined Contributions (NDCs) concern the reduction or prevention of GHG emissions). The aim is therefore to propose a possible curriculum dictated by a recommended curriculum for listing values (social values) and general principles to be respected (environmental protection, climate change), with the formalization remaining to be carried out locally in a situated manner. This research looks at the integration of environmental skills modules into existing vocational training courses. The aim is to propose training modules in environmental skills with a view to integrating them into the existing curriculum at CAP/BT and Bachelor/Master levels.

2 METHODS

The methodology initially consisted of analyzing the environmental skills modules. With a view to analyzing existing environmental training modules, an analysis grid was drawn up. It includes (1) the categories or criteria to be taken into account during the analysis and (2) the rating or evaluation levels which correspond to the values assigned to each category to indicate the degree of presence or importance of this characteristic in the element analyzed. It was decided to give priority to the categories of environmental skills modules with a close link to climate change, in view of recent developments in this area, as part of the proposal for a possible curriculum and a recommended curriculum. The rating or assessment levels for the category considered are: relevant, not very relevant and not relevant.

The corpus analyzed consists of a set of training modules in the field of the environment or training in the field of the environment available in the training offers of the universities and big schools (INP-HB, UNA, UFHB). These modules were supplemented by other module titles collected from the Department of Higher Education and Planning (DESP) from vocational training schools and private universities in Côte d'Ivoire. Around fifty environment-related topics were compiled and analyzed.

The modular approach was chosen to integrate environmental skills modules into existing vocational training. This required an examination of the potential for integrating the modules into existing training courses, taking into account three aspects: the non-disciplinary nature of the skill linked to this module, the absence of a focus on a given profession or trade, and the moderate genericity of the module being integrated. The competency or elements of competency in a module should not be integrated with a disciplinary competency describing an occupation or profession.

3 RESULTS

3.1 RESULTS OF THE ANALYSIS OF EXISTING ENVIRONMENTAL TRAINING MODULES

At higher education level, the analysis shows that there are around fifty environment-related subjects, and combining them makes it possible to propose around ten dealing with content closely related to climate change (Table 1).

Table 1. List of modules relating to climate change

N°	Module title	Module code
1	Environmental concepts and theories	CTE
2	Physical foundations of the environment	FP
3	Environmental management tools in ESIA ¹	OGE
4	Shared natural resources	RNP
5	Environmental analysis tools in ESIA	OAE
6	Integrated management of natural resources	GIRN
7	Technical methods in ESIA	MTE
8	Environment and society	ES
9	Environmental assessment and stakeholders	EEA
10	Environmental Development Project	
11	Climate change education	ECC

This list was submitted to a panel of around twenty teacher-researchers with expertise in energy, climate and the environment for their opinion, not only on the appropriateness of implementing the modules, but also on the appropriate school and/or university level for their development and integration.

TECHNICAL AND VOCATIONAL EDUCATION

Environmental skills modules have not been developed in existing technical education and vocational training curricula. However, some curricula, such as that for the "Refrigeration and air conditioning training stream" (BT level), do include environmental standards requirements. For example, Competency 2, entitled "*Integration into the social environment*", refers to the correlation between individual health, environmental protection and well-being. Skill 6 entitled « *Measures relating to health, safety at work and environmental protection* » briefly presents *judicious identification of ways of storing hazardous products and materials in compliance with environmental protection measures*.

It is also interesting to note that the analyses of the trade's situation systematically mention the trade's impact on the environment. For example, the revised CAP in refrigeration and air conditioning addresses the "environmental impact" of refrigerants. It goes without saying that there are opportunities for taking environmental skills into account in training courses, at least in the industrial sector, and the potential for integrating them needs to be explored.

3.2 RESULTS OF INTEGRATING ENVIRONMENTAL SKILLS MODULES INTO INITIAL TRAINING AT CAP/BT/LICENCE/MASTER'S LEVEL

Cross-disciplinary environmental skills modules identified for integration into existing training courses.

The following graph shows the results of the survey on the identification of environmental skills modules to be integrated into initial training courses.

¹ Environmental and social impact assessment

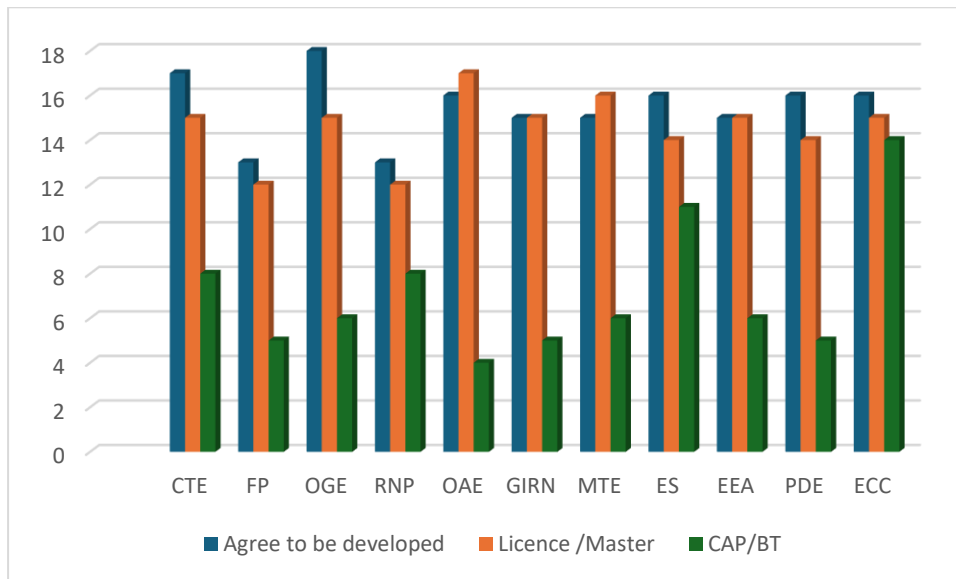


Fig. 1. Results of the survey on the identification of cross-disciplinary environmental skills modules

These results show a trend in favor of developing the "Environmental management tools in ESIA" and "Environmental analysis tools in ESIA" modules at bachelor's and master's level for higher education, followed by the "Climate change education" module at CAP and BT level for vocational high schools.

On the basis of these results, and in the light of the modular approach to integrating modules transversally into a training course, the modules were proposed for integration into vocational training courses at CAP and BT level in the industry sector and at Bachelor's and Master's level in the energy sector (see table 2).

Table 2. Potential modules to be integrated into initial and/or continuing training at CAP/BT/licence/Master's level

Cross-disciplinary modules offered for integration into initial training courses	CAP	BT and BTS	Licence	Master
Environmental management tools in ESIA			Licence BE Licence EE Licence PV	Master BE Master EE Master Energie et environnement
Environmental analysis tools in ESIA			Licence BE Licence EE Licence PV	Master BE Master EE Master Energy and Environment
Climate change education	IMPV Building electricity Equipment electricity General mechanics Steel construction	Electrotechnics Electricity Building Metal construction Electromechanical maintenance Mechanical maintenance Vehicle and machinery maintenance Boilermaking and welding Production systems maintenance (BTS)	Licence BE Licence EE Licence PV	

BE Biomass energy
 EE: Energy efficiency
 PV: Photovoltaic
 IMPV: PV Systems Installer and Maintainer

4 CONCLUSION

Analysis of the environmental skills modules has enabled us to identify those that can be integrated into existing initial training courses. Based on the concept of cross-disciplinary integration, modules were identified that could be proposed for dissemination in existing vocational training courses at both university and vocational high school level. The next step is to develop the modules identified, specifying the associated skill, the context in which it is to be performed, the general performance criteria, the skill elements and the specific performance criteria associated with each of them.

REFERENCES

- [1] Barthes, A. (2022). Methodologies for analyzing curricular systems. Treatise on research methodology in education and training sciences. hal-03679681.
- [2] Bobbitt, J.F. (1913). Some General Principles of Management Applied to the Problems of City School Systems. *Twelfth Yearbook of the National Society for the Study of Education*, Pt.1: 7-96.
- [3] Forquin, J.-C. (2008). Sociology of the curriculum. *Rennes: PUR*, 197 p.
- [4] Forquin, J.-C. (1989), *School and culture, the point of view of British sociologists*, De Bœck University, university publishing, Paris.
- [5] Lange, J-M. (2014). «Possible curriculum for Education for Sustainable Development: between participatory actions and multi-referential investigations of issues». *Environmental education*. Volume 11.
URL: <http://journals.openedition.org/ere/691>. DOI: 10.4000/ere.691
- [6] Legendre, R. (1988). Current dictionary of education. Larousse.
- [7] Mœglin, P. & Chaptal, A. (2016). Chapter 1: John Franklin Bobbitt. Pierre Mœglin. *Industrializing Education: An Annotated Anthology (1913-2012)*. *Presses Universitaires de Vincennes (PUV)*, pp.77-88. Collection «Médias», 978-2-84292-547-5. hal-01391778.
- [8] Tardif, J. (2006). Skills assessment. Documenting the development process. Chenelière Éducation.
- [9] Tardif, J. et Dubois, B. (2013). From the nature of cross-curricular skills to their assessment: a race against often insurmountable obstacles. in *Revue Française de Linguistique Appliquée*, Volume 18/1.

Variations spatio-saisonnères des paramètres physico-chimiques dans les eaux du lac de barrage KAN (Bouaké, Côte d'Ivoire)

[Spatio-seasonal variations of physico-chemical parameters in the waters of Lake KAN (Bouaké, Ivory Coast)]

Sékou Coulibaly^{1,2}, Soro Tieligounon Ali³, Morgan Paul Magouana Anvo², Siaka Ouattara¹, and Kouassi N'Gouan Cyrille²

¹Laboratoire de Biologie, d'Histologie et de Cytologie animale, UFR Sciences de la Nature, Université NANGUI Abrogoua, Côte d'Ivoire

²Laboratoire d'Hydrobiologie de la Station de Recherches en Pêche et Aquaculture Continentale du CNRA de Kongondekro, Bouaké, Côte d'Ivoire

³UFR Sciences et Technologies, Université Alassane OUATTARA de Bouaké, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: The Kan Lake plays a socio-economic role for the populations of Bouaké. However, due to increasing urbanization around it, the lake is becoming increasingly threatened. This study aims to examine the spatio-seasonal variations of the physico-chemical parameters of the lake. For this purpose, in-situ measurements and laboratory analyses were conducted using appropriate equipment. The results show that the Kan reservoir lake exhibits spatial homogeneity for certain parameters (temperature, pH, conductivity, salinity, dissolved oxygen, chlorine, alkalinity, hardness, iron, nitrite, nitrate, ammonium, orthophosphate, and transparency), but also significant variability for others (redox potential, depth). Seasonally, temperature, pH, redox potential, dissolved oxygen, salinity, chlorine, alkalinity, iron, nitrates, and nitrites vary significantly from one season to another. This situation illustrates the combined effect of tropical climatic conditions, water inputs, and human activities on the variation of physico-chemical parameters in the Kan reservoir lake. It also highlights the necessity to integrate seasonal variability into environmental management strategies to preserve water quality and aquatic biodiversity.

KEYWORDS: Lake Kan, Physico-chemical, Bouaké, spatio-seasonal.

RESUME: Le lac de barrage du Kan joue un rôle socio-économique pour les populations de Bouaké. Cependant, en raison de l'urbanisation grandissante autour, celui-ci devient de plus en plus menacé. Cette étude se propose d'étudier les variations spatiales et saisonnières des paramètres physico-chimiques du lac de barrage Kan. Pour ce faire des mesures in-situ et au laboratoire ont été réalisées avec du matériel adapté. Les résultats montrent que le lac de barrage Kan présente une homogénéité spatiale pour certains paramètres (température, pH, conductivité, salinité, oxygène dissous, chlore, alcalinité, dureté, fer, nitrite, nitrate, ammonium, orthophosphate et transparence), mais aussi une variabilité significative pour d'autres (le potentiel redox, la profondeur). Au niveau saisonnier, la température, le pH, le potentiel redox, l'oxygène dissous, la salinité, le chlore, l'alcalinité, le fer, les nitrates et nitrites ont une variabilité significativement différente d'une saison à une autre. Cette situation illustre l'effet combiné des conditions tropicales, des apports hydriques et des activités humaines la variation des paramètres physico-chimiques dans le lac de barrage Kan. Elles soulignent aussi la nécessité d'intégrer la variabilité saisonnière dans les stratégies de gestion environnementale pour préserver la qualité de l'eau et la biodiversité aquatique.

MOTS-CLEFS: Lac Kan, Physico-chimique, Bouaké, spatio-saisonnière.

1 INTRODUCTION

Depuis quelques années, le lac Kan joue un rôle socio-économique pour les populations de Bouaké. Il est utilisé comme zone d'adduction pour l'approvisionnement des ménages en eau potable. Il est aussi utilisé pour l'agriculture, la pêche et l'aquaculture ([1], [2], [3]). En plus du développement de ces activités, l'urbanisation devient de plus en plus menaçant pour ce lac de barrage. En effet, des quartiers précaires se sont développés avec un bas niveau d'infrastructures et d'équipements sanitaires à la périphérie du lac [3]. Tous les déchets générés par les activités domestiques sont susceptibles de polluer ce lac, ce qui pourrait constituer un danger pour les services qu'il rend [3]. Face à toutes ces menaces, plusieurs études ont été réalisées sur ce plan d'eau notamment celles de [3], sur l'état de la vulnérabilité à la pollution de la rivière Kan, et de [4] sur l'envasement du lac kan. Le lac de barrage du Kan bien qu'ayant une fonction importante dans l'approvisionnement en eau, en poisson, dans la recherche et le développement, restent peu documentés sous l'angle de la fluctuation des paramètres physico-chimiques. Ainsi, la présente étude se propose d'étudier les variations spatio-saisonnères des paramètres physico-chimiques dans le lac de barrage Kan, afin d'apporter plus de données scientifiques nécessaires pour une gestion durable du lac et la préservation de sa qualité écologique.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MILIEU D'ÉTUDE

Situé au Sud de la ville de Bouaké, le lac de barrage Kan est à 770 m de l'ancien corridor sud de Bouaké (figure 1). Il est construit sur le terroir du village de Kouadio Assèkro, dont il est distant de 300 m. Il a été créé en 1964 pour fournir de l'eau potable à la ville de Bouaké et ses environs [5]. Il est situé entre les latitudes 7°38'54.9"N et 7°41'59.5"N et les longitudes 5°02'16.3"W et 5°02'23.6"W. Le lac Kan est situé dans une zone caractérisée par un climat tropical humide de type baouléen, avec quatre saisons, et une pluviométrie moyenne de 1000 mm/an [3]. L'harmattan, le vent du Sahara, intervient dans la saison sèche entre janvier et février. Les quatre (04) saisons dans la région de Bouaké sont: la saison chaude, sèche et non pluvieuse (SCSNP) (novembre à février); la saison chaude, humide et pluvieuse (SCHP) (mars à juin); La saison fraîche, humide et peu pluvieuse (SFHPP) (juillet à août); la saison fraîche, humide et pluvieuse (SFHP) (septembre et octobre) [6].



Fig. 1. Localisation de la zone d'échantillonnage du lac de barrage Kan, Bouaké

2.2 COLLECTE ET ANALYSE DES DONNÉES

Les échantillonnages ont été réalisés de juin 2022 à mai 2023. Les mesures *in-situ* des paramètres physiques ont été réalisées à l'aide d'un multi-paramètres de marque HANNA® HI 9829. Cet appareil est connecté à une sonde numérique unique que l'on peut plonger dans l'eau. Dans notre étude, les paramètres physiques tels que la température, le pH, l'oxygène dissous, la conductivité, alcalinité et la salinité ont été mesurés *in-situ* entre 7 h et 10 h, à l'aide du multiparamètres HANNA HI 9829. Pour la détermination de la transparence de l'eau, le disque de Secchi a été plongé dans l'eau jusqu'à sa disparition totale, puis remonté jusqu'à ce qu'il soit de nouveau visible par l'opérateur. La distance à laquelle il redevient visible correspond à la transparence de l'eau. La profondeur de l'eau a été déterminée à l'aide d'un appareil portatif en forme d'une torche. Le bout de l'appareil a été mis au contact de l'eau, puis le bouton déclencheur actionné et la profondeur du lieu de mesure s'est affichée sur l'écran lumineux de l'appareil puis a été relevée. Pour les paramètres chimiques tels que chlore, Fer, cuivre, Plomb, nitrate, le nitrite, bromine, chrome, fluorure et acide cyanurique des échantillons d'eau ont été prélevés, dans une bouteille en polyéthylène d'un litre et soigneusement conservés à basse température ($T \leq 4^{\circ}\text{C}$) dans une glacière pour être immédiatement analysés au laboratoire d'hydrobiologie de la station du CNRA, au moyen d'une mallette de tests JBL Pro Aqua TestLab.

2.3 ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES

L'analyse de variance (ANOVA) a été utilisée pour comparer les variations des paramètres physico-chimiques d'une saison à l'autre et d'une station à une autre. Les analyses statistiques ont été faites au seuil de significativité de 5 % à l'aide du logiciel STATISTICA version

7.1. L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée à l'aide du logiciel R version 4.4.2. L'ACP a permis d'établir la typologie des stations et la corrélation entre les paramètres physico-chimiques.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 RÉSULTATS

3.1.1 VARIATION SPATIALE DES PARAMÈTRES PHYSICOCHIMIQUES DANS LE LAC DE BARRAGE DU "KAN"

Cette section présente les résultats des seize paramètres physico-chimiques (Température, pH, Oxygène dissous, conductivité, salinité, chlore, alcalinité, dureté, fer, Nitrates, Nitrites, ortho-phosphate, Ammonium, phosphate, Transparence, profondeur) mesurés au niveau des stations du lac de barrage kan.

La température moyenne enregistrée dans les eau du lac de barrage kan durant la période d'étude est de $27,97 \pm 1,32$ C. la température minimale ($27,79^\circ\text{C}$) a été enregistrée à la station ST1 du lac, et la maximum ($28,16^\circ\text{C}$) au niveau de la station ST3. Le Potentiel d'Hydrogène (pH) oscille entre 8,45 et 8,94. Le minimum a été enregistré à la station ST1 et le maximum à la station ST5. La valeur moyenne annuelle du pH enregistré au niveau du lac est de $8,7 \pm 0,57$ °C (Tableau I). Le redox varie de 66,39 à 119,36 %. Le minimum a été relevé à la station ST5 et le maximum à la station ST1. La valeur moyenne du redox est de $91,67 \pm 49,47$ % (Tableau I). Le taux d'oxygène dissous dans le lac oscille de 2,61 à 3,61 mg/l. Le minimum (2,61 mg/l.) a été obtenu à la station ST3 et le maximum au niveau de la station ST5. La valeur moyenne de l'oxygène dissous est de $3,12 \pm 1,37$ mg/l (Tableau I). La conductivité oscille entre 359,33 et 370,76 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (Tableau I). Le minimum a été enregistré à la station ST4 et le maximum a été observé à la station ST2. La conductivité moyenne est de $365,75 \pm 39,06$ $\mu\text{s}/\text{cm}$. Pour la salinité, les valeurs enregistrées sont constantes et égales à $0,19 \pm 0,01$ % au niveau de toutes les stations de prélèvement sur le lac. Au niveau du lac de barrage du kan, la concentration moyenne de Chlore varie de 1,33 à 1,82 mg/L d'une station à l'autre, avec une moyenne annuelle de $1,54 \pm 1,48$ mg/L (Tableau I). La valeur moyenne de l'alcalinité est de $196,06 \pm 69,79$ mg/L. Elle varie de $176,21 \pm 56,55$ (ST4) à $202,11 \pm 80,68$ mg/L (ST2). La dureté de l'eau varie de 163,79 à 214,42 mg/L. La valeur moyenne de la dureté est de $179,11 \pm 96,84$ mg/L. La concentration de fer de l'eau dans le lac de barrage kan varie de 0,40 à 1,25 mg/L. La valeur minimale a été enregistrée au niveau de de la station ST2 et la maximale à la station ST1, avec une moyenne de $0,75 \pm 1,47$ mg/L. Le taux de nitrate varie de 2,54 mg/L (ST3) à 3,34 mg/L (ST5). La concentration moyenne de nitrate dans le lac sur la période d'étude est de $2,91 \pm 3,28$ mg/L. La concentration du nitrite varie de 0,22 mg/L (ST1) à 0,28 mg/L (ST4). La valeur moyenne des nitrites enregistrée au cours de notre travail est de $0,26 \pm 0,01$ mg/L (Tableau I). Dans le lac de barrage Kan, la concentration moyenne d'Orthophosphate varie de 0,03 mg/L (ST1, ST4 et ST5) à 0,05 mg/L (ST3), avec une moyenne annuelle de $0,04 \pm 0,02$ mg/l. Concernant l'ammonium, la valeur est $0,05 \pm 0,04$ mg/L. Il oscille entre 0,04 (ST2 et ST3) à $0,08 \pm 0,06$ mg/L. La valeur moyenne de la transparence est de $43,75 \pm 11,32$ cm. La transparence minimale a été enregistrée au niveau de station ST5 (41,63 cm), alors que la maximale a été observée dans la station ST2 (45,85 cm). La profondeur des eaux du lac de barrage kan est comprise entre 2,54 m à la station ST3 et 7,64 m à la station ST5. La profondeur moyenne est de $4,21 \pm 1,56$ m (Tableau I).

Au niveau spatial, l'analyse de variance a montré une différence significative entre les stations pour le rédox et la profondeur (Anova; $p < 0,05$). A l'exception de ces deux paramètres, les autres paramètres ne présentent aucune différence significative d'une station à une autre dans le lac de barrage Kan (Anova; $p > 0,05$).

Tableau 1. Variations spatiales des paramètres physico-chimiques dans le lac KAN à Bouaké, de juin 2022 à mai 2023

PARAMÈTRES		ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	Min	Max	An	P
Température	Moy	27,79	28,06	28,16	27,90	27,95	27,79	28,16	27,97	0,929
	Ec	1,32	1,37	1,37	1,35	1,30	1,30	1,37	1,32	
PH	Moy	8,45	8,62	8,73	8,72	8,94	8,45	8,94	8,69	0,126
	Ec	0,48	0,54	0,52	0,51	0,74	0,48	0,74	0,57	
Rédox	Moy	119,36	101,22	88,38	83,02	66,39	66,39	119,36	91,67	0,013
	Ec	35,42	46,41	53,54	46,81	51,43	35,42	53,54	49,47	
OD	Moy	3,39	2,79	2,61	3,19	3,61	2,61	3,61	3,12	0,133
	Ec	1,50	1,28	1,07	1,40	1,46	1,07	1,50	1,37	
Conductivité	Moy	363,97	370,76	370,13	359,33	364,55	359,33	370,76	365,75	0,995
	Ec	90,28	92,04	91,80	89,75	90,68	89,75	92,04	89,06	
Salinité	Moy	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,325
	Ec	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
Chlore	Moy	1,33	1,33	1,82	1,61	1,63	1,33	1,82	1,54	0,826
	Ec	1,35	1,25	1,63	1,68	1,54	1,25	1,68	1,48	
Alcalinité	Moy	200,21	202,11	202,00	176,21	199,79	176,21	202,11	196,06	0,755
	Ec	76,17	58,14	56,55	77,61	80,68	56,55	80,68	69,79	
Dureté	Moy	188,21	164,11	163,79	214,42	165,00	163,79	214,42	179,11	0,408
	Ec	91,93	86,04	86,51	134,40	73,99	73,99	134,40	96,84	
Fer	Moy	1,25	0,40	0,44	0,98	0,66	0,40	1,25	0,75	0,373
	Ec	2,37	0,91	0,40	1,68	1,05	0,40	2,37	1,47	
Nitrate	Moy	2,76	3,08	2,54	2,82	3,34	2,54	3,34	2,91	0,957
	Ec	3,14	3,39	2,95	3,18	3,93	2,95	3,93	3,28	
Nitrites	Moy	0,22	0,27	0,25	0,28	0,26	0,22	0,28	0,26	0,800
	Ec	0,14	0,16	0,15	0,19	0,20	0,14	0,20	0,17	
Ortho phosphate	Moy	0,03	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,05	0,04	0,097
	Ec	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	
Ammonium	Moy	0,05	0,04	0,04	0,06	0,08	0,04	0,08	0,05	0,527
	Ec	0,01	0,01	0,01	0,02	0,06	0,01	0,06	0,04	
Transparence	Moy	44,32	45,84	43,53	43,42	41,63	41,63	45,84	43,75	0,853
	Ec	13,37	13,31	10,17	8,94	10,97	8,94	13,37	11,32	
Profondeur	Moy	3,71	3,34	2,54	3,84	7,64	2,54	7,64	4,21	0,001
	Ec	0,94	0,86	0,73	1,73	1,83	0,73	1,83	2,19	

Ec: Ecart-type

3.1.2 VARIATION SAISONNIÈRES DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES DANS LE LAC DE BARRAGE DU "KAN"

Les valeurs saisonnières de la température dans le lac de barrage kan varient de 26 °C (SFHPP) à 28,91°C (SCHP). L'amplitude thermique annuelle des eaux du lac de barrage est 2,91 °C. La valeur moyenne au cours de la période d'étude est de 27,97±1,32° C. Les valeurs Potentiel d'Hydrogène (pH) oscillent entre 8,36 et 9,16. Le pH minimum a été enregistré pendant la saison chaude sèche et non pluvieuse (SCSNP) et le maximum, durant la saison chaude humide et pluvieuse (SCHP). La valeur moyenne annuelle du pH de l'eau du lac est de 8,69±0,57 °C (Tableau II). Le redox varie de 34,25 à 115,12 %. Le redox minimum a été relevé à la SFHP et le maximum à la SCSNP (Tableau II). Le taux d'oxygène dissous dans le lac oscille de 2,48 à 3,78 mg/l. Le minimum a été obtenu pendant la SCSNP et le maximum durant la SFHP, avec une moyenne annuelle de 3,12 ± 1,37 mg/l. La conductivité oscille entre 344,00 et 391,33 µs/cm. Le minimum a été enregistré pendant la SCSNP et le maximum a été observé à la saison la SFHPP. Pour la salinité, seul celui obtenu pendant la SFHP (0,17%) diffère des autres saisons (SFHPP, SCSNP et SCHP) où le taux de salinité est de 0,19%. Au niveau du lac de barrage du kan, la concentration moyenne de Chlore varie de 0,63 (SCHP) à 2,95 mg/L (SFHP). La plus faible alcalinité totale (145,33mg/L) a été enregistrée à la SFHP et l'alcalinité la plus élevée (228,57 mg/L) durant la saison SCHP, avec une moyenne annuelle de 196,06±69,79 mg/L. La dureté de l'eau varie de 129,87 mg/L (SFHPP) à 201,77 mg/L (SCSNP). La concentration de fer de l'eau dans le lac de barrage kan varie de 0,12 à 1,60 mg/L. La valeur minimale a été enregistrée pendant la SCHP, et maximale pendant la SFHP. La concentration du nitrate dans le lac de barrage du kan, varie entre 0,55 mg/L pendant la SCHP à 7,42 mg/L au cours de la SFHP. La concentration des nitrites varie entre 0,11 mg/L (SCHP) et 0,39 mg/L (SFHP). La valeur moyenne de nitrite enregistrée au cours de notre travail est de 0,26±0,01

Variations spatio-saisonnères des paramètres physico-chimiques dans les eaux du lac de barrage KAN (Bouaké, Côte d'Ivoire)

mg/L. Dans le lac de barrage Kan, la concentration moyenne d'Orthophosphate varie de 0,03 mg/L (SFHP et SFHPP) à 0,04 mg/L (SCSNP et SCHP), avec une moyenne annuelle de $0,04 \pm 0,02$ mg/L. La concentration moyenne d'ammonium enregistrée est de $0,05 \pm 0,03$ mg/L; cette valeur varie de 0,04 (SFHP, SFHPP et SCSNP) à 0,08 mg/L (SCHP). La valeur moyenne de la transparence est de $43,75 \pm 11,32$ cm. La transparence minimale a été enregistrée au cours de SFHP (39,60 cm), alors que la maximale a été observée pendant la SCSNP (48,49 cm). La profondeur du lac de barrage kan au niveau des stations d'échantillonnage est comprise entre 3,61 m (SCHP) et 4,75 m (SFHPP). La profondeur moyenne est de $4,21 \pm 2,19$ m (Tableau II).

Au niveau statistique, l'analyse de variance a montré une différence significative entre les saisons pour les paramètres suivants: Température, pH, oxygène dissous, rédox, salinité, chlore, alcalinité, fer, nitrites, nitrate et transparence (Anova, $p < 0,05$).

Tableau 2. Variations saisonnières des paramètres physico-chimiques dans les stations du lac de barrage du Kan, de juin 2022 à mai 2023

PARAMÈTRES		SAISONS				MOYENNE			p
		SFHP	SFHPP	SCSNP	SCHP	Min	Max	An	
Température	Moy	28,25	26,00	27,89	28,91	26,00	28,91	27,97	0,0001
	Ec	0,94	0,29	1,15	0,82	0,29	1,15	1,32	
pH	Moy	8,60	8,63	8,36	9,16	8,36	9,16	8,69	0,0001
	Ec	0,26	0,70	0,43	0,46	0,26	0,70	0,57	
Rédox	Moy	34,25	77,19	115,12	100,28	34,25	115,12	91,67	0,0001
	Ec	56,99	28,97	36,88	42,56	28,97	56,99	49,47	
Oxygène Dissous	Moy	3,78	2,84	2,48	3,67	2,48	3,78	3,12	0,001
	Ec	0,94	1,40	1,19	1,42	0,94	1,42	1,37	
Conductivité	Moy	367,73	391,33	344,00	377,33	344,00	391,33	365,75	0,282
	Ec	9,43	18,59	143,52	17,30	9,43	143,52	89,06	
Salinité	Moy	0,17	0,19	0,19	0,19	0,17	0,19	0,19	0,0001
	Ec	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
Chlore	Moy	2,95	2,80	1,18	0,63	0,63	2,95	1,54	0,0001
	Ec	1,30	2,02	1,09	0,22	0,22	2,02	1,48	
Alcalinité	Moy	145,33	166,67	202,54	228,57	145,33	228,57	196,06	0,0001
	Ec	46,27	60,74	82,61	45,30	45,30	82,61	69,79	
Dureté	Moy	158,00	129,87	201,77	187,83	129,87	201,77	179,11	0,078
	Ec	118,76	88,02	115,16	46,02	46,02	118,76	96,84	
Fer	Moy	1,60	1,32	0,82	0,12	0,12	1,60	0,75	0,008
	Ec	2,75	1,58	1,26	0,08	0,08	2,75	1,47	
Nitrate	Moy	7,42	4,23	2,43	0,55	0,55	7,42	2,91	0,0001
	Ec	2,67	2,32	3,10	0,15	0,15	3,10	3,28	
Nitrite	Moy	0,39	0,33	0,30	0,11	0,11	0,39	0,26	0,0001
	Ec	0,13	0,10	0,15	0,14	0,10	0,15	0,17	
Orthophosphate	Moy	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,797
	Ec	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	
Ammonium	Moy	0,04	0,04	0,04	0,08	0,04	0,08	0,05	0,169
	Ec	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	
Transparence	Moy	39,60	42,27	48,49	41,03	39,60	48,49	43,75	0,015
	Ec	7,16	11,03	9,15	13,75	7,16	13,75	11,32	
Profondeur	Moy	4,71	4,75	4,29	3,61	3,61	4,75	4,21	0,264
	Ec	2,05	2,20	2,38	1,98	1,98	2,38	2,19	

Saison Fraîche Humide et Peu Pluvieuse (SFHPP), Saison Fraîche Humide et Pluvieuse (SFHP), Saison Chaude Sèche et Non Pluvieuse (SCSNP), Saison Chaude Humide et Pluvieuse (SCHP)

3.1.3 ANALYSE EN COMPOSANTE PRINCIPALES

Les résultats de l'analyse en composantes principales réalisée entre les paramètres physico-chimiques des stations du lac Kan sont expliqués par les axes 1 et 2 du plan factoriel (figure 2 et 3). Ces axes 1 (41,80%) et 2 (31,76 %) cumulent ensemble plus de 50 % des

variances exprimées (73,56 %). La figure 2 et 3 nous montre qu’on peut regrouper les stations du lac en 3 groupes de station: groupe 1, groupe 2 et groupe 3.

Le groupe 1, composé des stations ST2 et ST3 (figure 2), est caractérisé par des valeurs élevées de température, de conductivité, d’alcalinité et d’orthophosphate (Tableau 3). Le groupe 2 est constitué d’une seule station (ST5). Il est caractérisé par des valeurs élevées de pH, de la profondeur, de l’ammonium et de nitrate (Tableau 3). Le groupe 3 regroupe les stations ST1 et ST4 (Figure 2). Il est caractérisé par des valeurs élevées de fer et de la dureté (Tableau 3).

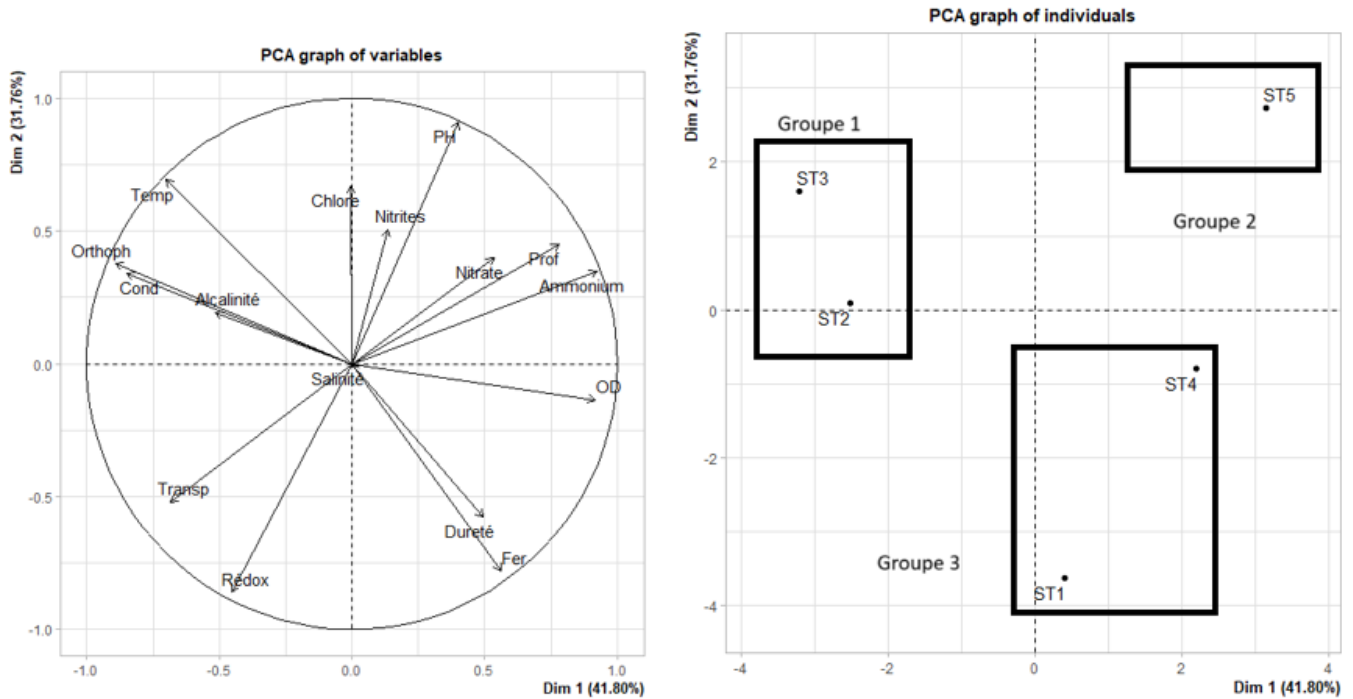


Fig. 2. Analyse en composante principale réalisée entre les paramètres physico-chimiques et les stations du lac Kan, de juin 2022 à mai 2023

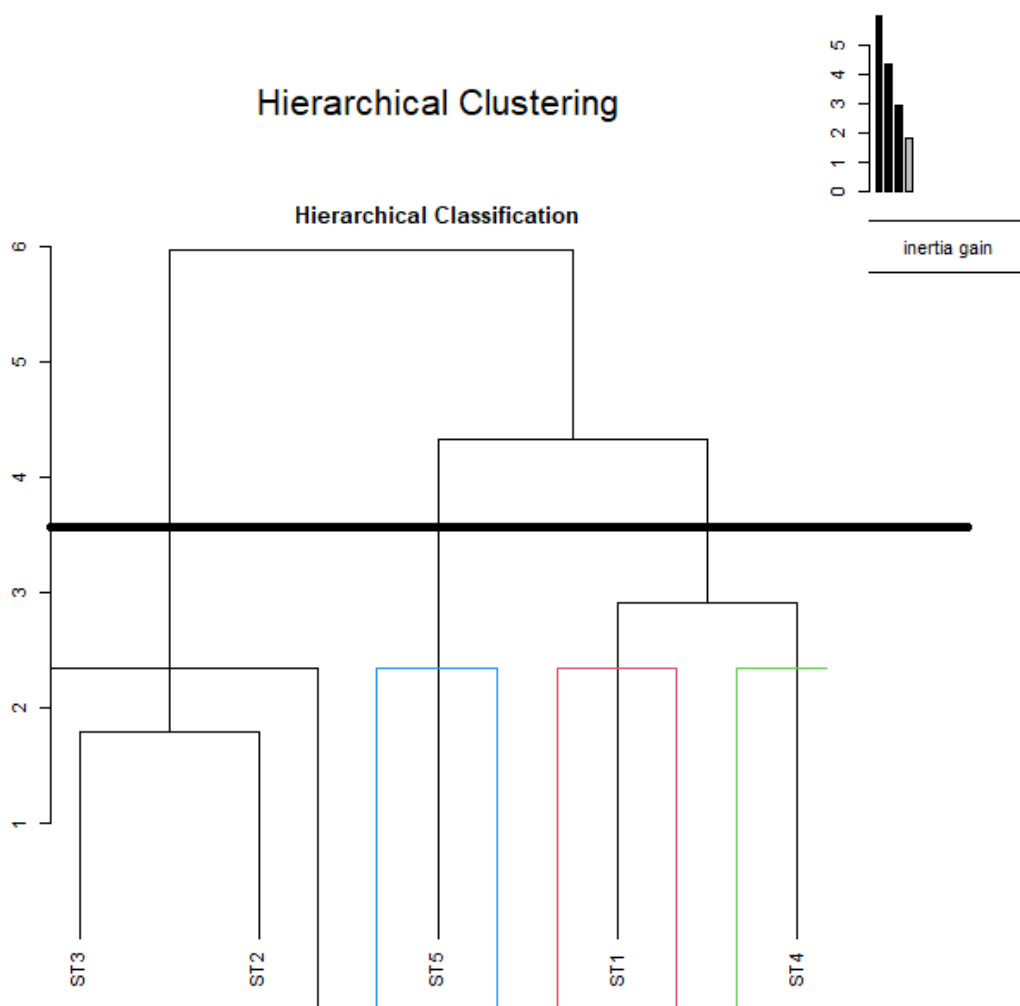


Fig. 3. Analyse de classification hiérarchique des stations d'échantillonnage du lac Kan, de juin 2022 à mai 2023

Tableau 3. Valeurs moyennes et Écart-type des groupes de station obtenus à partir de l'ACP réalisé sur les paramètres physico-chimiques des stations du lac Kan, de juin 2022 à mai 2023

PARAMÈTRES	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3
Temp	28,11 ± 1,37	27,95 ± 1,3	27,84±1,33
PH	8,675 ± 0,53	8,94 ± 0,74	8,585 ± 0,49
Rédox	94,8 ± 49,97	66,39 ± 51,43	101,19 ± 41,12
OD	2,7 ± 1,17	3,61 ± 1,46	3,29 ± 1,45
Conductivité	370,445 ± 91,92	364,55 ± 90,68	361,65 ± 90,01
Salinité	0,19 ± 0,01	0,19 ± 0,01	0,19 ± 0,01
Chlore	1,575 ± 1,44	1,63 ± 1,44	1,47 ± 1,51
Alcalinité	202,055 ± 57,345	199,79 ± 80,68	188,21 ± 76,89
Dureté	163,95 ± 86,27	165 ± 73,99	201,315 ± 113,165
Fer	0,42 ± 0,655	0,66 ± 1,05	1,115 ± 2,025
Nitrate	2,81 ± 3,17	3,34 ± 3,93	2,79 ± 3,16
Nitrites	0,26 ± 0,155	0,26 ± 0,2	0,25 ± 0,165
Ortho phosphate	0,045 ± 0,03	0,03 ± 0,02	0,03 ± 0,02
Ammonium	0,04 ± 0,01	0,08 ± 0,06	0,055 ± 0,015
Transp	44,685 ± 11,74	41,63 ± 10,97	43,87 ± 11,155
Profondeur	2,94 ± 0,795	7,64 ± 1,83	3,775 ± 1,335

3.2 DISCUSSION

Les résultats obtenus montrent que les paramètres physico-chimiques du lac Kan ont des variations spatiales et saisonnières significatives pour certains. Cette observation est conforme à celle de plusieurs études réalisées dans des écosystèmes similaires à celui du lac Kan ([7], [8]). L'analyse de variance a révélé une différence significative entre les stations concernant le potentiel rédox et la profondeur. Cette distribution spatiale hétérogène est cohérente avec les observations faites dans d'autres lacs en Côte d'Ivoire, tels que les lacs Lopkoho et Morrison au nord et Kossou ([7], [8]). En Afrique subsaharienne, l'un des exemples est celui du lac Nokoué au Bénin, où la profondeur varie significativement entre les stations. Cette variation de la profondeur des eaux des lacs affecte d'autres paramètres comme le rédox [9].

Des variabilités saisonnières significatives ont été observées pour la température, le pH, l'oxygène dissous, le rédox, la salinité, le chlore, l'alcalinité, le fer, les nitrites, nitrates et la transparence dans le lac Kan. Ces différences significatives entre les saisons est le plus souvent observées dans les régions à climat bimodal, comme au centre de la Côte d'Ivoire, où les fluctuations des précipitations influencent fortement le bilan hydrologique et la qualité des eaux des lacs de barrage [10]. Ces résultats témoignent d'une variation saisonnière importante de ces paramètres physico-chimiques dans le lac Kan. Ceci montre que les conditions climatiques sont importantes pour évaluer les variations spatio-saisonnières des paramètres environnementaux. L'augmentation, en saison SFHP, des concentrations d'oxygène dissous, de chlorure, de fer ainsi que des nutriments tels que nitrates et nitrites pourrait être attribuée à un renouvellement de l'eau, à des apports de matières organiques et minérales par les ruissellements [7]. Aussi, la saison humide stimule la production primaire et accroît les processus biochimiques libérant ces éléments dans l'eau [9]. En revanche, les valeurs maximales du potentiel rédox et de la transparence apparaissent en saison SCSNP (saison chaude sèche et non pluvieuse). En effet, pendant cette période on assiste à un faible apport en eau de surface. L'augmentation du rédox dans cette période reflète une meilleure oxydation des eaux en raison de la moindre couverture nuageuse et d'une forte intensité solaire. La transparence élevée s'explique par la réduction des apports sédimentaires et de particules liés à l'absence de pluie. Ces résultats sont similaires à ceux observés dans la plupart des écosystèmes lacustres d'Afrique, notamment ceux de la Côte d'Ivoire ([7], [11]). La saison SCHP (saison chaude humide et pluvieuse) est caractérisée par des pics de température, de pH et d'alcalinité. Une température élevée et une humidité optimale favorisent des réactions chimiques intenses, notamment la dissolution de minéraux alcalins et une augmentation de l'activité biologique. Le pH élevé est souvent corrélé aux processus photosynthétiques qui consomment du CO₂ et rendent l'eau plus basique ([12], [13]).

L'analyse en composantes principales (ACP) a permis de distinguer trois groupes de stations avec des caractéristiques distinctes. Le groupe 1 (ST2, ST3) est dominé par des valeurs élevées de température, conductivité, alcalinité et orthophosphate. Cette caractéristique reflète généralement des zones ayant une forte activité biogéochimique et une probable influence des apports externes d'ions et nutriments. Ce résultat est similaire aux observations faites dans d'autres lacs africains confrontés à des apports anthropiques significatifs ([8], [9], [7]). Le groupe 2 (ST5) est caractérisé par une forte profondeur, des valeurs élevées de pH, d'ammonium et de nitrate. Ces paramètres traduisent une zone potentiellement plus oxydée et profonde où les réactions oxydatives sont fréquentes. Cela reflète un environnement à la fois trophique et oxygéné. Cette zone est comparable à des secteurs observés dans le lac Kossou en Côte d'Ivoire où la profondeur influence les réactions chimiques de l'eau [8]. Le groupe 3 (ST1, ST4) est caractérisé par des valeurs élevées en fer et dureté. Ce résultat pourrait être expliqué par une influence géologique locale et à un dépôt sédimentaire important. Des résultats similaires ont été obtenus par [9] dans le lac Nokoué au sud du Bénin.

4 CONCLUSION

Le lac de barrage Kan présente une homogénéité spatiale pour certains paramètres (température, pH, conductivité, salinité, oxygène dissous, chlore, alcalinité, dureté, fer, nitrite, nitrate, ammonium, orthophosphate et transparence), mais aussi une variabilité significative pour d'autres (potentiel redox, profondeur). Au niveau saisonnier, la température, le pH, le potentiel redox, l'oxygène dissous, la salinité, le chlore, l'alcalinité, le fer, les nitrates et nitrites ont une variabilité significativement différente d'une saison à une autre. Cette situation illustre l'effet combiné des conditions tropicales, des apports hydriques et des activités humaines la variation des paramètres physico-chimiques dans le lac de barrage Kan. Elles soulignent aussi la nécessité d'intégrer la variabilité saisonnière dans les stratégies de gestion environnementale pour préserver la qualité de l'eau et la biodiversité aquatique.

REFERENCES

- [1] E. A. C. T. Mel & B. Yéo, «Problématique de l'approvisionnement en eau potable dans la ville de Bouaké (Côte d'Ivoire),» *Revue Ivoirienne des Sciences Historiques*, 1, 40, 2016.
- [2] F. N. Kouassi, I. B. Diomandé & F.J. Kouadio, «Apport Des Nappes Profondes À L'amélioration De La Desserte En Eau De Consommation Dans Le Bassin Versant Du Kan (Côte d'Ivoire),» *European Scientific Journal, ESJ*, 16, 260, 2020.
- [3] L.O. Ble, T. D. Soro, Ki, A. E. Kouassi & G. S. Degny, «Évaluation de la vulnérabilité à la pollution du bassin versant de la rivière kan, Centre de la Côte d'Ivoire», *Afrique Sci*, 21, 141-153, 2022.
- [4] E.Z Dadja, K. E. KOFFI, D. SYLLA et K.S. KOKO, «Analyse diachronique de la dynamique urbaine et de l'envasement du lac du barrage du kan de Bouaké côte d'ivoire». *Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou*, 7 (2), 35-56, 2018.

- [5] O. F. Fofana, K. E. Ahoussi, et A. S. Koffi, «Cartographie Et Identification Des Activités Sources De Nuisances Et De Pollutions Dans Le Bassin Versant Du Barrage Du Kan De Bouake »Côte d'Ivoire«. *European Scientific Journal, ESJ*, 13 (5), 303, 2017. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n5p303>.
- [6] Yesso P., D. Kone, Meyer C., In: «Réunion de Coordination FAO-IAEA sur l'Amélioration de la Productivité du Bétail Indigène Africain en Utilisant les Méthodes Radio-immunologiques et Apparentées». 3. Bouaké: IDESSA, 22 p. Réunion de coordination FAO/IAEA sur l'amélioration de la productivité du bétail indigène africain en utilisant les méthodes radio-immunologiques et apparentées. 3, 1991-05-20/1991-05-25, Bingerville (Côte d'Ivoire), 1991.
- [7] T. A. Soro, K. D. Silué, Z. M. Gogbé, L. Coulibaly, & G. G. Bi, «Paramètres physico-chimiques des eaux du bassin du Haut Bandama Côte d'Ivoire». *Synthèse: Revue des Sciences et de la Technologie*, 27 (1), 33-48, 2021.
- [8] N. Koné, H. Boguhé, A. S. N'da, K. B. Kien, & S. Berté, «Caractérisation physico-chimique des eaux du lac du barrage hydroélectrique de Kossou, fleuve Bandama, Côte d'Ivoire». *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, 39, 55-69, 2022.
- [9] H. B. P. Capo-Chichi, D. Adandedjan, T. M. A. Houelome, & P. Laleye, «Physico-chimie et pollution organique du lac Nokoué au Sud du Bénin». *Journal of Applied Biosciences*, 170 (1), 17752-17774, 2022.
- [10] C. S. Dekoula, B. Kouame, E. K., N'goran, F. Yao, J. N. Ehounou, & N. Soro, «Impact de la variabilité pluviométrique sur la saison culturale dans la zone de production cotonnière en Côte d'Ivoire». *European Scientific Journal, ESJ*, 14 (12), 143-156, 2018.
- [11] N. Grogga, «Structure, fonctionnement et dynamique du phytoplancton dans le lac de Taabo Côte d'Ivoire» (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Toulouse-INPT), 2012.
- [12] V. Tidou, A. S., B. Y. Ossey, & P. Houenou, (2001), Evaluation de l'état trophique du lac de B Mambo, uyo Côte d'Ivoire: aspects physico-chimiques et biologiques. *J. Soc. Ouest-Afr. Chim*, 11, 95-134, 2001.
- [13] J. Carstensen, «Statistical principles for ecological status classification of Water Framework Directive monitoring data». *Marine Pollution Bulletin* 55: 3–15, 2007.

Caractérisation des espaces verts de deux villes en pleine expansion de la Côte d'Ivoire: Cas des villes de Daloa et Bouaflé (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire)

[Characterization of green spaces in two rapidly expanding cities in Côte d'Ivoire: Case of Daloa and Bouaflé cities (Central-West of Côte d'Ivoire)]

Kanga Justin Kouassi¹, Affia Sonmia Francia Kossonou¹, Yao Bertin Kouakou¹, and Kouadio Henri Kouassi^{1,2}

¹Maître-Assistant, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa), Laboratoire de Biologie et Ecologie végétales, UFR
Agroforesterie, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

²Professeur Titulaire, Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa), Laboratoire de Biologie et Ecologie végétales, UFR
Agroforesterie, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: Green spaces have always played a crucial role in maintaining the balance of the urban ecosystem. However, very few scientific studies have focused on these spaces of high economic, social, and environmental value. This study was therefore conducted to characterize the types of urban forest management in the cities of Daloa and Bouaflé. To this end, a floristic inventory combining surface survey and mobile survey methods was carried out in all types of urban green spaces. Nine types of green spaces were identified in Daloa and eight in Bouaflé. The main results indicate a very high degree of similarity between the management types in these two localities, both in terms of floristic composition and management policies. These green spaces lack proper maintenance and are characterized by a mix of local and introduced plant species. The majority of these green spaces were created without a proper development plan, and a large number of plant species have regenerated naturally. However, planners generally favor exotic species for their aesthetic appeal, to the detriment of local plant species. This type of development raises numerous questions that warrant further investigation through additional studies in order to achieve a sustainable city model.

KEYWORDS: Characteristics, flora, green espace, central-west, Côte d'Ivoire.

RESUME: Les espaces verts ont toujours joué un rôle déterminant dans l'équilibre de l'écosystème urbain. Cependant, très peu d'études scientifiques se sont consacrées à ces espaces de haute valeur économique, sociale et environnementale. La présente étude a donc été menée pour caractériser les types d'aménagements forestiers urbains des villes de Daloa et de Bouaflé. Pour ce faire, un inventaire floristique associant la méthode de relevé de surface et la méthode dite itinérante a été réalisé dans tous les types espaces verts urbains. Neuf types d'espaces verts à Daloa et huit à Bouaflé ont été identifiés. Les principaux résultats indiquent qu'il existe une très grande ressemblance entre les types d'aménagement de ces deux localités tant dans la composition floristique que dans la politique de gestion de ces espaces. Tous ces espaces verts ne bénéficient pas de véritable entretien et sont caractérisés d'un mélange d'espèces végétales locales et introduites. La majorité des espaces verts ont été réalisés sans véritable plan d'aménagement et un très grand nombre d'espèces végétales proviennent d'une régénération naturelle. Cependant, les aménagistes utilisent généralement les espèces exotiques pour leur caractère esthétique au détriment des espèces végétales locales. Cette forme d'aménagement suscite de nombreuses interrogations qui méritent d'être traitées à travers d'autres études complémentaires afin de parvenir au modèle de ville durable.

MOTS-CLEFS: Caractéristiques, flore, espace vert, Centre-ouest, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Le milieu urbain est un écosystème très complexe et très dynamique où les espaces verts contribuent efficacement au bon fonctionnement de cet écosystème. Le bon fonctionnement de cet écosystème répond à des enjeux non seulement sociaux et écologiques mais aussi économiques. En effet, la présence des espaces verts permet de compenser les effets néfastes de l'urbanisation sur le capital naturel environnant. Elles sont essentielles pour maintenir la biodiversité, améliorer la qualité de l'air et offrir des zones de détente pour les communautés urbaines. Malheureusement, les questions environnementales n'occupent pas une place prioritaire dans les décisions politiques et stratégiques des communes [1] notamment dans les villes de Daloa et de Bouaflé [2]. De ce fait, l'intégrité des espaces verts urbains est menacée par les pressions dues aux activités humaines dans le paysage urbain [3]. Dès lors, les villes se doivent de contrer cette tendance en accordant une place prépondérante à la nature présente dans les interstices de la ville. La quête de solution face à cette problématique passe nécessairement par des travaux de recherche portant sur le diagnostic et l'évaluation environnementale de ces espaces verts. C'est à juste titre que la présente étude a été réalisée afin de caractériser les types d'aménagement des villes de Daloa et de Bouaflé.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 SITE D'ÉTUDE

La présente étude s'est réalisée au centre-ouest de la Côte d'Ivoire plus précisément dans les villes de Daloa et de Bouaflé. La ville de Daloa est localisée entre 6°84 et 7° de latitude nord et entre 6°40 et 6°48 de longitude ouest tandis que celle de Bouaflé est située entre 6°97'–7°01' latitude Nord et 5°72'–5°76' longitude ouest (Figure 1). Tous les sites investigués sont répartis sur l'ensemble de la ville. Les deux localités bénéficient certes d'un climat tropical, mais, connaît aujourd'hui de grandes perturbations en raison d'une grande irrégularité dans la pluviométrie [4]. Le statut de ville-carrefour, les énormes potentialités économiques, sociales et culturelles des villes de Daloa et de Bouaflé ont fortement contribué à une extension rapide de ces localités avec pour corollaire la dégradation de l'environnement.

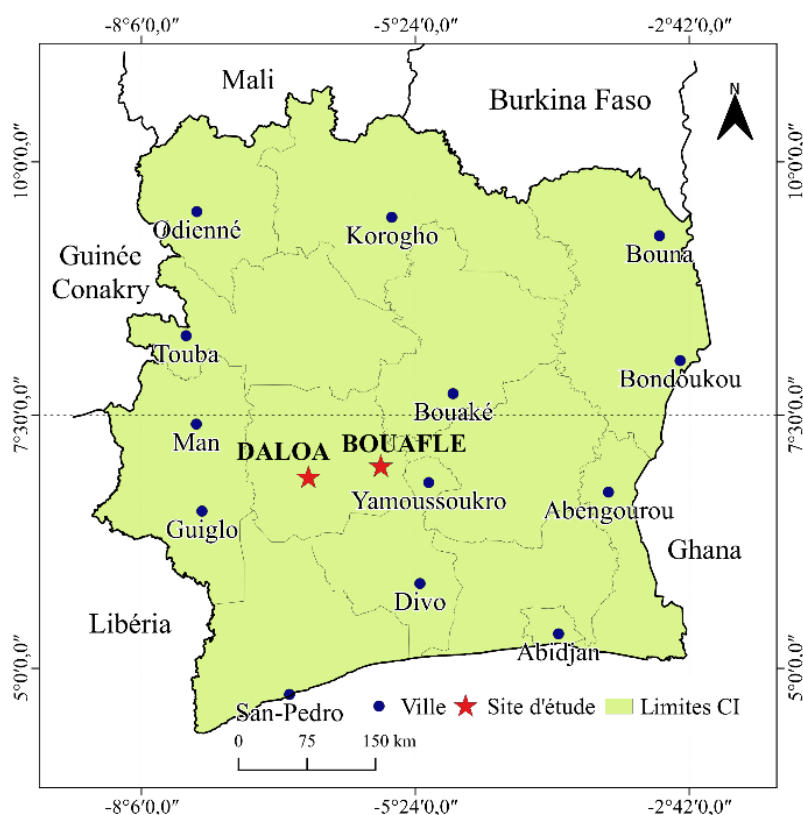


Fig. 1. Situation géographique des villes de Daloa et de Bouaflé

2.2 COLLECTE DES DONNÉES FLORISTIQUES

La méthode de relevé de surface et celle dite itinérante ont été combinées pour collecter les données sur la flore. La méthode de relevé de surface a consisté à délimiter des placettes de 400 m² (20 m x 20 m) dans tous les espaces verts de la ville. A l'intérieur de cette surface, toutes les espèces végétales ont été recensées. La méthode de relevés itinérants n'a permis que d'inventorier les nouvelles espèces pour compléter la liste floristique générale du site. Les palmiers, les cocotiers et les rôniers ont également été recensés. Concernant spécifiquement les habitations, des relevés itinérants ont été réalisés dans des lots dont la superficie variait entre 450 et 600 m².

2.3 ANALYSE ET TRAITEMENTS DES DONNÉES FLORISTIQUES

2.3.1 DÉTERMINATION DE LA TYPOLOGIE DES ESPACES VERTS URBAINS ÉTUDIÉS

Pour caractériser les types d'espaces verts étudiés, nous avons retenu la large typologie proposée par [5]. Cette typologie se base sur la fonctionnalité comme principale composante de différenciation des espaces verts. Cette classification regroupe les espaces verts urbain en treize types à savoir: les Parcs, Jardins et squares ¹; Accompagnements de voies ²; Accompagnements de bâtiments publics ³; Accompagnements d'habitations ⁴; Accompagnements d'établissements industriels et commerciaux ⁵; Espaces verts d'établissements sociaux et éducatifs ⁶; Equipements sportifs ⁷; Cimetières ⁸; Campings ⁹; Jardins familiaux ¹⁰; Etablissements horticoles ¹¹; des espaces naturels aménagés ¹² et les Arbres d'alignement ¹³.

2.3.2 RICHESSE ET COMPOSITION FLORISTIQUE

Les modèles de classification proposés par [6], [7] et [8] ont été retenus pour déterminer la liste des espèces, des genres et des familles, de même que les types biologiques, les types morphologiques et les affinités chorologiques des espèces végétales récoltées.

3 RESULTATS

3.1 CLASSIFICATION DES TYPES D'AMÉNAGEMENT FORESTIERS URBAINS

Les sites visités se résument en 1132 sites à Daloa tandis que 547 ont été visités dans la ville de Bouaflé. Les sites visités étaient les établissements scolaires et universitaires, les édifices religieux, les centres de formation professionnel, les ronds-points, les administrations publiques et privées, les garages, les restaurants, les hôtels, les cimetières, les centres de santé, les centres sportifs, les jardins publics, les habitations, les abords de voies, etc. Dans ces deux localités, l'on a retrouvé les mêmes types d'aménagement à l'exception des arbres en alignement de voies qui n'ont été observés qu'à Daloa. Les sites visités sont logés au sein de huit (08) types d'aménagement forestiers urbains à Bouaflé et neuf (09) à Daloa. Il s'agit notamment de jardin public, d'habitations, d'arbres en alignement de voies, de cimetières, d'équipements sportifs, d'espaces verts d'accompagnement de bâtiments publics, d'accompagnement d'établissements sociaux et éducatifs, d'accompagnement d'établissements industriels et commerciaux et d'accompagnement de voies. Les espaces naturels aménagés, les jardins familiaux, les établissements horticoles et les campings sont absents.

3.2 CARACTÉRISTIQUES DES TYPES D'AMÉNAGEMENT DE LA VILLE DE DALOA

3.2.1 LES JARDINS PUBLICS

Le jardin public de Daloa (Figure 2) comporte quelques espèces ligneuses arborescentes isolées dont *Casuarina equisetifolia* Fork. (Casuarinaceae), *Azadirachta indica* A. Juss. (Meliaceae), *Senna siamea* L. (Caesalpinaceae) et *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. (Myrtaceae). Une partie de cet espace est couverte par *Cynodon dactylon* (Linn.) Pers. (Poaceae) et par d'autres espèces végétales telle que *Mimosa pudica* Linn. (Mimosaceae), *Chromolaena odorata* (L.) R. M. King & H. Rob. (Asteraceae), *Spermacoce ocymoides* Burm. f. (Rubiaceae), *Tridax procumbens* L. (Asteraceae), *Gomphrena celosoides* Mart. (Amaranthaceae). Le jardin est aménagé sur une superficie de 3000 m².

Quant au jardin public de Bouaflé (Figure 3) couvre une superficie de 3600 m². Il est dominé par *Terminalia mentaly*. Le sol de ce jardin est couvert par *Cynodon dactylon* et quelques espèces rudérales. Sur ce site, aucun espace n'est aménagé à des fins récréatives.



Fig. 2. Aperçu de l'espace vert du jardin public de Daloa



Fig. 3. Aperçu de l'espace vert du jardin public de Bouaflé

3.2.2 LES ESPACES VERTS D'ACCOMPAGNEMENT DE BÂTIMENTS PUBLICS

Les bâtiments publics visités abritent une importante végétation. La différence entre ces espaces publics se situe au niveau de leur superficie et de leur composition floristique. Certains sites présentent une flore très diversifiée, luxuriante et bien entretenue. Dans ce groupe d'aménagement, le 2^e Bataillon d'infanterie, l'institut pastoral, le Centre Anti-Tuberculeux (CAT) et la mairie disposent d'un réel espace vert (Figure 4) à Daloa. A Bouaflé, ce sont ceux de la paroisse Miséricorde divine, du CHR, de la Direction Générale de la Santé, du Centre de Santé urbain et de la mairie sont les plus boisés. En dehors de ces milieux, les espaces verts des autres bâtiments publics sont caractérisés par quelques arbres isolés. Ces espaces verts sont utilisés comme des lieux de repos, de récréation, de restauration et de parking des véhicules. Les espèces telles que *Azadirachta indica* A. Juss. (Meliaceae), *Mangifera indica* L. (Anacardiaceae), *Ficus benjamina* L. (Moraceae), *Terminalia mentaly* H. Perrier (Combretaceae), *Elaeis guinensis* Jacq. (Arecaceae), *Cassia spectabilis* DC. (Caesalpiniaceae), *Cocos nucifera* L. (Arecaceae) y sont fréquemment rencontrées. Des boisements de *Tectona grandis* L.f. (Verbenaceae) ont été également observés.



Fig. 4. Vue de l'espace vert de la mairie de Daloa

3.2.3 LES ESPACES VERTS D'ACCOMPAGNEMENT D'ÉTABLISSEMENTS INDUSTRIELS ET COMMERCIAUX

Dans ce type d'aménagement, seuls les hôtels visités se distinguent aisément des autres sites dans ce type d'aménagement par la présence réelle d'un aménagement forestier qui est régulièrement entretenu, afin d'attirer la clientèle. Les espèces végétales présentes dans ces hôtels étaient essentiellement *Senna siamea* L. (Caesalpiniaceae), *Terminalia mentaly* H. Perrier (Combretaceae), *Casuarina equisetifolia* Forsk. (Casuarinaceae) disséminés dans un tapis herbacé dominé par *Cynodon dactylon* L. Pers. (Poaceae). On rencontre dans ces mêmes biotopes, des espèces comme *Roystonea regia* (Kunth) O.F. Cook (Asparagaceae), *Tectona grandis* L.f. (Verbenaceae) et *Cocos nucifera* (Arecaceae). La flore des garages, des maquis et celle des restaurants est dominée par les espèces telles que *Senna siamea* (Caesalpiniaceae), *Terminalia mentaly* (Combretaceae), *Tectona grandis* (Verbenaceae), *Ficus polita* Vahl. (Moraceae), etc (Figure 5).



Fig. 5. Aperçu d'une plantation de *Terminalia mentaly* au maquis le campement, situé au quartier millionnaire de Bouaflé

3.2.4 LES ESPACES VERTS D'ÉTABLISSEMENTS SOCIAUX ET ÉDUCATIFS

Les espaces visités dans ce type d'aménagement sont exclusivement les établissements scolaires (primaires, collèges et lycées) et l'université Jean Lorougnon Guédé. Les espèces ligneuses arborescentes caractéristiques de ces espaces sont généralement des grands arbres (Figure 6). Les espèces inventoriées dans ces milieux sont entre autres. Les essences qui y sont couramment rencontrées sont *Terminalia mentaly* (Combretaceae), *Azadirachta indica* (Meliaceae), *Senna siamea* (Caesalpiniaceae), *Mangifera indica* (Anacardiaceae), *Tectonia grandis* (Verbenaceae) et *Ficus benjamina* (Moraceae). Dans ce type d'aménagement, *Cynodon dactylon* (Poaceae) représente la seule espèce herbacée utilisée comme plante de couverture. De nombreux espaces de ce type d'aménagement sont délaissés dans lesquels fleurissent de nombreuses espèces rudérales tels que *Chromolaena odorata*, *Eragrostis aspera*, *Eragrostis tenella*, *Panicum maximum*, *Tithonia diversifolia*, *Tridax procumbens*, *Gomphrena celosioides*, *Spermacoce verticillata*, etc.



Fig. 6. Vue de l'espace vert du Collège le Phœnix de Bouaflé

3.2.5 LES CIMETIÈRES

Les cimetières des villes de Daloa et de Bouaflé abritent un grand nombre d'espèces arborescentes. Il s'agit notamment de *Albizia lebeck* (Mimosaceae), *Azadirachta indica* (Meliaceae), *Acacia mangium* Willd. (Mimosaceae), *Mangifera indica* (Anacardiaceae), *Ceiba pentandra* L. Gaerth. (Bombacaceae), *Milicia excelsa* (Welw.) Benth. (Moraceae), etc. A ces espèces sont associés des individus de *Elaeis guinensis* (Arecaceae). La flore de ces espaces est également dominée par *Chromolaena odorata* et plusieurs graminées dont *Eragrostis aspera*, *Panicum maximum*, *Rottboellia cochinchinensis* et *Pennisetum purpureum*, etc (Figure 7).



Fig. 7. Aperçu de l'espace vert du cimetière de Lobia 2 à Daloa

3.2.6 LES HABITATIONS

Au sein des quartiers des villes de Daloa et de Bouaflé, le nombre d'habitation qui abritent des végétaux varie d'un quartier à l'autre. Cette variation ne tient pas compte du standing de l'habitat ni de la localisation de celui-ci. Les habitations visitées sont caractérisées par la présence d'un important nombre d'espèces ornementales, alimentaires et médicinales. Les plantes ornementales représentent la flore dominante de ces espaces. Dans ces types d'aménagement, les espèces végétales se rencontrent généralement à l'intérieur et devant le bâti. Parmi ces espèces, on peut citer *Duranta repens* Linn. (Verbenaceae), *Hibiscus rosa-sinensis* L. (Malvaceae), *Ixora brachypoda* DC. (Rubiaceae), *Ixora coccinea* L. (Rubiaceae), *Ixora javanica* (Blume) DC. (Rubiaceae), *Polyalthia longifolia* (Sonn.) Thwaites (Annonaceae), *Bougainvillea glabra* Choisy (Nyctaginaceae), *Cananga odorata* (Lam.) Benth. Et Hook. F. (Annonaceae) et *Codiaeum variegatum* L. Blume (Euphorbiaceae) etc... Cependant, l'espèce arborescente dominante est *Mangifera indica* (Anacardiaceae). Cette espèce est présente dans tous les quartiers et dans la plupart des domiciles. On y rencontre également de nombreuses plantes alimentaires notamment *Cocos nucifera* L. (Arecaceae), *Persea americana* Mill. (Lauraceae), *Psidium guayava* L. (Myrtaceae), *Moringa oleifera* Lam (Moringaceae), *Citrus limon* Burn.f. (Rutaceae), *Citrus sinensis* (L.) Osbeck (Rutaceae), *Annona muricata* L. (Annonaceae), *Annona squamosa* L. (Annonaceae), *Ananas comosus* (L.) Merr. (Bromeliaceae), *Carica papaya* L. Var. bady Aké-Assi (Caricaceae), etc.



Fig. 8. Aperçu de *Adansonia digitata* dans une habitation au quartier Tazibouo 1 de Daloa

3.2.7 LES ÉQUIPEMENTS SPORTIFS

Ce type d'aménagement est représenté dans les deux localités par les stades municipaux. Au sein de ces stades, l'aire de jeu est entièrement couverte par *Cynodon dactylon*. A la périphérie de cet espace, quelques espèces ligneuses arborescentes isolées telles que: *Azadirachta indica*, *Mangifera indica* et de nombreuses herbes dont *Panicum maximum* (Poaceae), *Eragrostis aspera* (Poaceae), *Eragrostis tenella* (Poaceae), *Tridax procumbens* L. (Asteraceae), *Gomphrena celosioides* Mart. (Amaranthaceae) et *Spermacoce verticillata* L. (Rubiaceae) sont rencontrées (Figure 9).



Fig. 9. Vue de l'espace vert du stade municipal de la ville de Daloa

3.2.8 LES ESPACES VERTS D'ACCOMPAGNEMENT DE VOIES

Tous les espaces verts d'accompagnement de voies visités dans les villes de Daloa et de Bouaflé sont dans des ronds-points. Ces espaces constituent les principaux types d'aménagement des entrées de la ville et du centre-ville. Ce type d'aménagement est caractérisé par une absence totale de ligneux arborescents (Figure 10). Les espèces végétales utilisées pour l'aménagement de ces espaces sont pour la plupart des herbacés notamment, *Cynodon dactylon* (Poaceae). Cette espèce couvre l'ensemble de l'espace à l'intérieur duquel la présence de quelques plantes ornementales comme *Duranta repens* (Verbenaceae), *Calotropis procera* (Asclepiadaceae), *Hibiscus rosa-sinensis* (Malvaceae), *Ixora coccinea* (Rubiaceae), et *Codiaeum variegatum* (Euphorbiaceae) est signalée.



Fig. 10. Vue de l'espace vert du rond-point principal de Bouaflé

3.2.9 LES ARBRES EN ALIGNEMENT DE VOIES

Parmi toutes les voies inventoriées dans la présente étude, la voie dont les abords comportent plus d'espèces arborescentes est le boulevard (Figure 11). Plantés sur une longueur de 280 m, les arbres en alignement sont dominés par *Polyalthia longifolia* (Annonaceae) entre lesquelles se trouve quelques individus de *Ficus benjamina* (Moraceae). Des individus de *Senna siamea* (Caesalpinaceae) sont alignés sur l'un des côtés de ce boulevard. A part cette voie, toutes les autres voies inventoriées sont caractérisées par quelques arbres isolés tels que *Terminalia mentaly* (Combretaceae), *Ficus benjamina* (Moraceae), *Ficus polita* (Moraceae), *Azadirachta indica* (Meliaceae) et *Mangifera indica* (Anacardiaceae). *Elaeis guinensis* (Arecacea) et *Cocos nucifera* (Arecacea) sont plantés aussi en alignement sur certaines voies.



Fig. 11. Vue de *Polyalthia longifolia* en alignement sur le boulevard de Daloa

4 DISCUSSION

Les villes de Daloa et de Bouaflé enregistrent les mêmes types d'aménagement forestiers urbains à l'exception des arbres en alignement de voies qui n'ont été observés qu'à Daloa. L'absence d'espaces naturels aménagés, de squares, des jardins familiaux, des établissements horticoles et des campings dénote de l'insuffisance d'espaces verts d'une part et d'autre part, d'une question de culture des africains. Nos résultats sont en accord avec ceux de [9] à Lomé au Togo et [10]. à Marrakech au Maroc. Ces espaces, qui normalement devraient pouvoir améliorer le climat urbain et la vie des citoyens, sont inexistant dans

ces deux villes. Aussi, à l'intérieur de chaque type d'aménagement, les espaces verts étaient en nombre très réduit. Cette situation semble être une caractéristique commune des villes ivoiriennes. En effet, en Côte d'Ivoire, seule la ville d'Abidjan dispose par exemple d'un parc arboré de grande superficie (Parc National de Banco). Cette pauvreté des villes en espace vert pourrait s'expliquer par le fait que les questions environnementales ne constituent pas une priorité dans les décisions politiques et stratégiques des élus locaux comme l'a souligné [11]. La crise économique qui secoue les collectivités territoriales ainsi que la recherche de solutions à l'épineux problème de pauvreté, constituent une préoccupation majeure pour les gouvernants. Cette quête perpétuelle de solutions les empêche d'envisager la protection de l'environnement gage du développement durable. A cela, il faut ajouter la méconnaissance du rôle des espèces végétales dans la vie des populations riveraines et surtout le niveau de développement des villes qui impacte négativement les aménagements. Ces espaces constituent pourtant un précieux moyen pour « repenser la nature en ville » [12], améliorer le bien-être humain [13] et réduire les aléas environnementaux [14]. Les services écosystémiques rendus par les arbres, pourraient améliorer la qualité environnementale des villes dont dépend la santé des citoyens ([15]. [16]) Ces services rendus par la biodiversité en ville, constituent des biens publics « non marchands », communs à l'ensemble des membres de la collectivité [17]. La présence de forêts dans les villes peut donc avoir un impact significatif sur l'environnement en réduisant la chaleur urbaine, en captant les polluants atmosphériques et en limitant le ruissellement de l'eau. Bien que la ville transforme profondément le milieu naturel, son fonctionnement n'en demeure pas moins entièrement dépendant de ce milieu. Les nombreux problèmes environnementaux et sociaux qui y sont observés menacent donc l'équilibre et la durabilité de son développement.

5 CONCLUSION

La présente étude a permis de montrer l'importance des espèces verts dans la vie quotidienne des populations. Les espèces ligneuses arborescentes issues de ces espaces verts jouent un rôle indispensable dans l'alimentation, l'embellissement, la lutte contre le changement climatique, etc. La flore urbaine est dominée par les espèces exotiques destinées généralement à l'embellissement. Il existe une très grande similarité floristique entre les types d'aménagement de ces deux localités. Toutefois, le caractère dégradé de certains espaces verts et le faible nombre d'arbres rencontrés constituant ainsi une menace majeure pour l'équilibre de l'écosystème urbain. De ce fait, la sensibilisation des populations et la prise en compte effective des espaces verts dans les programmes d'urbanisation par les autorités locales pour le bien-être de la population devrait être une priorité nationale.

REFERENCES

- [1] V. Bruzon and B. Halle, Profil environnemental de la Côte d'Ivoire, Consortium AGRIFOR Consult, Contrat Cadre EuropeAid/119860/C/SV/Multi Rapport final, 133 p, 2006.
- [2] K. J. Kouassi, Diversité floristique et viabilité des types d'aménagement forestiers urbains des villes de Daloa et de Bouaflé (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire, 158 p, 2020.
- [3] J. Véron, La moitié de la population mondiale vit en ville. *Population & Sociétés*, vol. 435, pp.1-4, 2007.
- [4] Y. G. Yapi, F. D. Traoré, D. Coulibaly and E. Tia, (2014). Etude contributive à la connaissance des populations de similies dans la commune de Bouaflé, Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, *International Journal of Biological & Chemical Sciences*, vol. 8, no 6, pp. 2540-2551, 2014.
- [5] R. Jancel, Typologie des espaces verts. In: *La plante dans la ville*, Angers (France), 5- 7 novembre 1996, Editions INRA, Les colloques n°84, Paris, pp. 69-80, 1997.
- [6] C. Raunkiaer, The life form of plants and statistical plant geography. Clarendon press, Oxford. 632 p, 1934.
- [7] L. Aké-Assi, Flore de la Côte d'Ivoire 1, Catalogue, Systématique, Biogéographie et Ecologie. Conservatoire et Jardin Botanique: Genève, Suisse, 396 p, 2001.
- [8] L. Aké-Assi, Flore de la Côte d'Ivoire 2, Catalogue, Systématique, Biogéographie et Ecologie, Conservatoire et Jardin Botanique: Genève, Suisse, 441 p, 2002.
- [9] B. Polorigni, R. Raoufou and K. Kouami, Perceptions, tendances et préférences en foresterie urbaine: cas de la ville de Lomé au Togo, *European scientific journal*, vol. 10, no 5, pp. 261-277, 2024.
- [10] E. F. Abdelouahed, H. Dounas, A. Meddich, M. Mohamed Hafidi and A. Ouhammou. Biodiversité des espaces verts publics de la commune urbaine de Marrakech (cum) (Maroc). *Acta Botanica Malacitana*, vol. 41, pp.83-100, 2016.
- [11] E. L. Ngahane, Gestion technique de l'environnement d'une ville (Bembereke au Bénin): caractérisation et quantification des déchets solides émis; connaissance des ressources en eau et approche technique. Thèse de Doctorat SGE, Université de Liège (Belgique), 239 p, 2015.

- [12] P. Arnould, Y. Le Lay, C. Dodane and I. Méliani, 2011, La nature en ville: l'improbable biodiversité, Cairn, Géographie, économie, société, [En ligne] URL: [http://www.cairn.info/resume.php ? ID_ARTICLE =GES_131_0045](http://www.cairn.info/resume.php?ID_ARTICLE=GES_131_0045). (Consulté le 09/02/2017).
- [13] A. Chiesura, «The role of urban parks for the sustainable city». *Landscape & UrbanPlanning*, vol. 68, no 1, pp.129-138, 2004.
- [14] A. Wania, Urban vegetation: detection and function evaluation for air quality assessment. Thèse de doctorat, Université Louis-Pasteur, Strasbourg (France), 277 p, 2007.
- [15] F. Escobedo, S. Varela, M. Zhao, J. E. Wagner and W. Zipperer, (2010). Analyzing the efficiency of subtropical urban forests in offsetting carbon emissions from cities. *Environment Sciences Policy*, vol. 13, no 5, pp. 362-372, 2010.
- [16] R. F. Young, Managing municipal green space for ecosystem service. *Urban forestry & urban greening*, vol. 9, pp. 313-321, 2010.
- [17] A. Dubé, D. Saint-Laurent and G. Senécal, Penser le renouvellement des politiques de conservation de la forêt urbaine à l'ère du réchauffement climatique. Institut National de la Recherche Scientifique-Urbanisation, culture et société, 51 p, 2006.

Performances agronomiques comparées des bio-phospho-composts sur la croissance et le rendement du riz (*Oryza sativa* L.) et du maïs (*Zea mays* L.) dans l'ouest de la Côte d'Ivoire

[Comparative agronomic performance of bio-phospho-composts on rice (*Oryza sativa* L.) and maize (*Zea mays* L.) growth and yield in western Côte d'Ivoire]

Boueunan Wongbe Beralex¹, Affi Jeanne Bongoua-Devisme¹, Faustin Odi Akotto¹, and Lemonou Franck Michaël Bahan²

¹Laboratoire de Pédologie, UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université Felix Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

²Centre National de Recherche Agronomique-CNRA, BP 4040 station de recherche de Man, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: A rapid population growth in Côte d'Ivoire, notably in Man, leads to progressive degradation of agricultural soils, amplified by a heavy reliance on chemical fertilizers. To address this, the study evaluates the agronomic performance of three different bio-phospho-composts made from varying doses of Moroccan phosphate rock (150, 300, and 450 kg/ha). Field trials were conducted over three cycles to determine their effects on the agronomic parameters of rice and maize. Results show that, under high doses of phosphate rock (RP) (T3 to T6), grain yields range from 3.5 to 5.5 t/ha for rice and 3.93 to 5.5 t/ha for maize. Conversely, low RP doses (T1–T2) produce grain yields from 1.77 to 2.79 t/ha for rice and 1.77 to 3.5 t/ha for maize. The association of biofertilizers with chemical fertilizers (KCl, urea) strongly increases all agromorphological parameters ($p < 0.0001$) compared with treatments without chemical fertilizers (T2, T4, T6). However, treatment T6 with 450 kg RP/ha, without chemical fertilizer, shows an even more marked improvement, surpassing treatments with chemical fertilizers (T1 and T3) and recording a relative yield increase (TAR) of 319.76% compared with T0 under T6. Under T1 and T3, TARs are 179.89% and 295.52% respectively. The 450 kg RP/ha dose appears optimal for increasing the productivity of rice and maize. The study highlights the need for dynamic and crop-cycle-specific fertilization management to ensure sustainable production.

KEYWORDS: compost, organic fertilization, acidic soils, rice, corn, chemical fertilizer, phosphate rock.

RESUME: Une croissance démographique rapide en Côte d'Ivoire, notamment à Man, entraîne une dégradation progressive des sols agricoles, accentuée par une forte dépendance aux engrais chimiques. Pour remédier à cette situation, l'étude évalue les performances agronomiques des trois différents bio-phospho-composts fabriqués à partir de différentes doses de roche phosphatée marocaine (150, 300 et 450 kg/ha). Des essais au champ ont été menés sur trois cycles pour déterminer leurs effets sur les paramètres agronomiques du riz et du maïs. Les résultats montrent que, sous des fortes doses de roche phosphatée (RP) (T3 à T6), le RDG varie de 3,5 à 5,5 t/ha pour le riz et de 3,93 à 5,5 t/ha pour le maïs. À l'inverse, les traitements à faibles doses de RP (T1–T2) produisent des RDG entre 1,77 et 2,79 t/ha pour le riz et de 1,77 à 3,5 t/ha pour le maïs. L'association biofertilisants–fertilisants chimiques (KCl, urée) augmente fortement tous les paramètres agromorphologiques ($p < 0,0001$) des cultures par rapport aux traitements sans engrais chimiques (T2, T4, T6). Toutefois, le traitement T6 avec 450 kg RP/ha, sans fertilisant chimique, montre une amélioration encore plus marquée en surpassant les traitements avec fertilisants chimiques (T1, T3 et T5) et affiche un TAR de 319,76% par rapport à T0 sous T6 et de 179,89% et 295,52% sous T1 et T3 respectivement. La dose de 450 kg RP/ha apparaît optimale pour augmenter la productivité des cultures. L'étude souligne la nécessité d'une gestion adaptée de la fertilisation à chaque cycle pour assurer la durabilité de la production.

MOTS-CLEFS: compost, fertilisation organique, sols acide, riz, maïs, fertilisant chimique, roche phosphatée.

1 INTRODUCTION

En Côte d'Ivoire, le riz (*Oryza sativa* L.) et le maïs (*Zea mays* L.) constituent les deux cultures céréalières les plus importantes, occupant une place stratégique dans les systèmes agricoles et alimentaires du pays [1]. En raison de leur contribution majeure à l'alimentation

humaine et animale, ces cultures sont généralement fertilisées de manière intensive par des engrais chimiques afin de satisfaire les exigences de production. Cette approche, efficace à court terme, soulève néanmoins des préoccupations relatives à ses impacts environnementaux et à la viabilité à long terme des systèmes de production.

Dans ce contexte, le développement de stratégies alternatives, notamment l'utilisation de biofertilisants tels que les bio-phospho-composts, apparaît comme une solution innovante et durable. Ces composts visent à préserver la fertilité des sols tout en atténuant les effets négatifs liés à l'usage intensif des engrais chimiques [2, 3, 4].

De multiples travaux ont démontré les effets bénéfiques des composts sur les rendements et les caractères morpho-agronomiques de diverses cultures. Ainsi, [5] et [6] ont montré que l'incorporation du compost au sol permet d'accroître les rendements de la laitue et de la tomate, confirmant l'intérêt de la fumure organique dans l'amélioration de la production. Des résultats similaires ont été observés, avec le compost des ordures ménagères, des résidus de récoltes, ou/et du fumier, pour d'autres cultures: la laitue [6], le navet [7], l'oignon, [7], le poireau [8], le riz [9, 10], et le maïs [11]. Par ailleurs, l'association de résidus organiques avec de la roche phosphatée s'est révélée efficace pour améliorer la productivité des céréales. Des études en laboratoire ont également montré que la présence de bactéries solubilisatrices de phosphates peut augmenter la biodisponibilité du phosphore contenu dans la roche phosphatée, stimulant ainsi l'absorption des nutriments par les plantes [12, 13, 14]. Cependant, peu d'études ont exploré l'effet combiné de ces trois composantes (résidus organiques, microorganismes solubilisateurs de phosphate, et roche phosphatée) dans un compost unique élaboré selon des doses optimisées. Il existe donc un besoin de recherche pour évaluer leurs performances agronomiques, écologiques et économiques.

C'est dans cette optique que trois bio-phospho-composts à base de roche phosphatée (à doses variables), de pailles de riz ou de maïs, de fientes de volaille et de bactéries solubilisatrices de phosphates ont été élaborés en vue d'évaluer leur performance agronomique sur le riz et le maïs. L'efficacité de ces différents bio-phospho-composts sera évaluée en termes de paramètres agro-morphologiques des deux céréales après trois cycles de cultures successifs.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 CHOIX DES SITES

L'étude a été conduite dans la région de Man, plus précisément à Dompleu (7°20'19"N, 7°31'11"O), où deux types de parcelles ont été sélectionnées pour la mise en place des essais au champ: une parcelle de bas-fond de 701 m² (07°21'12"N, 07°36'19"O), destinée à la culture du riz irrigué, et une parcelle de plateau de 1100 m² (07°20'57" N, 07°36'19"O), réservée à la culture du maïs.

Avant la mise en place des essais au champ, des échantillons de sol ont été prélevés à la tarière à une profondeur de 0-20 cm sur chaque parcelle suivant leurs diagonales et mélangés pour obtenir un échantillon composite par parcelle. Chaque échantillon composite a ensuite été tamisé à 2 mm et séché à l'air libre, en vue des analyses physico-chimiques préalables à l'expérimentation au champ.

La caractérisation physico-chimique des sols a porté sur les propriétés physiques (granulométrie) et chimiques, notamment le pH, le carbone total (C), l'azote total (N), le phosphore (P), le potassium (K), le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et la capacité d'échange cationique (CEC). Ces analyses ont été réalisées au Laboratoire des Sols et des Végétaux de l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB) de Yamoussoukro.

2.2 MATÉRIEL

2.2.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Deux types de cultures ont été utilisés dans le cadre de cette étude: le riz et le maïs.

Pour le riz, la variété WITA 9, également connue sous le nom de Nimba, a été fournie par le Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) de Man. Il s'agit d'une variété améliorée issue du croisement entre IR2042-178-1 et CT19, spécifiquement adaptée aux zones de bas-fonds (Figure 1A). Elle se caractérise par un cycle végétatif long, d'environ 120 jours, et offre un rendement moyen de 6 t/ha, avec un potentiel pouvant atteindre 10 t/ha [14]. Concernant le maïs, la variété EV 87/28 SR a été choisie pour sa culture sur les parcelles de plateau. C'est une variété à grain jaune, reconnue pour sa richesse en protéines et sa tolérance à la striure virale (Figure 2B). Elle présente un cycle ultra-précoce de 85 à 90 jours et un rendement moyen estimé à 2,5 t/ha [15].



Figure 1A



Figure 2B

Fig. 1. Matériel végétal: (A) variété WITA 9; (B) la variété EV 87/28 SR

2.2.2 AMENDEMENT NATUREL

La roche phosphatée (RP) utilisée provient du Maroc et a été fournie par l'OCP-Africa (Office Chérifien des Phosphates). Sa composition chimique est donnée dans le Tableau I.

Tableau 1. Composition chimique de la roche phosphatée du Maroc

Eléments chimiques	P ₂ O ₅	CO ₂	SO ₃	SiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	F ₂ O	H ₂ O
Teneur (%)	30	6,44	1,29	6,64	49,54	1,16	0,2	0,41	2,21	2,13

2.2.3 BIOFERTILISANTS

Trois types de composts, désignés C1, C2 et C3, ont été utilisés dans le cadre de cette étude. Ils ont été élaborés à partir de trois doses croissantes de roche phosphatée du Maroc (RPM), à raison de 150 kg/ha pour C1, 300 kg/ha pour C2 et 450 kg/ha pour C3, selon la méthode décrite par [16].

Les principales caractéristiques chimiques de ces bio-phospho-composts sont présentées dans le Tableau II ci-dessous.

Tableau 2. Caractéristiques chimiques des composts élaborés C1 (150 kg RPM/ha), C2 (300 kg RPM/ha) et C3 (450 kg RPM/ha)

Paramètres	C1	C2	C3	Norme NFU 44- 051
pHeau	7,8a	8,1a	8,4a	
P ₂ O ₅ total (% MS)	0,64c	1,25b	1,92a	< 3 %
C organique (% MS)	18,9a	17,5ab	17,35ab	< 3 %
N total (% MS)	1,6a	1,65a	1,7a	< 3 %
MO (g.kg-1 sol sec)	37,8 a	35,5 ab	34,7 ab	> 25 %
C/N	11,81a	10,75a	10,20a	> 8
K ₂ O (% MS)	1,22b	2,05b	2,53a	< 3 %
Na (% MS)	0,68b	0,74b	0,93a	
Ca (% MS)	24,17a	25,43a	26,2a	
Mg (% MS)	1,13a	1,77a	1,85a	
Mn (mg/ kg MS)	444b	489b	599a	
Fe (mg/ kg MS)	2513c	3248b	4427a	
Zn (mg/ kg MS)	135c	167b	189a	< 600 mg/kg MS
Taux de décomposition (%)	78	93,5	98,5	

2.3 MÉTHODES

2.3.1 CONDUITE DE L'ESSAI

Les parcelles expérimentales ont été aménagées à deux niveaux topographiques: un bas-fond de 701 m² destiné à la culture du riz et un plateau de 1100 m² réservé à celle du maïs. Ces parcelles ont d'abord été défrichées manuellement, puis débarrassées des débris végétaux afin de les préparer à la mise en culture. Chaque parcelle a été subdivisée en 40 micro-parcelles:

- Pour le riz, les micro-parcelles ont mesuré 12 m² chacune (3,5 m × 3,4 m);
- Pour le maïs, elles ont fait 15 m² (3 m × 5 m).

Ces micro-parcelles ont été organisées en cinq blocs de huit (08) micro-parcelles, correspondant chacune à un traitement expérimental distinct. Pour la parcelle de bas-fond, une diguette de 0,20 m de hauteur et de 0,5 m d'épaisseur délimite chaque micro-parcelle, trois (03) canaux d'irrigation de 1 m d'épaisseur et 0,5 m de hauteur ont été installés entre les blocs, et quatre (04) canaux de drainage de 0,5 m d'épaisseur et 0,5 m de hauteur ont été aménagés en périphérie. Alors que pour les parcelles de plateau (maïs), les micro-parcelles ont été délimitées par des allées de 1 m.

L'expérimentation a été conduite selon un dispositif en blocs complètement randomisés comportant huit traitements. Chaque bloc représentait une répétition. Huit (08) traitements ont été testés: T0: Sans compost, avec apport de N et K (témoin positif); T0a: Sans compost, sans apport de N et K (témoin négatif); T1: C1 + N + K; T2: C1 sans N et K; T3: C2 + N + K; T4: C2 sans N et K; T5: C3 + N + K; T6: C3 sans N et K (Figure 2 et 3).

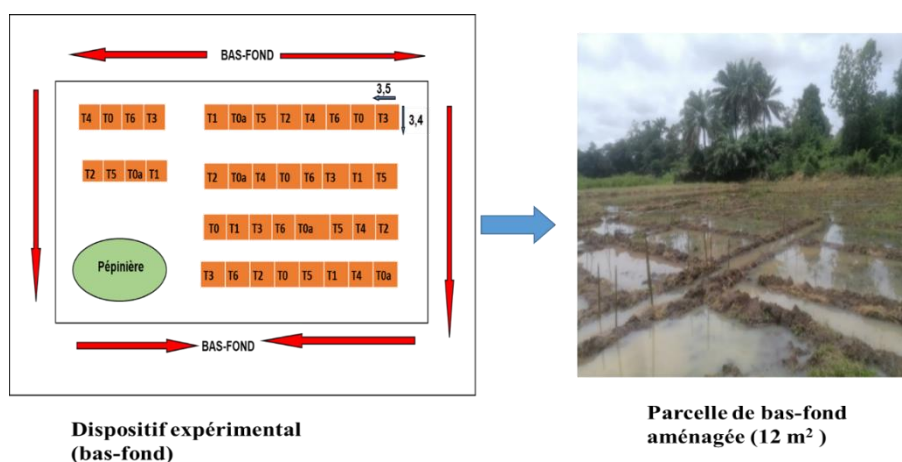


Fig. 2. Dispositif du bloc complet randomisé au bas fond

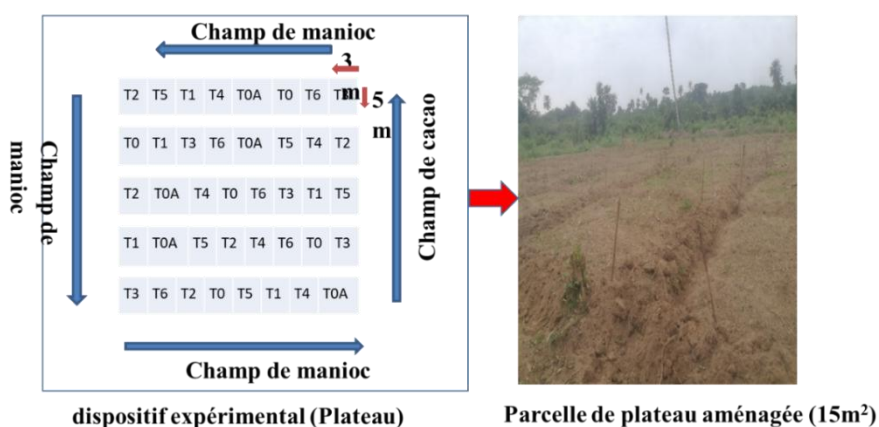


Fig. 3. Dispositif du bloc complet randomisé (parcelle de plateau)

Après le labour, les composts élaborés ont été appliqués en fumure de fond, uniquement au début du premier cycle, soit:

- 9 kg de compost par micro-parcelle de riz, équivalent à 7,5 t/ha;
- 11,25 kg de compost par micro-parcelle de maïs, également équivalent à 7,5 t/ha.

De même, en se basant sur la dose de l'engrais NPK 15/15/15 recommandé pour le riz et le maïs, l'engrais chlorure de potasse (KCl) à 60% K et l'urée à 46% N ont été apportés en raison de 50 kg KCl.ha⁻¹ et 100 kgN.ha⁻¹, comme fumure de fond et fumure d'entretien respectivement. L'urée 46% N a été apportée à la dose de 50 kgN/ha au tallage et 50 kgN/ha à la montaison. La quantité de P, N, K apportés lors des essais est présenté dans le tableau III.

Après l'application du compost et des fertilisants azotés et potassiques selon les traitements dans les micro-parcelles, les grains de maïs ont été semés 10 jours après de l'apport du compost sur la parcelle de plateau. En revanche, les plants de riz paddy (variété WITA 9), âgés de 15 jours, issus des pépinières, ont été transplantés dès le lendemain de l'apport du compost dans les micro-parcelles du bas-fond.

Afin de limiter la concurrence entre les cultures et les adventices, des désherbages manuels ont été réalisés en fonction des besoins. Aucun traitement insecticide ni fongicide n'a été appliqué sur les parcelles de bas-fond destinées à la culture du riz. En revanche, sur les parcelles de plateau cultivées en maïs, un traitement insecticide a été nécessaire pour lutter contre les attaques d'insectes, à l'aide d'un produit liquide commercialisé sous le nom de KAPAAS.

Quelle que soit la spéculation, l'expérimentation a été reconduite sur trois années successives, correspondant à trois (03) cycles de culture pour le riz et le maïs. Les bio-phospho-composts élaborés, source principale de phosphore dans le dispositif, ont été appliqués qu'au cours du premier cycle, afin d'évaluer leur effet résiduel sur les cultures. En revanche, les fertilisants azotés et potassiques ont été appliqués à chaque cycle.

2.3.2 COLLECTE DES DONNÉES

2.3.2.1 COLLECTE DES DONNÉES AGRONOMIQUES DU RIZ

À la maturité, soit 120 jours après la germination, plusieurs paramètres agronomiques ont été évalués à la récolte du riz. Le nombre de talles (Tal) et le nombre de panicules (Pan) par poquet ont été déterminés par comptage, en ne considérant que les pieds fertiles (ayant produit des panicules). Ces mesures ont été réalisées dans un carré de rendement pour chaque traitement.

La hauteur des plants (en cm) a été mesurée à l'aide d'une toise, depuis la base du plant jusqu'à l'extrémité de la feuille la plus haute.

La biomasse aérienne, composée de la paille, des panicules, des talles et des feuilles, a été récoltée dans chaque carré de rendement, puis séchée à l'air libre. Elle a ensuite été pesée afin de déterminer le rendement en paille (RDP), exprimé en grammes par mètre carré (g/m²), puis converti en kilogrammes par hectare (kg/ha) selon la formule suivante:

$$\text{RDP (t.ha-1)} = (\text{Masse paille sèche (g)} / \text{Surface de récolte (m}^2)) \times (10000/1000) \quad (1)$$

Le rendement en grains (RDG) a été déterminé après un double séchage des grains: d'abord à l'air libre, puis à l'étuve à 65 °C pendant 72 heures. Le RDG a ensuite été calculé, à partir de la pesée de 1000 grains, en ramenant le poids des grains à un taux d'humidité standard de 14 %, selon la formule suivante:

$$\text{RDG} = (\text{Masse des grains sec (g)} \times 10000 \times (100-H) / \text{Surface de récolte (m}^2) \times 1000 \times 86) \quad (2)$$

Où RDG: rendement en grain en t.ha-1; H = taux d'humidité à la récolte en %; mf = masse des grains frais en g; ms = masse de grains secs en g où $H = 100 \times (mf - ms) / mf$.

2.3.2.2 COLLECTE DES DONNÉES AGRONOMIQUES DU MAÏS

À maturité, les données collectées sur le maïs ont porté sur plusieurs paramètres agronomiques, notamment: la hauteur des plants par m², l'épaisseur des feuilles paniculaire, le poids des grains, la fréquence de plants fertiles par maïs, l'aspect végétatif des plants, le nombre de grain par épis, le nombre d'épis par plant et le rendement en grain et en paille.

Le nombre d'épis par plant a été déterminé par comptage direct sur l'ensemble des plants présents dans les carrés de rendement. Le nombre de grains par épi a été estimé à partir de 10 épis prélevés au hasard dans ces mêmes carrés. Ces données ont permis de déterminer le nombre d'épis par plant fertile ainsi que le nombre moyen de grains par épi.

Le poids du maïs a ensuite été estimé à partir du poids moyen de 100 grains (P), en utilisant la formule suivante:

$$\text{Poids sec (kg/m}^2) = (\text{nombre de plantes fertiles par m}^2) \times (\text{nombre d'épis par plante fertile}) \times (\text{nombre de grains par épi}) \times (\text{poids de 100 grains en g}) \times 10^{-3} \quad (3)$$

Le rendement en grain (RDG), ajusté à un taux d'humidité de 14 %, a été calculé à l'aide de la formule suivante:

$$\text{RDG (t ha-1)} = (\text{Poids sec en grain (kg/1 (m}^2)) \times (10000/1000) \times ((100-H) / 86) \quad (4)$$

Avec H: taux d'humidité;

$H \text{ (p.c.)} = (M_{\text{frais}} - M_{\text{sec}} / M_{\text{frais}}) \times 100$; avec M = masse de la quantité de maïs

Le rendement en paille (RDP) a été estimé à partir de la matière sèche totale (MST) prélevée dans les carrés de rendement, selon la formule:

$$\text{RDP (t ha}^{-1}\text{)} = (\text{poids sec en paille (kg) / 1 (m}^2\text{)}) \times (10000/1000) \quad (5)$$

Tableau 3. Quantité (kg ha⁻¹) d'éléments fertilisants (P₂O₅, N et K, RM, compost) apportés par traitement

Traitements	Doses d'engrais apportés (kg ha ⁻¹)				Quantité d'éléments fertilisants apportés (kg ha ⁻¹) par les différents traitements			
	Compost à la dose de RP	P2O5	KCl	Urée	Quantité totale de fertilisant	N	P	K
T0a (-C- NK)	0	0	0	0	0	0	0	0
T0 (-C+ NK)	0	0	50	100	50 KCl + 100 Urée	46	0	30
T1 (C1+ NK)	150	45	50	100	Compost 1 à la dose 150 RP + 50 KCl + 100 Urée	46	19,65	30
T2 (C1- NK)	150	45	0	100	Compost 1 à la dose 150 RP	0	19,65	0
T3 (C2+ NK)	300	90	50	100	Compost 2 à la dose 300 RP + 50 KCl + 100 Urée	46	39,3	30
T4 (C2- NK)	300	90	0	100	Compost 2 à la dose 300 RP	0	39,3	0
T5 (C3+ NK)	450	135	50	100	Compost 3 à la dose 450 RP + 50 KCl + 100 Urée	46	58,95	30
T6 (C3- NK)	450	135	0	100	Compost 3 à la dose 450 RP	0	58,95	0

3 RÉSULTATS

3.1 CARACTÉRISATION PHYSICO-CHIMIQUE ET MICROBIOLOGIQUE INITIALES DES SOLS DES PARCELLES ÉTUDIÉES

La caractérisation des sols de Dompleu révèle une texture sablo-limoneuse, composée de 61,1 % de limon et 30,9 % de sable au bas-fond et une texture sablo-argilo-limoneuse avec avec 50,2% de sable, 30,52% d'argile et 18,92% de limon (Tableau IV). Dans l'ensemble, le sol de bas-fond est moyennement acide avec un pHeau de 5,2 et un pH_{KCl} = 4,1 comparativement au sol de plateau qui est plus acide avec un pHeau de 4,9 et un pH_{KCl} = 3,9 (Tableau IV). La différence de pH ($\Delta\text{pH} = \text{pHeau} - \text{pH}_{\text{KCl}}$) est $\Delta\text{pH} > 1$ pour les deux parcelles étudiées traduisent un fort potentiel d'acidification des sols.

Quel que soit les parcelles étudiées, les teneurs en azote (0,06 % à 0,6%), phosphore (0,91% à 0,97%), potassium (0,08 à 0,09%), carbone (0,64 %) et matière organique (1,1 %) sont faibles. Une décomposition normale de la matière organique est observée, avec un rapport C/N de 10,7 pour le bas-fond et de 11 pour le plateau (Tableau IV). La capacité d'échange cationique (CEC) est faible (14 à 15,1 cmol+.kg⁻¹) et le taux de saturation est moyen (inférieur à 60 %) (Tableau IV).

Tableau 4. Caractéristiques physico-chimiques des sols de bas-fond (BF) et plateau (PLT) avant expérimentations

Paramètres	Valeur BF	Valeurs PLT
Argile (%)	8	30,52
Limon (%)	61,1	18,92
Sable (%)	30,9	50,2
pHeau	5,2	4,9
pH _{KCl}	4,1	3,9
P total (g.kg ⁻¹ sol sec)	9,125	4,3
P assi (g.kg ⁻¹ sol sec)	4,3	0,89
C organique (g.kg ⁻¹ sol sec)	6,4	6,4
N total (g.kg ⁻¹ sol sec)	0,6	0,6
MO (g.kg ⁻¹ sol sec)	11,01	11,07
C/N	10,7	11
K (g.kg ⁻¹ sol sec)	0,9	0,8
Na ⁺ (mmol+.kg ⁻¹)	0,45	0,10
Ca ⁺⁺ (mmol+.kg ⁻¹)	2,967	2,88
Mg ⁺⁺ (mmol+.kg ⁻¹)	0,53	0,75
Al ⁺⁺⁺ (mmol+.kg ⁻¹)	0,106	0,60
CEC (mmol+.kg ⁻¹)	15,11	14
S/T %	59,9	54,89

Le dénombrement de la microflore bactérienne totale (BT) cultivable sur les parcelles de bas-fond et de plateau a révélé une différence très hautement significative ($P < 0,0001$), avec une abondance nettement plus élevée dans les sols de bas-fond: 56.10^3 bactéries. g^{-1} sol sec contre $44,08 10^3$ bactéries. g^{-1} sol sec au plateau. De même, pour les bactéries solubilisatrices de phosphate (BSP), le nombre dénombré est également significativement plus élevé ($P < 0,0001$) dans les sols de bas-fond, $3,1.10^3$ bactéries. g^{-1} sol sec, contre $1,1.10^3$ bactéries. g^{-1} sol sec au plateau (Tableau V). Quel que soit la situation topographique, le nombre moyen de bactéries totales aérobies cultivables sur le milieu Nutrient Broth (NB) est de 50.10^3 bactéries/g de sol sec et est très hautement significativement à $P < 0,0001$ plus importante que celle solubilisatrices du phosphore (BSP) avec $2,1 10^3$ bactéries /g de sol sec (Tableau V)

Tableau 5. Nombre de bactéries totales (BT) $\times 10^3/g$ sol sec et de bactéries solubilisatrices des phosphates (BSP) $\times 10^3/g$ sol sec présentes sur les sols de bas-fond et de plateau

Site	BT	BSP	Pr
Bas-fond	56 ± 9^a	$3,1 \pm 0,5^b$	Pr* $<0,0001$
Plateau	$44,08 \pm 6^a$	$1,1 \pm 0,5^b$	Pr* $<0,0001$
Moyenne	$50,04 \pm 7^a$	$2,1 \pm 0,5^b$	Pr* $<0,0001$

Données dans la même ligne suivie des lettres (a, b) présentent des différences significatives selon le Test de Student à $Pr < 5\%$. *** très hautement significatif au seuil de $Pr < 5\%$; ** très significatif au seuil de $Pr < 5\%$.

3.2 EFFET DES BIO-PHOSPHO- COMPOSTS SUR LES PARAMÈTRES AGRO-MORPHOLOGIQUES DES PLANTS DE RIZ

Les figures 4 et 5 illustrent les paramètres agro-morphologiques moyens du riz, notamment la hauteur des plantes, le nombre de talles et de panicules par mètre carré, ainsi que le rendement en grains (RDG) et en paille (RDP) par hectare, et l'indice de récolte (IR), en fonction des différents traitements. Ces traitements correspondent aux doses de roche phosphatée (RP) ajoutées dans le biophosphocompost, avec ou sans l'ajout de fertilisants chimiques (KCl, urée).

Les analyses statistiques révèlent des différences très hautement significatives ($p < 0,0001$) des paramètres agro-morphologiques entre les sols amendés avec du biophosphocompost (traitements T1 à T6) et les sols non amendés (T0a et T0).

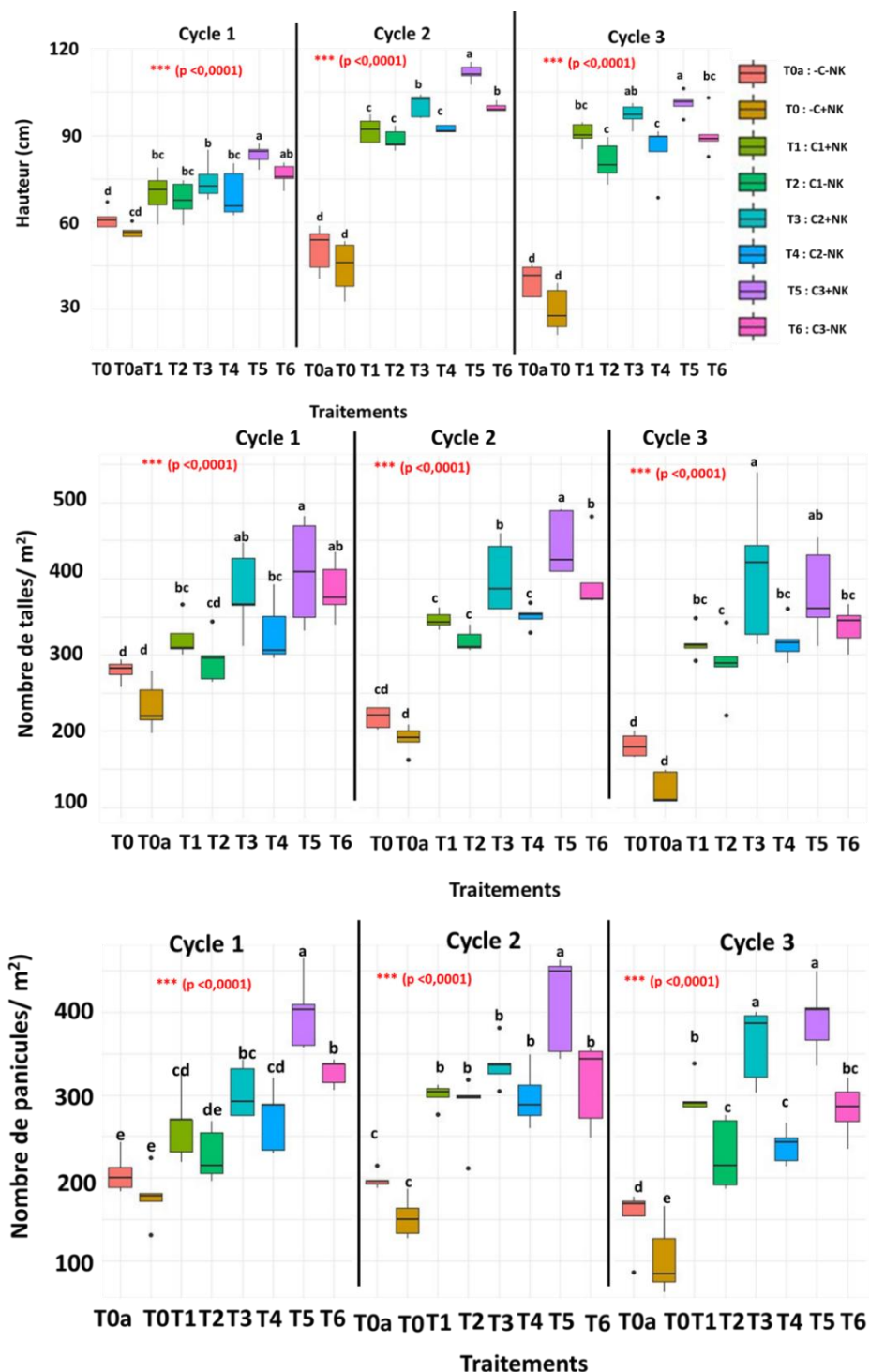


Fig. 4. Boxplot représentant la répartition de la hauteur (cm), du nombre de talles et de panicules du riz / m² sous différents traitements au cours de trois (03) cycles de culture. Les Boxplots suivis de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls p<0,05. *** très hautement significatif au seuil de p<0,05

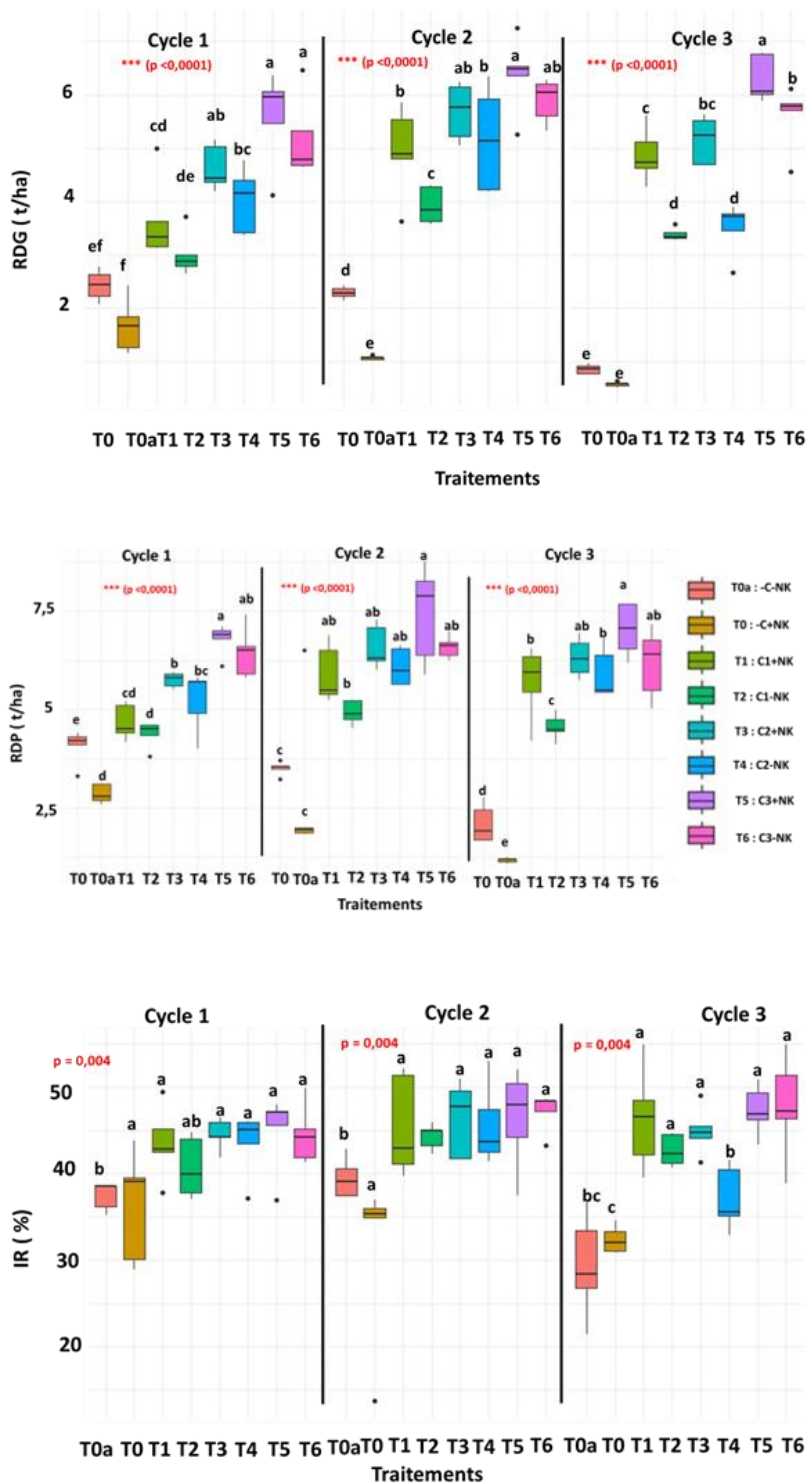


Fig. 5. Boxplot représentant la répartition du RDG, RDP (t/ha) et de l'IR (%) du riz sous différents traitements au cours de trois (03) cycles de culture. Les Boxplots suivis de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls $p < 0,05$. *** très hautement significatif au seuil de $p < 0,05$

L'évolution des paramètres agro-morphologiques au cours des trois cycles de culture montre une tendance contrastée entre les traitements amendés (T1 à T6) et non amendés (T0a et T0).

Sous les traitements amendés, une amélioration significative de tous les paramètres agronomiques est observée du cycle 1 au cycle 2, suivie d'une légère baisse au cycle 3 (figure 4 et 5).

Ainsi, la hauteur moyenne des plants progresse de 67,9–83,4 cm au cycle 1 à 88,7–111,7 cm au cycle 2, puis baisse légèrement entre 81,2–101,2 cm au cycle 3. Le nombre de talles passe de 294,4–408 au cycle 1 à 318,4–445,2 talles/m² au cycle 2, avant de diminuer entre 286,9–408,7 talles/m² au cycle 3.

De même, le nombre de panicules variant entre 227,7–398,7 au cycle passe à 284,6–412,5 panicules/m² au cycle 2, puis régresse à 227,8–391,7 panicules/m² au cycle 3.

Les rendements suivent également cette même dynamique:

- Le rendement en grains (RDG) dont les valeurs sont comprises entre 3–5,6 t/ha (cycle 1) passe à 3,92–6,4 t/ha (cycle 2), puis baisse légèrement à 3,5–6,3 t/ha (cycle 3);
- Le rendement en paille (RDP) variant de 4,37–6,78 t/ha passe à 4,93–7,4 t/ha (cycle 2), puis légère baisse à 4,5–7 t/ha (cycle 3).
- L'indice de récolte (IR) de valeur comprise entre 40,6–44,98 % passe à 44,3–47,2 % (cycle 2), avant de se stabiliser à entre 37,1–47,1 % au cycle 3.

À l'inverse, les parcelles non amendées présentent une dégradation continue de tous paramètres agro-morphologiques du cycle 1 au cycle 3 (Figure 4 et 5). Sous le traitement T0a, la hauteur moyenne chute de 56,84 cm à 29,7 cm, le nombre de talles de 233,1 à 124,3 talles/m² les panicules de 177,6 à 103,32/m² le RDP de 2,86 t/ha à 1,17 t/ha, et le RDG de 1,66 t/ha à 0,56 t/ha. Une tendance similaire est observée sous T0.

Par ailleurs, nos résultats montrent que, quel que soit le cycle de culture, les paramètres agro-morphologiques sont significativement plus élevés lorsque le biophosphocompost contient une forte dose en roche phosphatée (RP), notamment entre 300 et 450 kg/ha (traitements T3, T4, T5 et T6), comparativement aux traitements ayant reçu une dose plus faible de 150 kg/ha (T1 et T2).

Sous les traitements T3, T4, T5 et T6, les hauteurs des plants varient de 82,3 à 98,78 cm, le nombre de talles de 332,7 à 411,55 talles/m² et le nombre de panicules de 295,7 à 373,8 panicules/m². Les rendements en grain s'échelonnent entre 4,22 et 6,1 t/ha, tandis que les rendements en paille varient de 5,74 à 7,1 t/ha.

En revanche, sous les traitements à faible dose de RP (T1 et T2), les hauteurs varient de 73,21 à 84,19 cm, le nombre de talles de 299,9 à 398,05 talles/m² et le nombre de panicules de 266,41 à 349,81 panicules/m². Les rendements en grain s'établissent entre 3,44 et 4,49 t/ha, et ceux en paille entre 4,62 et 5,43 t/ha.

Parmi l'ensemble des traitements amendés, les meilleurs résultats agro-morphologiques sont observés avec les traitements T5 (C3 + NK), suivie des traitements T6 (C3 – NK) et T3 (C2 + NK), qui enregistrent des rendements en grain respectifs de 6,1 t/ha, 5,57 t/ha et 5,15 t/ha. Ces performances surpassent nettement celles des traitements T4, T1 et T2, dont les rendements en grain sont respectivement de 4,2 t/ha, 4,5 t/ha et 3,44 t/ha (Tableau VI).

Nos résultats montrent que, quel que soit le cycle de culture, l'association des biofertilisants avec des fertilisants chimiques (KCl, urée) entraîne une augmentation très hautement significative ($p < 0,0001$) de l'ensemble des paramètres agro-morphologiques du riz (hauteur des plantes, le nombre de talles par m², le nombre de panicules par m², le rendement de grains (RDG), le rendement de paille (RDP)), comparativement aux traitements sans apport de fertilisants chimiques (T2, T4, T6).

Cependant, une amélioration encore plus marquée et significative de ces paramètres est observée sous le traitement T6, qui ne comporte aucun apport de fertilisant chimique. Ce traitement, caractérisé par une forte dose de roche phosphatée (RP) contenue dans le biophosphocompost, dépasse en effet les performances des traitements avec fertilisants chimiques (T1 et T2).

Plus précisément, sous le traitement T6, les rendements obtenus sont de 5,57 t/ha pour le RDG, et de 6,4 t/ha pour le RDP, ce qui représente une augmentation notable par rapport aux traitements à faible dose de RP associés à des fertilisants chimiques (T1 et T3), où les rendements sont respectivement de 4,5 t/ha pour le RDG et 5,15 t/ha pour le RDP (Tableau VI).

Tableau 6. Hauteur moyenne (cm) des plants, nombre de talles et de panicules moyens / m², Rendement en grain (RDG) et en paille (RDP) moyens t.ha⁻¹ indice de récolte et taux d'augmentation relative moyen du RDG par rapport aux témoins sous les différents traitements durant les trois cycles de culture

Traitement	Hauteur (cm)	Talles /m ²	Panicule /m ²	RDG (t ha ⁻¹)	RDP (t ha ⁻¹)	IR	TAR
T0a : -C-NK	43,63 ^c	182,35 ^d	151,47 ^e	1,11 ^f	2,29 ^f	33,34 ^b	
T0 : -C+NK	50,7 ^c	226,1 ^c	195,15 ^f	1,86 ^e	3,23 ^e	35,42 ^b	
T1 : C1+NK	84,19 ^b	327,93 ^b	292,9 ^{cd}	4,49 ^c	5,43 ^c	45,10 ^a	212,9 ^c
T2 : C1-NK	79,21 ^b	299,9 ^b	266,41 ^e	3,44 ^d	4,62 ^d	42,57 ^a	130,65 ^e
T3 : C2+NK	90,72 ^{ab}	398,05 ^a	349,81 ^b	5,15 ^b	6,22 ^b	45,3 ^a	247,8 ^b
T4 : C2-NK	82,27 ^b	332,7 ^b	295,70 ^{de}	4,22 ^c	5,74 ^{bc}	42,09 ^a	166,8 ^d
T5 : C3+NK	98,78 ^a	411,55 ^a	373,8 ^a	6,1 ^a	7,09 ^a	46,25 ^a	316,63 ^a
T6 : C3-NK	88,96 ^{ab}	373,83 ^a	326,4 ^{bc}	5,57 ^a	6,4 ^b	46,48 ^a	276,44 ^b
Moy. G	77,30	319,05	281,46	3,99	5,13	42,06	225,2
CV (%)	15,23	14,32	14,88	18,34	16,27	11,45	84,07
Ppds	7,33	50,1	46,33	0,6	0,87	5,76	51,5
Pr > F	<0,0001 ^{***}	<0,0001 ^{***}	<0,0001 ^{***}	<0,0001 ^{***}	<0,0001 ^{***}	<0,0001 ^{***}	<0,09

Les valeurs dans la même colonne, suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls $p < 0,05$. *** très hautement significatif au seuil de $p < 0,05$

3.3 EFFET DES BIO-PHOSPHO- COMPOSTS SUR LES PARAMÈTRES AGRO-MORPHOLOGIQUES DES PLANTS DE MAÏS

Les figures 6 et 7 illustrent les paramètres agro-morphologiques moyens du maïs, notamment la hauteur des plantes, l'épaisseur des feuilles, le nombre d'épis /plant par mètre carré, ainsi que le rendement en grains (RDG) et en paille (RDP) par hectare, et l'indice de récolte (IR), en fonction des différents traitements. Les analyses statistiques révèlent des différences très hautement significatives ($p < 0,0001$) des paramètres agro-morphologiques entre les sols amendés avec du biophosphocompost (traitements T1 à T6) et les sols non amendés (T0a et T0).

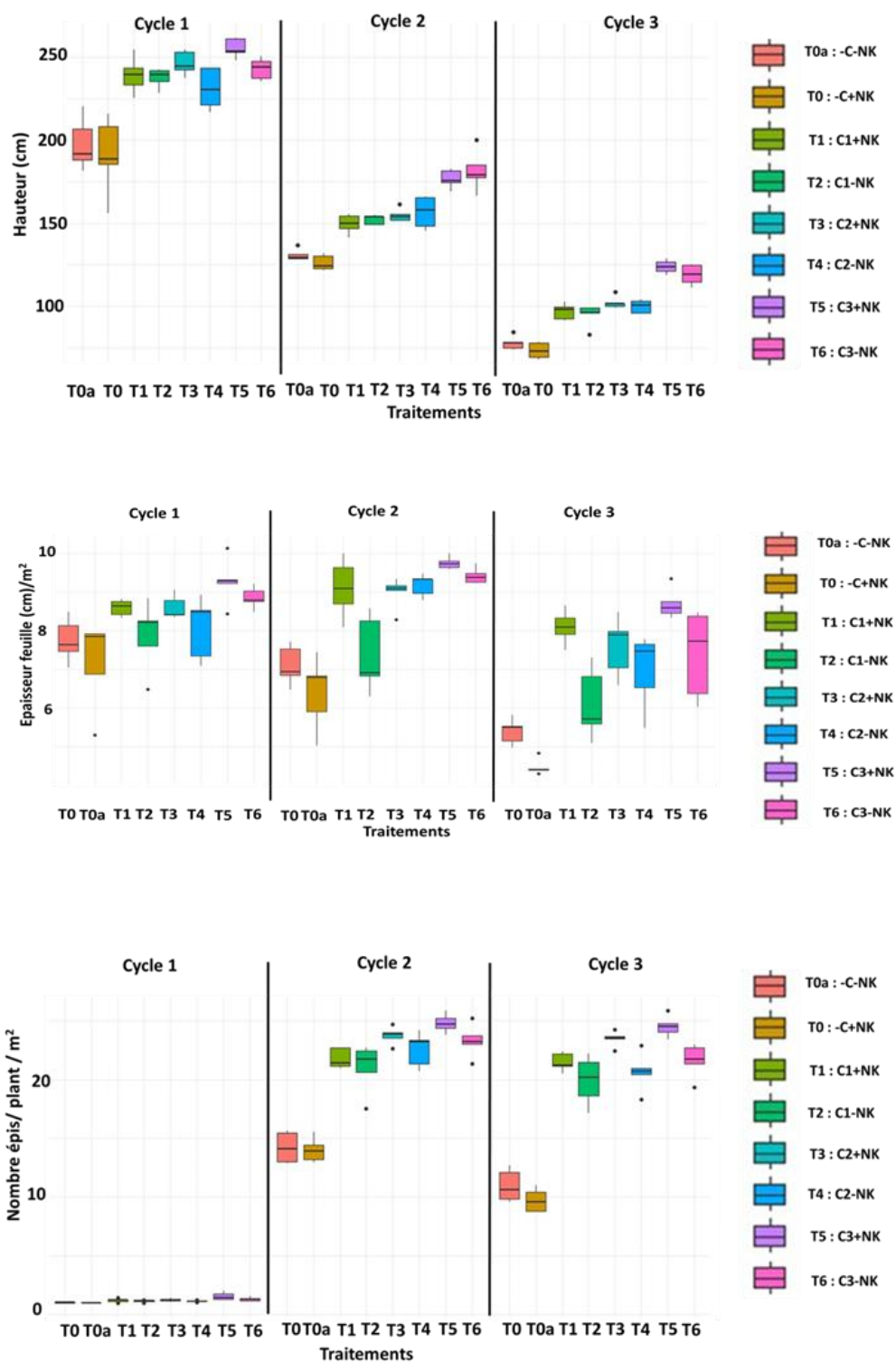


Fig. 6. Boxplot représentant la répartition de la hauteur (cm), épaisseur des feuilles et le nombre d'épis par plant de maïs / m² sous différents traitements au cours de trois (03) cycles de culture

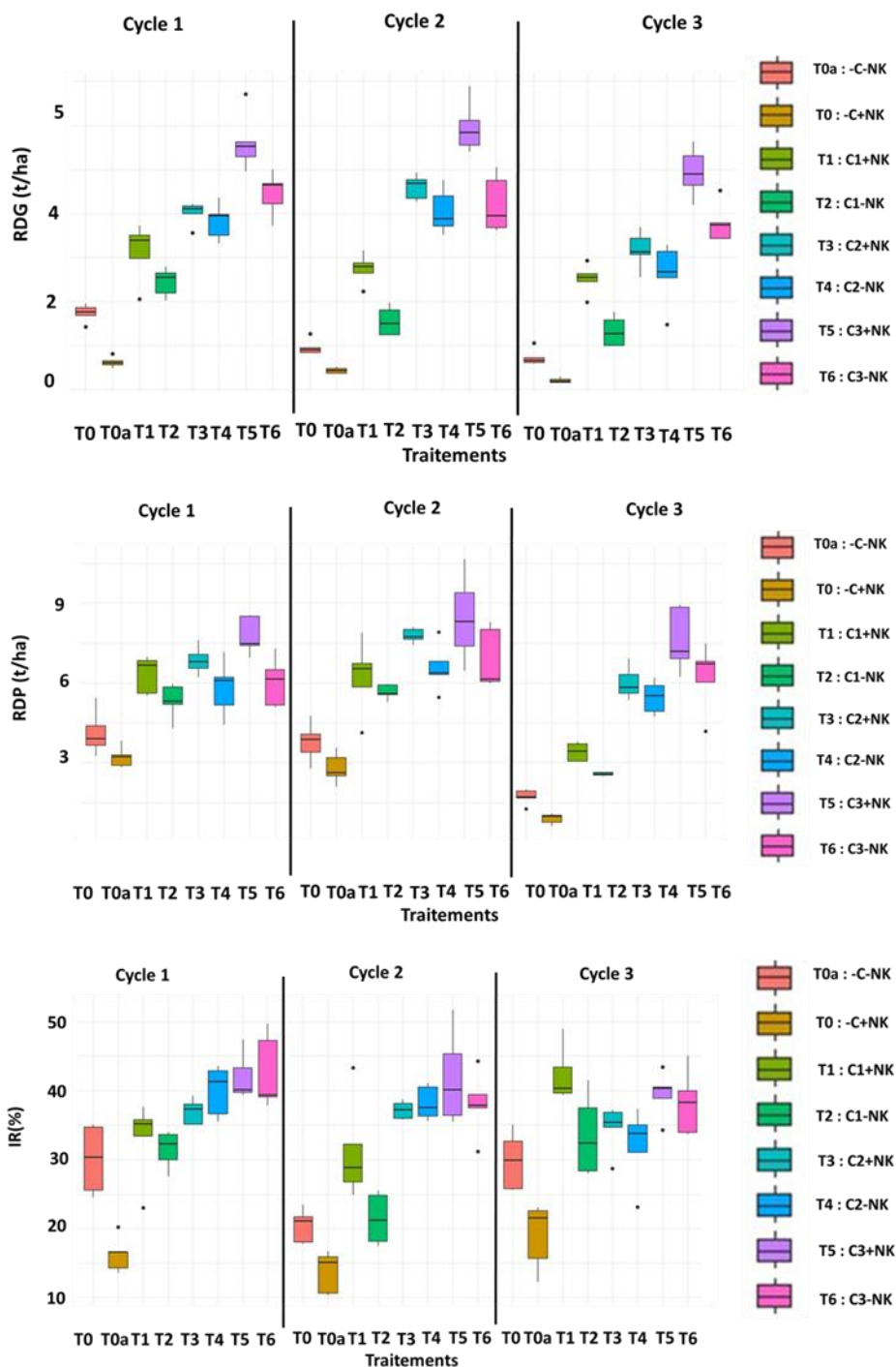


Fig. 7. Boxplot représentant la répartition du RDG, RDP (t/ha) et de l'IR (%) du maïs sous différents traitements au cours de trois (03) cycles de culture

L'évolution des paramètres agro-morphologiques du maïs au cours des trois cycles de culture montre une diminution progressive de la hauteur moyenne des plants de maïs au cours des trois cycles de culture, passant de 230,2 cm au cycle 1 à 98,35 cm au cycle 3, indépendamment du traitement appliqué. Contrairement à la hauteur, le nombre d'épis par plant augmente du cycle 1 (1,2 épis/plant) au cycle 2 (20,65 épis/plant), puis diminue légèrement au cycle 3 (19,02 épis/plant), quel que soit le traitement.

Toutefois, l'évolution des paramètres agro-morphologiques (épaisseur des feuilles, RDG, RDP) au cours des trois cycles de culture montre une tendance contrastée entre les traitements amendés (T1 à T6) et non amendés (T0a et T0) (Tableau 7). Les traitements amendés (T1 à T6) montrent une amélioration significative de l'épaisseur des feuilles, du rendement en grain (RDG) et du rendement en paille (RDP) du cycle 1 au cycle 2, suivie d'une légère baisse au cycle 3.

Ainsi, le rendement en grains (RDG) dont les valeurs sont comprises entre 2,44–5,62 t/ha (cycle 1) passe à 2,73–5,97 t/ha (cycle 2), puis baisse légèrement à 1,32–4,93 t/ha (cycle 3). Le rendement en paille (RDP) variant de 5,31–7,77 t/ha passe à 5,65–8,4 t/ha (cycle 2), puis légère baisse à 2,57–7,61 t/ha (cycle 3). À l'inverse, les parcelles non amendées présentent une dégradation continue de tous paramètres agro-morphologiques du cycle 1 au cycle 3 (Figure 7 et 8).

Par ailleurs, nos résultats montrent que, quel que soit le cycle de culture, l'apport de bio-phospho-composts, avec ou sans fertilisants chimiques, n'a pas d'effet significatif sur la hauteur des plants ($p = 0,088$) ni sur le nombre d'épis par plant ($p = 0,1$). En revanche, une augmentation très hautement significative ($p < 0,0001$) de l'épaisseur des feuilles, du RDG et du RDP est observée avec l'apport de biophosphocomposts.

De plus, nos résultats révèlent une nette amélioration des paramètres agro-morphologiques du maïs (épaisseur foliaire, RDG, RDP, indice de récolte) lorsque le bio-phospho-compost est enrichi avec une forte dose de roche phosphatée (RP), notamment entre 300 et 450 kg/ha (traitements T3, T4, T5 et T6), en comparaison avec les doses plus faibles de 150 kg/ha appliquées dans les traitements T1 et T2.

Sous l'effet des fortes doses de RP (T3 à T6), les rendements en grain varient de 3,5 à 5,5 t/ha, tandis que ceux en paille se situent entre 5,94 et 7,94 t/ha. À l'inverse, avec les doses faibles (T1 et T2), les rendements en grain sont nettement inférieurs, allant de 1,77 à 2,79 t/ha, et ceux en paille fluctuent entre 4,51 et 5,32 t/ha.

Parmi l'ensemble des traitements, les résultats les plus significatifs ($p < 0,0001$) en termes d'amélioration agro-morphologique du maïs sont obtenus avec les traitements T5 (C3 + NK), T6 (C3 – NK) et T3 (C2 + NK), qui enregistrent des rendements en grain respectifs de 5,5 t/ha, 4,15 t/ha et 3,93 t/ha. Ces performances surpassent nettement celles observées avec les traitements T4, T1 et T2, dont les rendements s'établissent respectivement à 3,5 t/ha, 2,79 t/ha et 1,77 t/ha (Tableau VII).

Nos résultats montrent que l'association des biofertilisants avec des fertilisants chimiques (KCl, urée) entraîne une augmentation très hautement significative ($p < 0,0001$) de tous les paramètres agromorphologiques du maïs par rapport aux traitements sans fertilisants chimiques (T2, T4, T6).

Cependant, on note une amélioration encore plus marquée et significative des paramètres agro morphologiques du maïs sous le traitement T6 qui ne comporte aucun apport de fertilisant chimique. Ce traitement, caractérisé par une forte dose de RP, surpasse même les traitements avec fertilisants chimiques (T1 et T3). En effet, un taux d'augmentation relative (TAR) des rendements en grains de 319,76 % par rapport au traitement T0 est observé sous T6 alors que qu'on note sous T1 et T3 des TAR de 179, 89 %, et 295,52% respectivement (Tableau VII).

Tableau 7. Hauteur moyenne (cm) des plants, Epaisseur des feuilles et nombre d'épis par plant/ m² Rendement en grain (RDG) et en paille (RDP) moyens t.ha⁻¹, indice de récolte et taux d'augmentation relative moyen du RDG par rapport aux témoins sous les différents traitements durant les trois cycles de culture

Traitement	Hauteur (cm)	Epaisseur feuilles	Epis/plant	RGD (t ha ⁻¹)	RDP (t ha ⁻¹)	IR	TAR
T0a : -C-NK	130,01 ^a	6,01 ^d	8,23 ^a	0,42 ^g	2,29 ^f	16,34 ^d	
T0 : -C+NK	135,39 ^a	6,74 ^{cd}	8,73 ^a	1,14 ^f	3,23 ^e	26,75 ^c	
T1 : C1+NK	161,81 ^a	8,6 ^{ab}	14,80 ^a	2,79 ^d	5,43 ^c	35,51 ^b	179,9 ^c
T2 : C1-NK	161,44 ^a	7,11 ^c	14,01 ^a	1,77 ^e	4,51 ^d	28,82 ^c	61,23 ^d
T3 : C2+NK	167,08 ^a	8,39 ^{ab}	16,13 ^a	3,93 ^{bc}	6,87 ^b	36,22 ^{ab}	295,5 ^b
T4 : C2-NK	193,88 ^a	8,07 ^b	14,77 ^a	3,50 ^c	5,94 ^{bc}	36,73 ^{ab}	242,23 ^{bc}
T5 : C3+NK	185,31 ^a	9,24 ^a	16,93 ^a	5,5 ^a	7,94 ^a	41,07 ^a	456,8 ^a
T6 : C3-NK	185,23 ^a	8,55 ^{ab}	15,39 ^a	4,15 ^a	6,4 ^b	39,61 ^{ab}	319,76 ^b
Moy. G	164,51	7,84	13,63	2,90	5,31	32,62	259,3
CV (%)	31,32	13,17	69,32	20,61	23,13	16,48	61,61
Ppds	10,3	0,86	1,18	0,55	1,05	5,59	95,82
Pr > F	0,1	<0,0001 ^{***}	0,088	<0,0001 ^{***}	<0,0001 ^{***}	<0,0001 ^{***}	<0,0001

Les valeurs dans la même colonne, suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman-Keuls $p < 0,05$. *** très hautement significatif au seuil de $p < 0,05$

3.4 RENTABILITÉ ÉCONOMIQUE DES TRAITEMENTS APPLIQUÉS

L'analyse du tableau XII met en évidence des tendances claires concernant les performances des différents traitements appliqués lors des cycles de culture du riz et du maïs. Les traitements T5 et T6, correspondant à une dose élevée de 450 kg/ha de roche phosphatée (RP), se distinguent par une rentabilité systématiquement élevée, et ce, quel que soit le cycle de culture ou la situation topographique

de la parcelle. Cette constance souligne leur potentiel stratégique pour maximiser les bénéfices agricoles indépendamment du type de cultures.

En revanche, les traitements à doses plus faibles, notamment T1 et T2 (150 kg/ha RP) ainsi que T3 et T4 (300 kg/ha RP), génèrent des rendements inférieurs comparés à ceux obtenus avec T5 et T6. Toutefois, ces traitements à dose modérée restent intéressants en termes de rentabilité constante sur le long terme, ce qui suggère un bon compromis entre coûts d'amendement et gains productifs.

De plus, l'analyse révèle que les traitements T5 et T6 affichent une rentabilité supérieure aussi bien sur les sols de plateau que de bas-fond, confirmant ainsi leur efficacité agronomique sur différentes conditions pédologiques.

Tableau 8. Rentabilité économique (CFA) des traitements appliqués du riz (A), et du maïs (B)

A-

Traitements	Coût total			Rendement t ha ⁻¹			Bénéfices CFA ha ⁻¹			Rentabilité économique		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
T0a (-C- NK)	17000	7000	7000	1,66	1,06	0,56	664 000	424000	224 000	647 000	417000	217 000
T0 (-C+ NK)	32000	7000	7000	2,43	2,28	0,85	972 000	912000	340 000	940 000	905000	333 000
T1 (C1+ NK)	54150	7000	7000	3,64	4,94	4,88	1 456 000	1 976 000	1 952 000	1 401 850	1 969 000	1 945 000
T2 (C1- NK)	39150	7000	7000	3,01	3,92	3,38	1 204 000	1 568 000	1 352 000	1 164 850	1 561000	1 345 000
T3 (C2+ NK)	54150	7000	7000	4,63	5,68	5,02	1 852 000	2 272 000	2 008 000	1 797 850	2 265 000	2 001 000
T4 (C2- NK)	39150	7000	7000	4,02	5,16	3,49	1 608 000	2 064 000	1 396 000	1 568 850	2 057 000	1 389 000
T5 (C3+ NK)	54150	7000	7000	5,59	5,38	6,3	2 236 000	2 152 000	2 520 000	2 181 850	2 145000	2 513 000
T6 (C3- NK)	39150	7000	7000	5,18	5,89	5,6	2 072 000	2 356 000	2 240 000	2 032 850	2 349 000	2 233 000

B-

Traitements	Coût total			Rendement t ha ⁻¹			Bénéfices CFA ha ⁻¹			Rentabilité économique		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
T0a (-C- NK)	24 000	7000	7000	0,62	0,43	0,2	248 000	172 000	80 000	224 000	165 000	73 000
T0 (-C+ NK)	39 000	7000	7000	1,74	0,96	0,73	696 000	384 000	292 000	657 000	377 000	285 000
T1 (C1+ NK)	61 150	7000	7000	3,13	2,73	2,51	1 252 000	1 092 000	1 004 000	1 190 850	1 085 000	997 000
T2 (C1- NK)	46 150	7000	7000	2,44	1,55	1,32	976 000	620 000	528 000	929 850	613 000	521 000
T3 (C2+ NK)	61 150	7000	7000	4,01	4,6	3,17	1 604 000	1 840 000	1 268 000	1 542 850	1 833 000	1 261 000
T4 (C2- NK)	46 150	7000	7000	3,82	4,1	2,62	1 528 000	1 640 000	1 048 000	1 481 850	1 633 000	1 041 000
T5 (C3+ NK)	61 150	7000	7000	6,62	5,96	4,93	2 648 000	2 384 000	1 972 000	2 586 850	2 377 000	1 965 000
T6 (C3- NK)	46 150	7000	7000	4,45	4,2	3,78	1 780 000	1 680 000	1 512 000	1 733 850	1 673 000	1 505 000

4 DISCUSSION

4.1 ETAT DE FERTILITÉ DES SOLS DE DOMPLEU

La caractérisation granulométrique des parcelles rizicoles de Dompleu (Man) révèle des différences marquées entre les sols de bas-fond et ceux des plateaux. Les sols de bas-fond sont dominés par une forte teneur en limons, qui dépasse 60%, ainsi qu'une proportion importante de sable (environ 30%), tandis que la fraction argileuse y est faible, inférieure à 10%. À l'inverse, les sols de plateau présentent une texture plus sableuse à 50,2%, une teneur significative en argile de 31% et un faible pourcentage de limon (19%). Cette faible teneur en argile, particulièrement dans les sols de bas-fond, influence directement leur fertilité. En effet, l'argile joue un rôle central dans la fertilité des sols du fait de ses nombreuses fonctions, notamment sa capacité à s'associer avec la matière organique pour former le complexe argilo-humique, principal site d'échange cationique et anionique dans le sol [17]. Par conséquent, un faible pourcentage d'argile limite la capacité du sol à retenir les éléments nutritifs essentiels.

Par ailleurs, les sols étudiés présentent un pH naturel acide à moyennement acide, avec des valeurs de pH mesurées entre 4,9 et 5,2 en eau, et entre 3,9 et 4,1 en KCl, comportant une variation de pH supérieure à 1 ($\Delta pH > 1$). Cette forte acidité potentielle est connue pour limiter la nitrification, provoquer des déficiences en phosphore, engendrer une toxicité liée à l'aluminium et au manganèse, et réduire la disponibilité de plusieurs éléments nutritifs, ce qui freine la croissance végétale. Ces phénomènes expliqueraient les faibles teneurs observées en azote, phosphore et potassium sur les parcelles étudiées.

Le rapport carbone sur azote (C/N) des sols, compris entre 10,7 et 11, suggère une minéralisation normale de la matière organique. Cependant, les faibles teneurs en carbone total et en matière organique reflètent probablement des pratiques culturales intensives et

une surexploitation chronique des sols rizicoles par les agriculteurs, ce qui constitue un frein majeur à la productivité du riz et du maïs dans cette région [18, 19, 20, 21].

La capacité d'échange cationique (CEC) des sols, comprise entre 14 et 15 mmol⁽⁺⁾kg⁻¹ est inférieure au seuil souvent recommandé (15 cmol⁽⁺⁾kg⁻¹) pour assurer une bonne rétention des nutriments [18]. Cette faible CEC indique une capacité limitée à retenir les bases et les cations essentiels, réduisant ainsi l'efficacité des apports d'engrais minéraux. De plus, le taux de saturation en bases, inférieur à 60%, révèle que les sols ne sont pas entièrement saturés par les éléments nutritifs indispensables, ce qui implique la nécessité d'apports réguliers en fertilisants pour maintenir la fertilité.

Sur le plan microbiologique, un nombre conséquent de bactéries aérobies totales et de bactéries solubilisatrices de phosphates, de l'ordre de 5×10^4 bactéries par gramme de sol sec, a été recensé. Néanmoins, ce taux est environ 800 fois inférieur à celui observé dans une parcelle rizicole de la station de recherche de Man ($4,29 \times 10^6$ bactéries/g sol sec, [22]) Cette réduction pourrait s'expliquer par la forte teneur en limon et la faible matière organique des sols de Dompleu, qui favorisent une structure plus compacte du sol limitant l'aération et l'habitat favorable à la microflore [23].

Au vu de ces résultats, la nécessité d'utiliser des amendements organiques tels que le compost est évident, afin de restaurer la matière organique et améliorer la disponibilité des éléments nutritifs essentiels pour la production culturale. Le compost enrichit le sol en matière organique et stimule la vie microbiologique, contribuant ainsi à restaurer la fertilité et la productivité des sols [24].

4.2 EFFET DES BIO-PHOSPHO COMPOSTS SUR LES PARAMÈTRES AGRO-MORPHOLOGIQUES DU RIZ ET DU MAÏS

Dans l'ensemble, les résultats obtenus démontrent clairement l'impact positif du bio-phospho-compost enrichi en roche phosphatée (RP) et en bactéries solubilisatrices des phosphates (BSP) sur les paramètres agro-morphologiques du riz et du maïs, confirmant ainsi les observations faites dans divers travaux ([25, 26, 16]). Les sols amendés avec du biophosphocompost (traitements T1 à T6) affichent une amélioration significative de la hauteur des plantes, du nombre de talles et de panicules pour le riz, ainsi que de la hauteur, de l'épaisseur des feuilles et du nombre d'épis pour le maïs, par rapport aux sols non amendés. Ces effets positifs sont dus à la richesse en nutriments des composts produits. Ces résultats corroborent avec ceux des travaux de [27], [28] et [29], qui ont montré que l'application de biofertilisants stimule la croissance végétative et le développement racinaire, améliorant ainsi la vigueur des plantes.

4.2.1 EFFETS DES DOSES DE ROCHE PHOSPHATÉE

Les résultats montrent clairement que des doses élevées de roche phosphatée (300–450 kg/ha) dans le biophosphocompost améliorent significativement les rendements, comparativement aux doses faibles (150 kg/ha). Cela confirme l'importance d'un apport suffisant en phosphore, élément souvent limitant dans les sols tropicaux, pour optimiser la croissance des deux cultures étudiées (riz et maïs). Ces observations s'inscrivent dans la continuité des travaux de [30], [31], ainsi que [32], qui ont mis en évidence le rôle crucial d'un apport adéquat en phosphore pour favoriser la croissance des plantes et la formation des organes reproducteurs, garantissant ainsi des rendements optimaux.

Pour le riz, les traitements riches en roche phosphatée (450 kg/ha) ont entraîné une augmentation significative de la hauteur des plants, du nombre de talles et de panicules, ainsi que des rendements en grains et en paille, soulignant la nécessité d'utiliser un biophosphocompost enrichie en roche phosphatée (RP) pour maximiser la productivité [33]

Pour le maïs, bien que la hauteur des plants diminue naturellement au fil des cycles, une augmentation significative est observée avec les fortes doses de roche phosphatée (RP) concernant l'épaisseur des feuilles, ainsi que les rendements en grains et en paille. Cette tendance pourrait être expliquée par un lessivage progressif des éléments nutritifs dans le sol à long terme, réduisant l'effet favorable sur la croissance en hauteur mais maintenant l'apport en phosphore disponible pour des fonctions physiologiques clés. En effet, le phosphore joue un rôle essentiel dans le développement racinaire, le métabolisme énergétique et la photosynthèse, ce qui favorise l'accumulation de biomasse foliaire et la formation des organes reproducteurs, impacts qui se traduisent par des rendements accrus [34, 35].

4.2.2 IMPACT DE L'ASSOCIATION BIOFERTILISANTS ET FERTILISANTS CHIMIQUES

L'association du bio-phospho-compost avec des fertilisants chimiques (KCl, urée) induit une augmentation très significative de tous les paramètres agro-morphologiques pour le riz et le maïs, ce qui concorde avec les travaux récents de [36], qui ont montré que la combinaison de biofertilisants et d'engrais chimiques améliore à la fois le rendement et la qualité nutritionnelle de la laitue. De même, [37], ont rapporté une augmentation de 164% du rendement du riz pluvial grâce à l'usage combiné de biofertilisants et d'engrais NPK, suggérant un effet synergique entre ces amendements. Cependant, un résultat particulièrement notable de cette étude est l'efficacité du traitement T6, contenant une forte dose de roche phosphatée (RP) sans apport d'engrais chimique, qui égale voire dépasse les performances des traitements combinant biofertilisants et fertilisants chimiques. Ce constat rejoint les conclusions de [38], et de [39],

qui ont mis en évidence qu'en certaines conditions pédoclimatiques, les composts enrichis en microorganismes et éléments nutritifs peuvent remplacer partiellement, voire totalement, les engrais chimiques, promouvant ainsi des systèmes de fertilisation organo-minérale plus durables.

Dans les conditions spécifiques de cette étude, ces résultats suggèrent que l'utilisation d'un biophosphocompost enrichi à la forte dose de RP (450 kg RP/ha) peut suffire à soutenir une croissance optimale des cultures tout en réduisant la dépendance aux engrais minéraux, contribuant ainsi à une agriculture plus résiliente et respectueuse de l'environnement.

4.2.3 ÉVOLUTION AU COURS DES CYCLES DE CULTURE

L'amélioration des paramètres agro-morphologiques des cultures observées entre le cycle 1 et le cycle 2, suivie d'une légère régression au cycle 3, pourrait s'expliquer par une dégradation progressive de la fertilité des sols, liée au fait que les amendements n'ont été appliqués qu'au premier cycle de culture. Cette hypothèse est renforcée par la dégradation continue et marquée des paramètres relevés dans les parcelles non amendées, confirmant le phénomène bien documenté de déclin de la productivité en l'absence d'apports nutritifs adéquats [40]. Cette étude souligne ainsi la nécessité d'adopter une gestion dynamique et adaptée de la fertilisation à chaque cycle de culture afin d'assurer la durabilité de la production des cultures.

4.2.4 RENTABILITÉ ET IMPLICATIONS AGRONOMIQUES

Au-delà des améliorations agronomiques, l'analyse de rentabilité démontre que les traitements à forte dose de roche phosphatée (RP) (T5 et T6) sont les plus rentables, quel que soit le cycle ou la culture. Ces résultats confirment ceux de [43], qui ont souligné l'importance d'un apport phosphaté optimisé pour assurer la durabilité économique des systèmes de production rizicoles, notamment dans des sols acides où la disponibilité du phosphore est souvent limitée. Par ailleurs, les doses intermédiaires (T1 à T4) offrent un bon compromis entre coûts et rendements, ce qui rejoint l'approche recommandée par [41] selon lesquelles l'intégration d'un biofertilisant avec une faible dose d'engrais chimique permet d'obtenir d'excellents résultats, supérieurs à l'utilisation soit du biofertilisant seul, soit d'un engrais chimique à 100%, contribuant ainsi à une fertilisation plus durable et respectueuse de l'environnement.

5 CONCLUSION

La présente étude avait pour objectif général d'évaluer le potentiel agronomique de différents bio-phospho-composts, composés de différentes doses de roche phosphatée marocaine (150, 300 et 450 kg/ha) dans différentes écologies ou sur plusieurs différentes spéculations.

Les résultats agronomiques sont très encourageants, avec des rendements en grains, surtout pour le riz, doublant entre le premier et le troisième cycle (de 4 t/ha à 6 t/ha), notamment sous les traitements à forte dose de RP, surpassant largement ceux des parcelles témoins non amendées (2,43 t.ha⁻¹ au cycle 1 à 0,85t.ha⁻¹ au cycle 3). L'amélioration des paramètres agro-morphologiques du maïs et du riz est maximale avec des doses élevées de roche phosphatée dans le bio-phospho-compost, que ce soit le traitement avec ou sans fertilisants chimiques. Les traitements combinant biofertilisants et fertilisants chimiques offrent des gains significatifs, mais l'apport élevé de RP (450 kg/ha) seul (T6) peut égaler, voire surpasser, ces performances. Les parcelles non amendées subissent quant à elles une dégradation continue de la productivité et de la vigueur des plants au fil des cycles.

En conclusion, la dose de 450 kg de roche phosphatée par hectare s'est révélée optimale pour améliorer durablement les paramètres agromorphologiques des deux céréales étudiées aboutissant à une production agricole plus soutenable. Cette approche biofertilisante représente une alternative prometteuse aux pratiques paysannes dans les systèmes agricoles de Man.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier sincèrement l'Office Chérifien du Phosphate (OCP-Africa) pour le soutien financier et le Centre National de Recherches Agronomiques (CNRA) de Man pour le soutien technique apporté à la réalisation du projet de recherche ASORPRI.

REFERENCES

- [1] Kouablan E. K., Saraka D. M. Y., Nafan D., Laopé A. C. S. (2017). Etat des Lieux Et Gestion Des Semences Des Principales Céréales Cultivées Au Nord De La Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*, ESJ, 13 (3), 112-125. <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2016.v13n3p112>.
- [2] Biaou. O. D. B., Saidou. A., Bachabi. F. X., Padonou. G. E. et Balogoun. I. (2017). Effet de l'apport de différents types d'engrais organiques sur la fertilité du sol et la production de la carotte (*Daucus carota* L.) sur sol ferrallitique au sud Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11 (5): 2315-2326.

- [3] Koulibaly. B., Dakuo. D., Ouattara. A., Traoré. O., Lompo. F., Zombré. P. N. et Yao-Kouamé. A. (2015). Effets de l'association du compost et de la fumure minérale sur la productivité d'un système de culture à base de cotonnier et de maïs au Burkina Faso. *Tropicicultura*, 33 (2), 125-134.
- [4] Ablede. K. A., Koudjega. K., Ganyo. K. K., Kpemoua. E. K., Lombo. Y. (2020). Amélioration de la solubilisation des phosphates naturels de faible réactivité par phospho compostage à base de fumier. *Bul. Rech. Agro. Ben.*, 175-181. http://www.slire.net/download/2583/article_22_pg_brab_n_special, it ra_oct_2019_ablede et al., amelioration_solubilisation.pdf.
- [5] Garba O., Zanguina A., Mella M. T., Addam Kiari S. et Saidou I. M. (2022). Etude de l'efficacité agronomique de composts de déchets de récolte sur deux cultures maraichères: la tomate et la laitue. *IOSR Journal of Applied Chemistry (IOSR-JAC)*, Volume 15, Issue 8 Ser. I, 68-77.
- [6] Konate. Z., N'ganzoua. K. R., Bi Zro. F. G., Bakayoko. S., Camara. M. (2022). Effet de différentes doses de compost de fiente de poulet sur la fertilité des sols et les paramètres agronomiques de la laitue (*Lactuca sativa* L.). *Agronomie Africaine*, 34 (1): 34 (1): Pp 117 – 131.
- [7] Dieng. A., Sagna. M., Babou. M., Dione. F., Diallo. B. (2014). Analyse de la compétitivité du riz local au Sénégal. Programme de renforcement de la recherche sur la sécurité alimentaire en Afrique de l'Ouest. Résumé n°1-2011-12. Michigan State University. 9 p.
- [8] Zraibi. L., Chaabane. K., Berrichi. A., Sbaa. M., Badaoui. M., Zarhloule. Y., Georgiadis. M. (2015). Assessment of the agronomic value of the sludge compost for the waste water treatment plant from Nador city. *J. Mater. Environ. Sci.* 6 (10) (2015) 2975-2985. ISSN: 2028-2508 CODEN: JMESC. 11p.
- [9] Sow. M. (2018). Effets de deux types de compost et de la fertilisation minérale azotée sur les propriétés du sol et le rendement du riz (*Oriza sativa* L.) de Nappe en station au CRA de Djibélor. Mémoire de Master en Aménagement et Gestion des écosystèmes forestiers et agroforestiers, Université Assane Seck de Ziguinchor, 34p.
- [10] Devi, N.T., Devi, A.S., Singh, K.R. (2024). Impact of chemical fertilizer and composts application on growth and yield of rice in Northeast India. *Sci Rep* 15, 8575 (2025). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-93684-0>.
- [11] Hossain. S., Al-Solaimani. S. G. M., Alghabari. F., Shahzad. K., & Rashid. M. I. (2024). Enhancing maize yield through sustainable and eco-friendly practices: the impact of municipal organic waste compost and soil amendments. *Cogent Food & Agriculture*, 10 (1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2307119>.
- [12] Asuming-Brempong. S. et Anipa. B. (2014). The Use of Rock Phosphate and Phosphate Solubilising Fungi (*Aspergillus niger*) to Improve the Growth and the Yield of Upland Rice on Typic Kandiudal. *West African Journal of Applied Ecology*, vol. 22 (1). Pp 13.
- [13] Guety. T. P., Bongoua-Devisme, A. J., Kpan. W. H., Kouadio. K. K. H., & Bahan. F. M. L. (2024). Effet de la paille de riz sur la combinaison roche phosphatée du Maroc (MRP) - bactérie solubilisante du phosphate (PSB) sur un sol acide à Man (Côte d'Ivoire, Afrique de l'Ouest). *Journal of Animal and Plant Sciences*, 59 (2): 10843–10855. <https://doi.org/10.35759/janmplsci.v59-2.1>.
- [14] Taktek. S. (2015). Dissolution biologique des phosphates: Interaction bactéries – mycorhizes. Thèse Université Laval, Québec, Canada. 128p.
- [15] Kpan. W.H., A.J Bongoua-Devisme, K-K.H. Kouadio, F.M. L. Bahan, K.P. Adou, B. Koné, A.K. L. Koko (2023) Response of lowland rice to phosphate amendements in three acidics agroecological zones of Côte d'Ivoire: Man - Gagnoa – Bouaké. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 8 (5), 135–144. <https://doi.org/10.22161/ijeab.85.18>.
- [16] Bahan. F. (2017). Programme riz. Rapport annuel d'activités de recherche 2015, CNRA Man. Rapport de projet, CNRA, (Man, Côte d'Ivoire), 43 p.
- [17] Boueunan Wongbe. B., Bongoua-Devisme. A.J., & Bahan. Lemonou Franck. M. (2024). Étude des propriétés physico-chimiques et microbiologiques d'un biofertilisant élaboré à partir d'un mélange de résidus de récolte, d'un consortium bactérien et de roche phosphatée. *European Scientific Journal*, 20 (18): 148-177. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n18p148>.
- [18] Kouadio. K. P., Yoboué. K. E., Touré. N., Beugré. C. M., Aka. K. F., Kouakou. K. J. et Yao-Kouamé. A. (2018). Effet des téguments de fèves de cacao sur la fertilité chimique d'un ferral sol et quelques paramètres de croissance du manioc, à Ahoué, Sud-Est Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences* 121: pp 12144-12156.
- [19] Gnahoua. J. B. G., Ouattara. M. L. M. S., Coulibali. Z., Diomandé. L.B., & Soro. Y. R. (2023). Gestion intégrée de la fertilité des sols: Une voie prometteuse pour l'intensification durable des systèmes de culture du coton des petits exploitants en Côte d'Ivoire. *Asian Journal of Research in Crop Science*, 8 (1): 515-58. doi: 10.9734/ajrcs/2023/v8 i1157.
- [20] Agegnehu. G., Tilahun. A., Teklu. E., Chilot. Y., Carol. H., Robert. T., Matthew. G. N., Sheleme B. and Gueta W. S. (2021). Extent and management of acid soils for sustainable crop production system in the tropical agroecosystems: a review, *Acta Agric. Scandinavica*, Section B — Soil & Plant Science, 71 (9): pp 852-869.
- [21] Hamidou. Z., Mahamane. S., Payne. W. A., Sedogo. M., Lompo. F. Nacro. H. B. (2016): impact des modes de gestion de la fertilité du sol et des systèmes de culture sur la nutrition azotée et les rendements du mil, (*Pennisetum glaucum* (L) R. Br). *Tropicicultura*, 2016,34,4, pp 335-349-.
- [22] Boueunan Wongbe. B. (2019). Caractérisation des bactéries solubilisatrices des phosphates isolés des sols de rizière: cas de la parcelle rizicole de man (Ouest de la Côte d'Ivoire). Mémoire de Master en Sciences de la Terre à l'université Félix Houphouët Boigny, UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, 23-25pp.

- [23] Saleem. A. B., A. Ayaz, K. J., Jeffery. K. D., Harris. M. (2013). Integration of visual motion and locomotion in mouse visual cortex *Nat. Neurosci*, pp. 1864-1869.
- [24] Arunachalam T, Gade K, Mahadule PA, Soumia PS, Govindasamy V, Gawande SJ and Mahajan V (2024) Optimizing plant growth, nutrient uptake, and yield of onion through the application of phosphorus solubilizing bacteria and endophytic fungi. *Frontiers in Microbiology*, 15: 1442912., doi: 10.3389/fmicb.2024.1442912.
- [25] Lasmini, S. A., Edy, N., Yunus, M., Nasir, B. H., & Khasanah, N. (2022). Effect of the combined application of manure compost and trichoderma sp. on production parameters and stem rot disease incidence of shallot. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 38 (3), 335-344. <https://doi.org/10.29393/CHJAA38-31OHVL10031>.
- [26] Guangxu Zhao, Xiaoling Zhu, Gang Zheng, Guangfan Meng, Ziliang Dong, Ju Hye Baek, Che Ok Jeon, Yanlai Yao, Yuan Hu Xuan, Jie Zhang, Baolei Jia (2024). Development of biofertilizers for sustainable agriculture over four decades (1980–2022), *Geography and Sustainability*, Volume 5, Issue 1, 2024, Pages 19-28. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2023.09.006>.
- [27] Yildiz Dasgan H and Temtek T (2023). Impact of Biofertilizers on Plant Growth, Physiological and Quality Traits of Lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *Longifolia*) Grown under Salinity Stress [Internet]. *Environmental Sciences. IntechOpen*; 2023. Available from: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.108710>.
- [28] Sini, H., Barzegar, R., Mashaei, S., Ghahsare, M., Mousavi-Fard, S., & Mozafarian, M. (2024). Effects of biofertilizer on the production of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) in greenhouse. *Journal of Agriculture and Food*, Volume 16, 101060. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101060>.
- [29] Amanullah and Khan A (2015). Phosphorus and Compost Management Influence Maize (*Zea mays*) Productivity Under Semiarid. *Frontiers in Plant Science, Sec. Plant Pathogen Interactions*, Volume 6, 1083. | <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01083>.
- [30] Tovohery Rakotoson, Yasuhiro Tsujimoto, Tomohiro Nishigaki (2022). Phosphorus management strategies to increase lowland rice yields in sub-Saharan Africa: A review. *Field Crops Research*, Volume 275, 108370. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108370>.
- [31] Bingbing Zhang, Yajie Wang, Haijiang Liu, Xinyu Yang, Pan Yuan, Chuang Wang, Hongmei Cai, Sheliang Wang, Guangda Ding, Fangsen Xu, Lei Shi (2023). Optimal phosphorus management strategies to enhance crop productivity and soil phosphorus fertility in rapeseed–rice rotation. *Chemosphere*, Volume 337, 139392. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139392>.
- [32] Adou K.P., Kouadio K.K.H., Bongoua-Devisme A.J., Bahan F.M.L. & Koko A.K.L. (2025). Influence des Doses de Roche Phosphatée et/ou de Superphosphate Triple sur les Rendements du Riz de Bas-Fonds Affectés par l'Acidité dans le Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal, ESJ*, 21 (6), 143-162. <https://doi.org/10.19044/esj.2025.v21n6p143>.
- [33] JIA Y. and GRAY V.M. (2004). Influence of phosphorus and nitrogen on photosynthetic parameters and growth in *Vicia faba* L. *Photosynthetica* 42 (4): 535-542.
- [34] Singh. S. K., Reddy. V. R., Fleisher. D. H., and Timlind. J. (2019). Interactive effects of temperature and phosphorus nutrition on soybean: leaf photosynthesis, chlorophyll fluorescence, and nutrient efficiency. *Photosynthetica* 57 (1): 248-257. DOI: 10.32615/ps.2019.036.
- [35] Uçar. G., Şimşek. M., Topçu. V., Asri. F. Ö., Ertürk. M. E., Çelik. İ. (2025). Synergistic Effects of Biofertilizers and Chemical Fertilizers on Yield and Nutritional Quality of Greenhouse-Grown Lettuce. *Horticultural Studies*, 42 (2): 80-87. DOI: 10.16882/hortis.1716339.
- [36] Fitriatin, B., Dewi, V., & Yuniarti, A. (2021). The Impact of Biofertilizers and NPK Fertilizers Application on Soil Phosphorus Availability and Yield of Upland Rice in Tropic Dry Land. *E3S Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/E3SCONF/202123203012>.
- [37] Meenakshi Suhag (2016). Potential of Biofertilizers to Replace Chemical Fertilizers. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, Vol. 3, Issue 5, 163-167. <https://www.researchgate.net/publication/303719354>.
- [38] Nosheen, S., Ajmal, I. and Song, Y. (2021). Microbes as Biofertilizers, a Potential Approach for Sustainable Crop Production. *Sustainability*, 13, 1868. <https://doi.org/10.3390/su13041868>.
- [39] Bongoua-Devisme, A. Jeanne, W. Hippolyte Kpan, F.M. Lemounou Bahan, Brahim Koné, K-K. Hippolyte Kouadio, K.Pla Adou, and A.K. Louis Koko. (2024). «Residual Effect of Phosphate Amendments on Agronomic Parameters of Rainfed Rice in Three Agroecological Zones of Côte d'Ivoire». *Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 10 (3): 57-71. <https://doi.org/10.9734/ajsspn/2024/v10i3319>.
- [40] Nurhafizhoh Z., Mohd F. K, Sharifah A. S. I., Mohamed M. M. M. (2022). Effect of integrated biofertilizers with chemical fertilizers on the oil palm growth and soil microbial diversity. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, Volume 39, 102237. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102237>.

Pensée politique du président John Pombe Magufuli: Entre populisme et panafricanisme ?

[Political thought of President John Pombe Magufuli: Between populism and Pan-Africanism?]

Adolphe AMANI BYENDA¹, Pacifique MAKUTA MWAMBUSA¹, and Germain NGOIE TSHIBAMBE²

¹Université Officielle de Bukavu, RD Congo

²Université de Lubumbashi, RD Congo

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

ABSTRACT: This reflection on the thoughts of the former Tanzanian president, John Pombe Maguli traces his history through his political speeches and spontaneous outings. From these, a systematic analysis was carried out to establish a link between political life and the pan-Africanist ideology which emerged from African leaders whom some consider to be pioneers of African thought. Thanks to a certain rigor that he set for himself when he entered politics, John Pombe Magufuli managed to revive the pan-Africanist ideas and models that some opinion doubts to attribute to the ideals of the former pan-Africanists from before, during and after African independence. In this way, he became an emblematic political actor not only for his own country, but also for Africa as a whole, even if he seems to be forgotten today in the modern history of Pan-Africanism. Its embodied pan-Africanist model refers to the culture of self-care through what can be described as ego-Africanism for a better political, economic, social and scientific future for Africa. In this sense, rethinking the South and Africa will only be possible if African leaders draw inspiration from the model of President John Pombe Magufuli.

KEYWORDS: pan-Africanism, emancipation and African renaissance, south-south thought.

RESUME: La présente réflexion sur la pensée de l'ancien président tanzanien, John Pombe Maguli retrace son histoire à travers ses discours politiques et sorties spontanées. A partir de ces derniers, une analyse systématique a été menée pour établir un lien entre la vie politique et l'idéologie panafricaniste qui a émergé dans le chef des leaders africains que d'aucuns considèrent comme pionnier de la pensée africaine. Grâce à une certaine rigueur qu'il s'est fixée lors de son entrée en politique, John Pombe Magufuli est parvenu à faire revivre les idées et modèles panafricanistes qu'une certaine opinion ne doute d'attribuer aux idéaux des anciens panafricanistes d'avant, pendant et après les indépendances africaines. De la sorte, il est devenu un acteur politique emblématique non seulement pour son propre pays, mais aussi pour l'Afrique toute entière même s'il semble être oublié aujourd'hui dans l'histoire moderne du panafricanisme. Son modèle panafricaniste incarné renvoie à la culture d'auto-prise en charge à travers ce qu'on peut qualifier d'égo-africanisme pour un meilleur avenir politique, économique, social et scientifique de l'Afrique. Dans ce sens, repenser le Sud et l'Afrique ne sera possible que si les dirigeants africains s'inspirent du modèle du président John Pombe Magufuli.

MOTS-CLEFS: panafricanisme, émancipation et renaissance africaine, pensée sud-sud.

1 INTRODUCTION

Surnommé Tinga-tinga, c'est-à-dire bulldozer grâce à ses actions à la tête du ministère des infrastructures en Tanzanie, l'ancien Président tanzanien John Pombe Magufuli s'est inscrit dans l'histoire politique de l'Afrique en général, et de la Tanzanie de manière particulière. De l'Afrique francophone, en passant par l'Afrique swahilophone, lusophone et anglophone, nombreux sont des africains qui incarnent jusqu'à présent la pensée et les actions de l'ancien président tanzanien estimant que ce dernier aurait marqué l'histoire moderne de l'Afrique au début du 21^{ème} siècle comparativement à d'autres dirigeants africains de son époque. Caractérisé par un franc parlé lors de ses sorties publiques et médiatiques, l'ex-président tanzanien peut-être aujourd'hui assimilé à plusieurs anciens dirigeants panafricanistes et autres personnalités qui ont marqué l'histoire politique et économique de l'Afrique à l'instar de Kwamé Nkrumah, Patrice Emery Lumumba, Félix Houphouët Boigny, Gamal Abdel Nasser, Modibo Keita, Jomo Kenyatta, Julius Nyerere, Sekou Touré, Thomas Sankara, Miriam Makeba, Nelson Mandela. Il est vrai que des analyses aussi bien scientifiques que politiques méritent, d'entrée de jeu, une attention particulière afin de situer l'histoire de ce dirigeant surtout lorsqu'on mène une analyse comparative de sa vie et comportement avec ceux d'autres dirigeants africains. Pour y arriver, quatre principaux points constituent l'ossature de la présente analyse en dehors de l'introduction, la conclusion et de la bibliographie. Dans un premier niveau, il est question de jeter un double regard sur la compréhension du concept panafricanisme dans sa compréhension ancienne et moderne. En deuxième lieu, il est important de retracer les parcours politique et historique de John Pombe Magufuli. Le troisième quant à lui, présente les discours et la pensée politique du Président John Pombe Magufuli afin d'en dégager sa portée avec le panafricanisme moins encore avec le populisme comme le soutien une certaine opinion. Le quatrième enfin, analyse des résultats de sa vie et de son comportement par rapport au populisme et au panafricanisme.

2 MÉTHODES DE COLLECTE ET TRAITEMENT DES DONNÉES

La présente étude s'appuie sur une double démarche méthodologie à la fois qualitative et historique.

2.1 LA MÉTHODE QUALITATIVE

L'approche qualitative utilisée a emprunté quelques phases importantes, à savoir la revue de la littérature sur l'histoire politique du président John Pombe Magufuli, son engagement politique et la relation avec le panafricanisme. Dans le même angle d'idées, pour ce qui est de la revue littéraire, elle a consisté en la fouille et sélection des écrits fondamentaux relatifs au panafricanisme en le situant dans ses origines, ses enjeux (à la fois philosophiques, politiques, sociaux et économiques).

2.2 LA MÉTHODE HISTORIQUE

Dans le souci d'analyser et comprendre la pensée politique de l'ancien président John Pombe Magufuli, la méthode historique nous permet de questionner les origines et évolutions des engagements politiques de ce dernier à travers ses discours et narratifs. Cette méthode est également appuyée par la documentation qui permet la sélection et l'exploitation des documents en lien avec le thème sous étude; de même que le recours à la bibliothèque en ligne et l'observation désengagée.

3 VERS UNE DOUBLE COMPRÉHENSION DU CONCEPT « PANAFRICANISME »

3.1 LA COMPRÉHENSION ANCIENNE¹

De par ses origines, le panafricanisme est un mouvement de résistance, de solidarité et de libération qui est né parmi les Africains déportés en captivité dans les Amériques entre le XVI^{ème} et le XIX^{ème} siècles. Apparue dans un contexte et un environnement particulièrement hostile, fruit du chapitre le plus sombre de l'histoire de l'Afrique, il est pourtant rapidement devenu le mouvement idéologique le plus fécond, ainsi que le champ d'interactions les plus durables entre les Africains du continent et ceux de la diaspora. Il faut dire que le mouvement panafricain a connu plusieurs phases.

¹ GUILLAUME BRIDET et al (2018) *Dynamiques actuelles des littératures africaines : Panafricanisme, cosmopolitisme et afropolitanisme*, Paris, Karthala, 37-46.

Tout d'abord, il est centré sur la revalorisation des Noirs dans le cadre d'une solidarité raciale de type pan-nègre. Il évolue entre la fin du XIX^{ème} et le début du XX^{ème} siècle vers un horizon politique, celui du retour en Afrique. Le Pan-négrisme et panafricanisme suscitent alors une importante littérature et nourrissent de nombreux imaginaires avec une cartographie couvrant les deux rives de l'Atlantique, jusqu'à celles de l'océan Indien, et accessoirement jusqu'aux îles du Pacifique, dans des circulations sociopolitiques et échanges culturels qui donnent aux acteurs de ce mouvement une dimension cosmopolite. Du régional au global, en passant par le continental et le transatlantique, les échelles et les limites géopolitiques du panafricanisme restent elles-mêmes en chantier. En effet, l'idée panafricaniste revenue sur le continent africain au moment des indépendances de 1960 a ouvert de nouveaux itinéraires. D'un côté, elle a réintégré la perspective subsaharienne ou négro-africaine de Diop en promouvant le retour, la rencontre et la solidarité de la couleur noire.

D'un autre côté, l'idée panafricaniste, partant de la perspective transsaharienne et continentale de Nkrumah, lui-même formé aux États-Unis, dopée par l'expérience algérienne du psychiatre martiniquais Frantz Fanon, a adopté une orientation résolument anti-impérialiste qui s'est maintenue dans les milieux militants et radicaux. Plus tard, en mai 1963, les dirigeants africains réunis à Addis-Abeba rejettent le projet des États-Unis d'Afrique et fondent l'Organisation de l'Unité Africaine (OUA) dans le but de la libération totale du continent.

Enfin, les nouveaux enjeux de gouvernance, de sécurité et de développement, dans un contexte économique de mondialisation néolibérale, conduisent les États africains vers la mutation de l'OUA à l'Union africaine en 2002. C'est cette même vision qui caractérise jusqu'aujourd'hui la grande majorité de l'opinion africaine qui estime que l'Afrique devrait repenser son avenir.

3.2 LA COMPRÉHENSION MODERNE²

Elle est marquée par le processus de la naissance de certaines structures visant le rassemblement de la population africaine, à travers l'UA traduisant ainsi un certain volontarisme politique et économique plus rapide. Cependant, la lenteur de prise de décision et la mauvaise volonté caractérisées par un double jeu des dirigeants africains montrent le peu d'envie des États pour se fédérer et jouer un rôle dans un monde en perpétuelle mutation.

À l'ère de la globalisation et partant de cette seconde dimension du panafricanisme, il est plus qu'urgent de faire sortir de l'Afrique des forces contraires à travers lesquelles elle est tiraillée. Ceci est possible en mobilisant des termes de référence historique qui sont nécessaires pour que les Africains, partagés entre le sentiment d'abandon de la part de leurs propres institutions et la volonté d'un exercice réellement démocratique du pouvoir, s'organisent comme ç'a été le cas pour les concepteurs de ladite idéologie. A ce titre, la refondation de partis politiques et institutions résolument panafricanistes est sans doute une piste de conscientisation et de remobilisation. Certes, l'usage encore trop répandu sur le continent de la force, de la fraude, du tribalisme ou encore de la violence se dresse de plus en plus contre la culture du débat d'idées nécessaire au panafricanisme. Tout en offrant de nouvelles formes d'éducation politique, il est également impérieux d'investir dans certaines opportunités qu'offrent les réseaux sociaux, l'exploitation du potentiel énergétique et les diasporas pour une véritable communauté panafricaniste répondant aux exigences du système international actuel. Cette communauté doit se fixer comme objectif, la transformation des affinités sociales et culturelles en un véritable projet politique collectif africain visant à faire connaître et à s'inscrire l'Afrique dans l'histoire pour un avenir meilleur.

4 BREF APERÇU SUR LE PARCOURS DE JOHN POMBE MAGUFULI

4.1 L'ENTRÉE DE JOHN POMBE MAGUFULI EN POLITIQUE

Partisan du premier parti politique Tanzanien *Chama Cha Mapinduzi* (CCM), John Pombe Magufuli a dirigé différents ministères notamment celui de l'Élevage et de la pêche, les terres, le logement et les Travaux publics entre les années 2010 et 2015. Grâce à sa ténacité, il tire de ces différents ministères le nom de « *Tingatinga* »; ce qui veut dire le **bulldozer** pour son engagement dans la construction de nouvelles infrastructures routières.

² GUILLAUME BRIDET et al (2018), *Op. cit.*, p.37-46.

4.2 SON ARRIVÉE À LA TÊTE DE LA RÉPUBLIQUE TANZANIENNE

C'est à l'âge de 56 ans qu'il est désigné candidat à l'élection présidentielle à l'issue des élections primaires réunissant 38 candidats. Le 29 octobre 2015, il est élu comme cinquième président de la République Unie de Tanzanie, succédant à Morisho Jakaya Kikwete avec comme programme « Reconquête de la souveraineté économique face aux institutions financières internationales » (Rukweza Mukandala).

4.3 L'ENGAGEMENT POLITIQUE DE JOHN POMBE MAGUFULI ET LA LUTTE CONTRE LA CORRUPTION

Pour rappel, c'est au lendemain de son investiture que le Président John Pombe Magufuli entame un vaste plan de réduction des dépenses publiques en réduisant notamment 100 000 dollars à 7000 dollars (soit environ 92 000 euros à 6 460 euros) les frais de la cérémonie d'inauguration du nouveau Parlement. Il est également à l'origine d'une action pour réduire le budget des événements et des déplacements officiels en limitant le nombre de membres composant les délégations, ou encore de la suppression des indemnités de séance des députés et de l'annulation de la fête nationale.

Afin de prêcher par l'exemple, il décide de réduire également son salaire de 15 000 à 4 000 dollars par mois, devenant de ce fait, l'un des chefs d'Etats africains avec la rémunération la moins élevée. Son mandat se caractérise essentiellement par une lutte énergique contre la corruption. D'importantes sommes d'argent qui s'évaporent avant son arrivée à la tête du pays sont désormais investies dans d'autres secteurs de la vie nationale comme l'éducation ou encore la lutte contre la pauvreté.

En plus, sous son mandat, la Tanzanie a amendé les lois régissant l'attribution des contrats d'exploitation minière, s'arrogeant le droit de les renégocier ou de les rompre carrément. C'est ainsi que la nouvelle loi supprime par exemple les droits des sociétés minières opérationnelles en Tanzanie et décide de recourir à un arbitrage international en cas des différends. C'est le cas par exemple du contentieux fiscal avec l'Acacia Mining, accusée d'avoir sensiblement sous-évalué, durant des années, sa production d'or; et qui s'est finalement soldé par un accord: la Tanzanie obtient 16% des parts dans les mines détenues par cette multinationale. En revanche, cette politique anti-corruption a aussi « effrayé les investisseurs, qui craignaient désormais un éventuel affrontement de la justice du pays réduisant alors la croissance » à en croire l'Opposant Zitto Kabwe du Chadema.

Porté par l'une des plus fortes croissances du continent (5,8% en 2018 et 6% estimés pour 2019 selon le FMI), le gouvernement tanzanien s'est engagé dans un vaste programme de développement des infrastructures, en particulier ferroviaires. Dans sa philosophie, le petit port de Bagamoyo, auquel 10 milliards de dollars d'investissement ont été attribués, devrait devenir le plus grand port d'Afrique en 2030. Dans la même perspective économique, la Tanzanie s'est rapprochée également de la Chine pour booster ses projets de développement. C'est ainsi qu'en réaction à cette nouvelle orientation diplomatique et au manque à la démocratie selon une certaine opinion, les Etats-Unis avaient même suspendu la participation de la Tanzanie au *Millennium Challenge Account* qui s'inscrivait dans le cadre d'un fonds de développement bilatéral.

Sur le plan environnemental par exemple, c'est à partir de 2016 que les autorités Tanzaniennes intensifient également leurs efforts en matière de protection des espèces menacées comme les éléphants et les rhinocéros en vue de leur augmentation.

5 DISCOURS ET PENSÉE POLITIQUE DU PRÉSIDENT JOHN POMBE MAGUFULI: QUEL LIEN AVEC LE PANAFRICANISME ?

Depuis son entrée dans la vie politique tanzanienne jusqu'à sa mort, le président John Pombe Magufuli s'est illustré par une image d'un dirigeant avec un parcours modeste inspiré de son propre désir de travailler pour le peuple tanzanien. D'abord enseignant de mathématique de son état dans son district de Chato, John Pombe Magufuli intègre ensuite la vie politique à partir des années 1995 au parlement tanzanien. Il veut visiblement laisser un héritage au peuple tanzanien dans la mesure où, il est de cette catégorie des dirigeants qui veut s'assurer que les choses sont bien faites. En 2015, alors ministre des Travaux publics, John Pombe Magufuli se présente à l'élection présidentielle pour le compte du parti *Chama Cha Mapinduzi* (CCM) qu'il remporte avec 58%. Il est considéré comme un candidat consensuel même s'il semble être moins connu par rapport à d'autres figures politiques de son pays. Dès lors, le président John Pombe Magufuli est caractérisé par une pensée politique axée essentiellement sur un sentiment de renaissance africaine et un discours sans précédent qu'il est important d'analyser et bien comprendre pour bien situer cette personnalité de la vie politique moderne de la Tanzanie. La partie suivante présente ainsi tour à tour quelques principaux discours prononcés par le Président John Pombe Magufuli à différentes occasions de ses sorties publiques aux différents endroits. Ils sont d'abord présentés en Kiswahili, langue officielle de la Tanzanie et interprétés en second lieu en français pour permettre et faciliter leur compréhension.

Tableau 1. Quelques messages clés du nationalisme durant son mandat lors des meetings et discours populaires

N°	Quelques messages (discours) en Kiswahili du Président John Pombe Magufuli	Traduction en français des principaux messages et/ou discours médiatiques du Président John Pombe Magufuli
01	<p><i>Ikiwa wazungu kule wanauwana, Sisi Tanzania tunakaa kwa amani, Huwezi ukafikiriya kama wanafurahi. Lybia ilikuwa inchi ya amani sana, Mimi niliwai kukaa lybia wiki mbili, Mutu ukiowa kule unapewa dolla amsini za bure pamoja na nyumba yakupanga, Raha zile njo ziliwachosha watu wa lybia ; Wakatchonganishwa na hao wanajuwa kuchonganisha. Wakamuua Kadhafi, leo lybia ni inchi ya maskani inaoteseka kila siku. Walikuwa na shida na mafuta ya lybia , leo wa lybia ndiyo watu wanapanda mitwimbi kila siku kwenda ulaya, Wanakufa kwenye Meditaniya, Inchi iliyokuwa ya amani leo imekuwa inchi ya shida. Walio wadanganya wapo na walio muua Kadhafi wapo. Nenda Iracki mupaka leo inchi ilishavurugika, walimunyonga ule mutu mpaka kichwa kikaachanika, nafikiri aliwapa laana, leo Iraki watu wanauwana wawo kwa wao. Yamefunuka ma grupu ma wili na kila siku ni kufa. Walio ifikisha pale Iraki wapo na nyinyi munawajuwa. Naenda Siria, mupake leo watu wanauna, siriya ilikuwa inchi nzuri. Leo wanauwana kila siku na makundi mengeni yame jitokeza humo humo. Walioyatengeneza hiyo makundi wako ; wanauwana ni wa siria. Naenda Somaliya ; baada y aya siyadibalehe myaka sijuwi ngapi mupaka leo haija tuliya. Watu wamaeneo hayo wamekuwa wakimbizi. Watakuja na meneno mengi mara demokrasia, kwao kuna demokrasia? tuliyo nayo hapa inatutosha.</i></p>	<p>« Et si les blancs s’entretuent, nous en Tanzanie nous sommes en paix et il ne faut pas croire qu’ils se sentent à l’aise. La Lybie était un pays très pacifié, J’y ai personnellement vécu durant deux semaines. Il suffisait de s’y marier pour bénéficier gratuitement d’une somme de 50\$ et d’une maison en location. Les libyens ont été divisés à cause des ennemis. Ils ont tué Kadhafi et aujourd’hui la Lybie est un pays pauvre et souffre au quotidien. Leur problème était le pétrole libyen et aujourd’hui les libyens embarquent dans les pirogues pour aller en Europe. Ils meurent en plein méditerranéen alors que leur pays était stable mais aujourd’hui il est devenu instable et à problème. Ceux qui les ont trompés et tué Kadhafi sont là. Aller en Irak, jusqu’à présent le pays est ingérable, ils ont tué cet homme jusqu’à détacher sa tête et je crois qu’il les a maudits et aujourd’hui les gens s’entretuent en Irak entre eux. Il s’est créé deux groupes qui s’entretuent chaque jour. Ceux qui sont à la base de cette situation vivent avec vous et vous les maîtrisez bien. Aller en Syrie, jusqu’à présent les gens s’entretuent alors la Syrie était un bon pays. Il s’est créé autant des groupes à l’interne qui s’entretuent entre eux. Ceux qui ont créé ces groupes continuent à exister et ce sont les syriens qui meurent. Aller en Somalie, depuis Aile Sélassié jusqu’à présent il n’y a pas de stabilité. Les habitants de ces entités sont devenus des réfugiés. Ils viendront chanter la démocratie. Mais peut-on l’affirmer ? Notre démocratie nous suffit.</p>
02	<p><i>Siku moja mutanikumbuka, na mimi najua mutanikumba kwa mazuri si kwa mabaya, sababu « nimesacrifice maisha yangu kwa ajili ya watanania maskini ». Kwa hiyo tusimame pamoja tusibaguwane kwa vyama, tusibaguwane kwa ajili ya dini zetu, tusibaguwane hata kwa kwamakabila yetu, sisi tuijenge Tanzania.</i></p>	<p>« Vous vous souviendrez de moi un jour et je suis sûr que ça sera pour les bonnes œuvres et non les mauvaises car j’ai sacrifié ma vie pour les tanzaniens démunis. A cet égard, soyons debout et ne soyons pas divisés à cause des partis politiques, à cause de nos religions voire nos tribus mais bâtissons la Tanzanie »</p>
03	<p><i>Kufa tutakufa tu. Unaweza ukafe kwa maleria, ukafa kwa kansa, ukafa kwa magonjwa mengeni kwa sababu kufa kuko. Lakini kamwe tusimuache Mungu. Huo ndiyo wito wangu, tusimame na Mungu. Tusiogope siku moja tutakufa, hata mimi ndakufa, kutokana na alichu kipanga Mungu. Naweza nikafe kwa korona, naweza nikafe na ndiyo munaniona hata mimi sijavaa barakowa sikwamba mimi siogope kufa</i></p>	<p>« Nous mourrons vouloir ou pas. Tu peux mourir par la malaria, le cancer ou toute autre maladie parce que la mort est certaine. Telle est mon exhortation. Levons-nous en appui au Seigneur. N’ayons pas peur car un jour nous mourrons, même moi je mourrai selon le plan de Dieu. Je peux mourir par le Corona et c’est la raison pour laquelle je ne porte pas le masque mais pas à dire que je n’ai pas peur de la mourir»</p>
04	<p><i>Nataka muamini watanania : muna rais wa kwelikweli juwe kwelikweli. Sitishwi wala sitishiki. Mimi jukumu langu kwaajili yawatanania nikuhakikisha ninawavusha watanania kutoka mahali pa shida wanaenda mahali pa raha. Ninajuwa hiyo ndiyo itakuwa sadaka yangu yawatanania. Nilikusudi hata nikienda huko mbinguni siku moja Mungu atakapo nihitaji akanichaguwe kwamba wewe ulikuwa kiongozi muzuri unaweza ukawaongoze hata malaika polepole. Inawezekana kuelewa nikugumu na inawezekana kutachukuwa muda lakini badae siku moja</i></p>	<p>« Tanzaniens, croyez, vous avez un véritable président, sachez-le très bien. Je ne suis pas intimidé ni intimidable. Mon objectif pour les Tanzaniens est de m’assurer qu’ils sont passés de la misère au bonheur. C’est ce que j’offrirai pour les tanzaniens. Si j’arrive au ciel un jour, lorsque Dieu m’appellera, son choix tombera sur moi pour diriger paisiblement les autres anges car j’étais un bon dirigeant. C’est possible que ça soit difficile à comprendre rapidement. Mais je reste convaincu qu’un jour ils se souviendront de moi. Généralement, les tanzaniens se souviennent de</p>

	<i>watakumbuka. Namimi hilo nina uhakika. Na mara nyingi watanzania huwa natabiya yakukumbuka ukisha kufa. Wanakuambiya pengo lake halita zibika</i>	quelqu'un après sa mort et ils disent : « son étoile ne s'éteindra point »
05	<i>Congo ndipo mahali pakufanya biyashara. Congo ni ndugu zetu. Hata baazi ya makabila ambazo yako Congo yako pia tanzania. Nime mutaja wabembe wako Congo wako pia tanzania, Wamanyema wako Congo lakini wako tanzania namakabila mengine natabiya zinafanana</i>	« La République Démocratique du Congo est un lieu où l'on doit exercer le commerce. Les congolais sont nos frères. Même la diversité de tribus qui existent au Congo sont également en Tanzanie. Les <i>manyema</i> sont au Congo (RDC) et même en Tanzanie et tant d'autres tribus qui se ressemblent »
06	<i>Hata chanjo ya ukimwi ingekuwa imeisha letwa. Hata chanjo ya kifuwa kikuu ingekuwa imeisha ondoka. Hata chanjo ya maleria ingekuwa imeisha patikana. Hata chanjo ya kansa ingekuwa imeisha patikana. Ni lazima watanzania tuwe waangalifu kwa mambo yakuletewa letewa, musije mukafikiliwa munapendwa sana.</i>	« Quand bien même le vaccin contre le sida serait découvert ; Quand bien même il serait le cas pour celui contre la tuberculose ; Quand bien même, l'on aurait trouvé celui contre la malaria et le cancer, c'est impérieux pour les tanzaniens d'être vigilants vis-à-vis de choses importées. Ne croyez pas surtout que c'est par amour véritable»
07	<i>Tuliomba siku tatu korona imekwisha, nilikuwa napata taharifa za waziri wa afia juzi anasema Dar-es-lam palikuwa nawagonjwa wane, lakini uzushi utatolewa wa kila aina. Ninyi hapa wandungu zangu waalimu siwaoni waliovala mabarakowa. Hakuna, hata leo tunaonana tu hapa kawaida, ndiyo maana nilikuwa namushangaa siku nyingine speaker, akiwa bungeni yuko kiti chake pekeyake lakini amelivala hilo libarakowa mudomoni. Ndugu zangu watanzania tumutangulize Mungu, nanitowe wito kwa viongozi mbalimbali kwa sababu njiya nyingine inaweza ikatumika niyakuletewa vifaa vya korona, vyenye korona. Watu watakuja kuambiya muvae, na ndungu zangu watanzania tujifunze kuelewa, anapo kuletewa mutu barakoa haujuwi hata ameitowa wapi kataa, mwambiye kavae wewe na muke wako na watoto wako nyumbani, tutaumizwa</i>	« Nous avons organisé une prière de trois jours et la Corona 19 a disparu, j'ai reçu les informations du ministre de la santé selon lesquelles il n'y a que quatre malades à Dar-es-Salam mais des allégations de toute sorte seront véhiculées. Je ne vois pas parmi mes frères enseignants ceux qui portent les masques. Nous nous rencontrons en public comme d'habitude. Toutefois, j'ai été scandalisé en voyant le président du parlement seul au perchoir mais également avec le masque. Chers frères, tanzaniens, faisons passer Dieu devant. Je lance un message fort aux différents dirigeants car les matériels anti-Covid peuvent être à la base de la dissémination ou de la contamination. Les gens viendront vous demander de porter les masques mais cela doit nous apprendre. Lorsqu'on nous amène ces masques dont nous ignorons l'origine, demandé à ces derniers de les amener à leurs femmes ainsi qu'à leurs enfants, sinon nous en serons victimes »
08	<i>Mimi tangu nizaliwe nimeenda ulaya wakati ninasoma. Lakini nimeteuliwa kuwa rasi sikuenda ulaya, nahuu nao ni ushujwa kwa sababu ninaijuwa ulaya iko hapa, nataka niitengeneze tanzania iwe ulaya ili iwa ulaya wawe wanakuja hapa tanzania. Hakuna sababu yakukuwa unakwenda unachunguliya treni za umeme ulaya.</i>	« Depuis ma naissance, je m'étais rendu en Europe pour les études. J'ai été élu président sans partir en Europe : c'est du courage car je sais que l'Europe est ici. Je veux faire de la Tanzanie l'Europe afin que les européens viennent ici en Tanzanie. Ça ne sert à rien d'aller chaque fois contempler les trains électriques en Europe»
09	<i>Mambo yao, lakini mimi ninakuamishwa kwa niaba yenu. Mimi nimezaliwa kwenye familiya masikini na ndiyo maana ninasema kazi yakiraisi ni sadaka, kwa watanzania waliomasikini. Nilifanya vibaya nimefanya vizuri ? Hawawezi wakafurahi nahuu ndiyo ukweli. Tumeingiya kwenye swala la korona tumejenga hospitali za mukowa kumi, tumejenga hospitali za ulaya tisini na nane, tumejenga hospitali za rufa ine,...hatukukopa hela kwao, wanaona wivu, wanaona chungu, hawezi wakafurahi. Tukaingiya kwenye zahabu, zahabu walikuwa wanasomba ma konteina na ma konteina. Wanakuambiya wanacukuwa muchanga, sasa kama ni muchanga kwa nini unasafirisha kuenda ulaya ? Zahabu yetu imesombwa tumeachiwa mashimo, wanainchi wamendeleya kukuwa masikini, na maeneyo yaliyokuwa na zahabu nzuri wamefukuzwa wanainchi wanachimba wao. Mikataba ilikuwa insasahainiwa ulaya bila hata</i>	Dans leurs propos, c'est moi qui suis ciblé à cause de vous. Je suis né d'une famille pauvre et c'est pourquoi je comprends que la fonction de président est un sacrifice, surtout pour les tanzaniens démunis. Aurais-je mal ou bien agi ? Ils seront mécontents ; mais telle est la vérité. Nous nous sommes mis à attaquer la maladie de Covid-19 en construisant des hôpitaux, notamment dix dans les communes ; 18 hôpitaux répondant aux standards européens et d'autres hôpitaux. Et pour cela, nous n'avons sollicité aucune dette mais ils en sont haineux, jaloux et mécontents. Lorsque nous prenons le secteur de l'or, ils emmenaient des multitudes de conteurs déclarant que ce n'était que du sable. Chose qui suscitait plusieurs interrogations. Notre or a été systématiquement pillé et rien n'est resté si ce n'est que des mines vides et les populations ont été chassées des endroits qui regorgent des gisements en or pour

	<p>watanzania wa hapa kujuwa, mimi nilikuwa serekalini myaka ishirini, nimebadirisha huu utaratibu, tukasema nilazima tukae kwenye meza tuzungumuze. Mulisikiya yaliozungumuzwa na baazi yawatanzania waliokuwa wapapeti wa hawa watu : Serekali itafungwa, hamuwezi tukashindana na wazungu, tumewabarakisa sawasawa mupaka wameanza kutowa pesa na tuka unda kampuni inayo itwa twiga. Nahizi feza ndizo tunapeleka kwenye wanainchi wanyonge, kwenye hospitali, kwenye madawa, kwenye mashule, kwenye mabarabara. Hivi vilikuwa havipatikane, lakini musifikiri walivitowa kwa raha, adui wao namba moja ni mimi kwa sababu ninakwamisha mabo yao lakini mimi ninakwamishwa kwa niaba yenu, wakisha ona haya mambo hawawezi wakafurahi na huu ndiyo ukweli kwa sababu wamekosa maeneo walikuwawanachuma.</p> <p>Nataka niwaeleze ukweli na hii ndiyo sadaka yangu kwenu.</p>	<p>l'exploitation à grande échelle. Des contrats ou accords étaient signés en Europe à l'insu de Tanzaniens. Ma présence au gouvernement pendant vingt-ans m'a permis de changer ces choses en renégociant la plupart de ces contrats.</p> <p>Vous avez suivi des propos de certains de nos compatriotes qui sont à la fois leurs marionnettes en disant : le gouvernement sera en difficulté ; nous ne pouvons pas engager un bras de fer avec les blancs ;... mais nous avons redressé les choses jusqu'à mettre en place notre propre société appelée « Twiga ». Et c'est cet argent que nous affectons en faveur des populations démunies, des hôpitaux, des soins de santé, des écoles et des routes. Ceci n'existait pas avant mais ne pensez que toutes ces concessions ont été faites en vain car leur principal ennemi c'est moi pour avoir réussi à arrêter leur mafia mais cela en faveur de tanzaniens. Aussi longtemps qu'ils voient ces choses, ils ne peuvent jamais être à l'aise car ils ont perdu des gisements qu'ils ont longtemps exploités.</p> <p>Je voulais vous dire la vérité et c'est cela mon sacrifice que je vous offre.</p>
10	<p>Mimi ndiyo Rais, ninajuwa siri zote za Inchi hii. Nisingeweza zungumua haya kama haya ninazungumua siyajuwi. Nikuguswa tu na roho mutakatifu ninashindwa kuwataja. Tumechezewa mno, nandiyo mana ninayasema hapa hazarahi ndugu zangu kwamba tumechezewa mno. Namimi ninataka niwahakikishiye, katika wahamu hii ya tano chini yangozi wangu hakuna kuchezeza. Waje wanaliya, waje wanazunguka, watajitahidi kutuchonganisha lakini tuseme hakuna kuchezeza. Ni hayibu. Kule Tanzanaiti zilikuwa nasombwa tu, na ndiyo maana inchi inayoongozwa kwa kuuza Tanzanaiti duniani siyo Tanzania, hata inchi ya pili inayo ongozwa kwa uza Tanzanaiti siyo Tanzania. Munataka ndugu zangu mimi niache kuzungumua ukweli hii ? Sasa nilichaguliwa kuwa Rais wa nini ? Kama sitazungumua huu uozo hazarani? Nikakae kimya kwa kumogopa nani ? Sababu ya maisha yangu ? Inafaa nizekwe kaburini lakini niuseme ukweli wa watanzania waujuwe. Kwa hiyo nataka kuambiya ndugu zangu, vita ya uchumi ni ngumu kuliko vit aya kawaida. Kumunyanganya mutu alichokuwanazoweya kukipata bure kwa kuwazarau watanzania kwamba ni mbumbu, wa pumbavu, wa jinga si kitu raisi. Na ndiyo maana ninawaomba sana wa tanzania, tusimame imara, tuwe wamoja, tupiganiye ma haki zetu. Siku zote ninawambiya ndugu zangu siyo kwamba mimi sina damu, wala kwamba mimi sipendi hela, ... ninajuwa muki amua tutafika, ...</p> <p>Kwa hiyo ninawaomba ninyi viongozi, msigope kuomba wanainchi ili miradi zitakuwa zikiwombwa zikafanye hiyo kazi iliyopo, mukiomba za shule lakini darasa haionekane ile niaibu na tukijuwa tutakutumbuwa.</p>	<p>Je suis le président et je connais tous les secrets du pays. Je sais de quoi je parle, sinon je pourrais me taire si je ne savais pas ce dont je parle. Je suis seulement inspiré par le Saint Esprit, sinon je pouvais les citer nommément. Nous avons plusieurs fois été tellement roulés et c'est ma raison d'être devant vous publiquement pour vous dire que nous avons été roulés. Et moi, je veux vous confirmer que pendant la cinquième république, sous ma direction, il n'y aura plus tout ceci. Qu'ils pleurnichent, qu'ils tournent partout et même s'ils nous opposent entre nous, rien ne sera plus comme avant. C'est horrible. Là, les minerais tanzaniens étaient systématiquement pillés et transportés et jamais la Tanzanie n'avait occupé ni la première ni la deuxième place sur la liste des pays producteurs des minerais tanzaniens. Chers frères, voulez-vous que je ne dise pas cette vérité ? Sinon, j'ai été élu pour être quel type de président, alors sans parler ni dénoncer publiquement ces pourritures? Me taire pour avoir peur de qui ? A cause de ma vie ? J'accepte d'être enterré pourvu que je dise la vérité aux tanzaniens et qu'ils la connaissent. A ce sujet, je veux dire à mes frères tanzaniens que la guerre économique est très difficile que toute autre guerre. Ravir à quelqu'un ce qu'il avait l'habitude de gagner régulièrement de manière gratuite, en trompant les Tanzaniens qu'ils sont dupes, naïfs, imbéciles, c'est difficile. C'est pourquoi je vous demande entant que tanzaniens, de tenir debout et d'être unis pour défendre nos droits. Mes frères, je vous ai toujours dit, pas parce que je ne suis pas humain ou je n'ai pas besoin d'argent que si vous décidez, nous y arriverons. C'est pourquoi je vous demande de ne pas avoir peur, entant qu'autorités, de faire recours à la population pour que les projets avancent. Les fonds qui sont perçus auprès de la population doivent être également affectés aux projets ciblés initialement. Si vous percevez des fonds pour des</p>

		écoles et qu'il s'avère que celles-ci n'existent pas, c'est un crime et nous devons nous en charger jusqu'à sanctionner les auteurs
10	<i>Wapo wafanyakazi ndani ya inchi hii wanapata milioni arubaini kwa mwezi ; Na wapo wanapata laki tatu kwa mwezi. Nataka wale wa milioni arubaini (Na hii ninaisema kwa sababu mimi ndiyo Rais) tutakata mishahara yao ishuke ili ikiwezekana wataalamu wangu wanifanyiziye kazi asije akatokeye Tanzania mutu anapata mushara wa zaidi ya milioni kumi na tano. Ili hizi zingine zote tuziteremushe kwa watu wa chini. Yule atakaye ni anganyiya kwamba mimi ninataka mushara wa zaidi ya milioni kumi na tano aache kazi pale pale tuweke mutu mwengine ambaye anataka mushara ule. Wameji pangiya watu mishaara ya ajabu ; wanashirikiyana na ma bodi wanaoyangoza na saa zingine hizo bodi ndizo zinahongwa pesa, na bodi zile ndiyo zinapendekeza mishahara ya ma chieftu executive. Na hao ma chieftu executives ndio wamekuwa wa kwanza badaala yakufanya mikutano yao humu ndani wanakwenda kufanya mikutano yao huko ulaya. Kuna watu wanaishi. Kuna watu wanaishi kuliko malaika</i>	Ils sont des travailleurs dans ce pays et gagnent des quarantaines de millions de dollars par mois. Je veux couper leur salaire ; j'aimerais que mes experts fassent un travail de sorte qu'il n'y ait pas en Tanzanie, quelqu'un qui gagne plus de quinze millions. Le reste sera affecté et distribué au bas peuple. Celui qui voudra me réclamer un salaire de plus de quinze millions de shilling peut abandonner le travail pour qu'on engage d'autres qui veulent ce salaire. Ils se sont attribué des salaires famineux et exceptionnels à travers les différents services qu'ils dirigent ; ils organisent des rencontres à l'intérieur comme à l'extérieur du pays pour déstabiliser l'état à cause de ces moyens financiers qui leur permettent de vivre plus que les anges.

Source: Nos analyses et archives personnelles sur la vie politique du Président John Pombe Magufuli.

COMMENTAIRES:

Sur base de ces discours, il y a lieu de comprendre que le président John Pombe Magufuli est à situer dans la classe des dirigeants panafricanistes modernes des périodes post-indépendances comme l'ont été Nkwame Nkrumah, Patrice Emery Lumumba, Modibo Keita les années des indépendances des années 1960 en Afrique. Nous partageons l'avis selon lequel les personnalités politiques comme Patrice Lumumba, Modibo Keita, Sékou Touré, Amilcar Cabral, Gamal Abdel Nasser³ sont entrés tous dans l'histoire de l'Afrique comme des héros contemporains du panafricanisme de par leurs positions et discours sur l'anti-colonialisme, l'indépendance de l'Afrique. Comme on peut le constater à partir des discours du président Magufuli, celui-ci reste une figure politique en qui il est possible de découvrir les idées de repenser ce qu'on appelle la gestion politique et économique centrée sur une auto-prise en charge⁴ totalement africaine. Celle-ci, serait caractérisée par une rigueur de gestion, la lutte contre la corruption, la réduction du train de vie des institutions politiques et l'instauration d'une justice distributive. Ainsi donc, le panafricanisme constituerait alors une réaction de solidarité des Noirs face à la position subalterne ou même l'incapacité qui leur était faite dans la société et à l'accusation gratuite de l'infériorité de la race noire, dépourvue d'une histoire ou privée de culture propre⁵. Or, il ressort que la tendance panafricaniste émergente avant et pendant les indépendances, les leaders panafricains n'ont qu'insisté ou suscité dans l'homme africain le sentiment d'auto-prise en charge et d'une culture de responsabilité pour que les africains tracent eux-mêmes un avenir meilleur. C'est ainsi que lorsque John Pombe Magufuli est élu président à 56 ans, en octobre 2015, il semblait être le genre de personne dont la Tanzanie avait besoin dans la mesure où il est perçu comme un président efficace et incorruptible. Ses actions axées sur les résultats sont également jugées comme applicables aujourd'hui à d'autres pays africains; une dose de ce dont le continent a besoin pour faire face à ses problèmes de gouvernance.

³ ALEXIS B.A ANDRE et al (SD), *Intégration régionale, démocratie et panafricanisme : paradigmes anciens, nouveaux défis*, Dakar (Sénégal). CODESRIA, p.71.

⁴ L'auto-prise en charge totalement africaine viserait donc à faire renaître l'Afrique dans son ensemble en mettant l'accent sur les moyens, les ressources, les mesures et les politiques à adopter dans le contexte propre au continent dans le but de son auto-développement. La vision de développer l'Afrique en comptant sur l'occident pour le président Magufuli doit être bannie dans la mesure où, tous les efforts déployés depuis les indépendances pour y parvenir n'ont pas produit des effets escomptés. La coopération Nord-Sud dans laquelle les africains ont été emballé n'est caractérisée que par des intérêts des pays du nord et demeure inégale.

⁵ ALEXIS B.A ANDRE et al(SD), *Op. cit.*, p.60.

D'une autre manière, une certaine tendance pense que les dirigeants africains devraient imiter son style de leadership d'une manière ou d'une autre à travers ce qu'on qualifie de « *Magufulisation* »⁶. De son vivant, il est important de rappeler également que le président John Pombe Magufuli était proche de sa population dans le sens où, il tenait toujours à parler directement au public et à entendre ce qu'il a à dire contrairement à certains dirigeants africains. A cet égard, il est vrai que cette simplicité ferait de lui un autre *Mwalimu*⁷ pour la Tanzanie dans la même lignée que Julius Nyerere dont le parcours, a été caractérisé par une certaine modestie et caractère de leadership s'inscrivant dans le but de vouloir changer toujours positivement la vie des citoyens. Certes, sa capacité et son sens d'écoute, lui permettaient d'être en contact direct avec la population vis-à-vis de leurs problèmes notamment l'accaparement des terres de la population par une certaine classe oligarchique, les problèmes conjugaux des femmes qui avaient été déshéritées, les infrastructures scolaires et médicales; etc. Face à ces problèmes, le président John Pombe Magufuli tentait de trouver des solutions et améliorer les moyens de subsistance de la population au lieu de simples promesses comme c'est le cas pour certains dirigeants.

De plus, en faisant allusion à ses rares voyages et déplacements en dehors de l'Afrique par exemple, le président John Pombe Magufuli ne s'écarte pas d'une vision proche d'autres panafricanistes qui consistaient à construire une Afrique sans frontière, unifiée en une seule entité politique et économique mais en comptant sur des efforts propres aux africains et non venant d'ailleurs. C'est ce qui a été même le sens de son panafricanisme dont il a été militant acharné et combattu par l'extérieur depuis son arrivée au pouvoir. D'une certaine manière, le président John Pombe Magufuli rêvait en réalité une Afrique avec des valeurs et bases nationales fortes. Dans ses discours, il fallait restaurer la dignité de l'Afrique afin qu'il contribue prodigieusement à l'histoire et à la civilisation universelle⁸ sur le plan politique, économique, culturel, social, etc.

Tableau 2. Quelques réactions, compassion et quelques messages de solidarité de certains dirigeants africains suite à la mort du Président John Pombe Magufuli

N°	Pays	Message	Observation
01	République Démocratique du Congo ; le 18 mars 2021	Message à la télévision nationale du président Félix Antoine Tshisekedi pour décréter 3 jours de deuil national soit du 23 au 25 mars 2021 en mémoire de son Excellence John Pombe Magufuli	Il est à noter une certaine considération envers le président tanzanien suite aux rapports entretenus avec la RDC mais aussi suite à son combat mené pour la liberté de l'Afrique.
02	République du Burundi ; Le 18 mars 2021	Apparition à la télévision nationale du président Burundais et décrète 7 jours de deuil national en la mémoire de son Excellence John Pombe Magufuli du 18 au 25 mars 2021	Dans son allocution, il souligne que le continent africain a perdu un combattant et un courageux.
03	République du Kenya ; le 18 mars 2021	<i>Message à la Nation (télévision nationale) du Président Uhuru Kenyatta et annonce que le Kenya observera sept jours de deuil national en mémoire du Président John Magufuli: Inchi zetu mbili napia uhusiyano wetu kama wanachama wa afrika mashariki, tumemupoteza rafiki, nimemupoteza kiongozi mwenzangu, na inchi ya Kenya tumesimama imara wakati huu ngumu na wanaichi wenzetu wa Tanzania, nimepata nafasi leo asubuyi kumuongelesha naibu wa raisi Mama Suluhu Useni na nikamupatiya pole zetu, na nikamuhakikishiya ya kwamba twa simama pamoja naye wakati huu ngumu na tutaendelea kushirikiyana, na yeye na serekali ya Tanzania pamoja na wanainchi wa Tanzania mupaka</i>	Nos deux pays et nos relations entant que deux membres de l'EAC ont perdu un ami, j'ai perdu un homologue et le Kenya est debout pendant cette période triste de Tanzaniens. J'ai eu à appeler la vice-présidente Madame Samia Hassan Suluhu pour lui présenter les condoléances et lui garantir notre soutien jusqu'à ce que notre patriarche soit bien reposé et continuer sur sa vision d'unir les citoyens de l'Afrique de l'Est. Que le Seigneur le repose en paix et nous donne une paix pendant ce moment difficile. Merci.

⁶ Lire à ce sujet l'article de <https://www.bbc.com/afrique/region-54644610>, consulté le 10 août 2025. Pour rappel en 2017, un professeur kenyan est allé jusqu'à appeler à la « *Magufulication* » de l'Afrique lors d'un discours à l'Université de Dar-es-Salaam.

⁷ Concept swahili signifie l'enseignant en français. Un qualificatif attribué à l'ancien président Julius Nyerere pour montrer sa capacité de rapprochement et sa simplicité vis-à-vis de de la population ainsi que sa volonté de vouloir résoudre les problèmes éprouvés par celle-ci.

⁸ ALEXIS B. A ANDRE et al, *Op. cit.*, p.61.

		<i>tuhakikishe yakwamba rafiki yetu, mze wetu tumemupuzisha na tuendeleye na huo musimamo alikuwa naye wakuunganisha wanainchi wa afrika mashariki. Twasema Mwenyezi Mungu amulaze pahali pema peponi na atupatiye amani wakati huu ngumu sana. Asanteni sana.</i>	A lui d'ajouter en outre que sur la scène continentale, le défunt président Magufuli était un champion du panafricanisme. Avec le décès du président Magufuli, j'ai perdu un ami, un collègue et un allié visionnaire.
04	Royaume du Maroc, le 18 mars 2021	Le Roi Mohammed VI adresse un message officiel de condoléances et de compassion à Madame Samia Hassan Suluhu en ces termes : En partageant vos sentiments en ce moment difficile, j'évoque avec beaucoup d'estime ce que nous avons ressenti avec le défunt, pendant notre visite officielle dans votre pays frère en octobre 2016, de fraternité sincère et forte détermination pour le renforcement d'une coopération fructueuse et constructive entre nos deux pays frères ».	Comme c'est le cas pour les autres, le Maroc a également exprimé ses condoléances en reconnaissant les liens de fraternité entre les deux pays sous la présidence de John Pombe Magufuli.
05	La République d'Afrique du Sud ; le 18 mars 2021	Cyril Rampahosa : J'ai parlé à Son Excellence, le vice-président Madame Samia Hassan Suluhu, ce matin et j'ai transmis les condoléances du peuple sud-africain au gouvernement et au peuple de Tanzanie, notre pays frère, pour leur perte.	Entant que première puissance de l'Afrique australe, le président sud-africain avait de liens privilégiés avec le président Magufuli et la Tanzanie entant qu'alliée au sein de la SADC.
06	La République d'Uganda ; le 18 mars 2021	S'exprimant à travers le réseau social twitter, le Président Yuweri Kaguta Museveni a salué entre autre, la foi que portait John Magufuli en la croissance économique des états d'Afrique de l'est.	Avec cette considération, l'on peut alors comprendre que l'ancien président tanzanien avait des qualités et initiatives dont l'EAC avait encore besoin pour son développement.
07	La République d'Angola ; le 18 mars 2021	Le Président João Lourenço s'est exprimé en ces termes : « <i>En ce moment de douleur pour la nation tanzanienne, où la perte prématurée de votre Chef vous met au défi de poursuivre votre travail en faveur du progrès et du développement de la Tanzanie, j'exprime ma conviction que les dirigeants nationaux sauront surmonter sereinement ce moment difficile, en hommage mérité au Président John Magufuli</i> ».	Pour le président angolais, la disparition tragique et inattendue de Magufuli laisse un vide difficile à combler au niveau de la SADC, où le Président Magufuli, pour son esprit, a stimulé des initiatives et des idées qui ont dynamisé l'institution et a aidé à renforcer son rôle en tant que développement de catalyseur de la sous-région et de l'Afrique.

Source: Nos analyses et archives personnelles sur la vie politique du Président John Pombe Magufuli.

COMMENTAIRES:

Les différentes réactions telles que présentées dans le tableau ci-haut démontrent que le président John Pombe Magufuli jouissait d'une certaine considération non seulement de la part de l'opinion publique tanzanienne ou africaine, mais aussi vis-à-vis de ses homologues et hommes politiques du continent. A ce titre, il est important de comprendre que sa vie politique a été marquée d'une manière ou d'une autre par une gouvernance que ses homologues reconnaissaient qu'il fallait couronner notamment à travers les journées de deuil qui ont été décrétées presque partout. Nous pouvons donc reconnaître sans ambages que celui-ci a marqué l'histoire de l'Afrique de manière positive différemment des autres. Depuis sa mort, il s'observe une certaine tendance à vouloir évoquer le Président Magufuli comme un modèle de gouvernance que la Tanzanie a connue et une certaine partie de la jeunesse africaine en dehors de la Tanzanie veut perpétuer les idéaux de Magufuli à travers ses effigies, ses discours politiques, etc. Or, cette tendance est également à retrouver chez les anciens panafricanistes et révolutionnaires africains comme Nelson Mandela, Patrice Emery Lumumba, Thomas Sankara, Léopold Sédar Senghor, etc.

6 ANALYSE ET DISCUSSIONS

De l'analyse de différents discours du président Pombe Magufuli, plusieurs résultats peuvent être dégagés à plusieurs niveaux. Il s'agit du niveau politique ou idéologique; économique ainsi que celui relatif à la gouvernance.

6.1 SUR LE PLAN POLITIQUE ET IDÉOLOGIQUE

Le projet panafricaniste, depuis son esquisse sur le continent américain dans les années 1900, a toujours été un projet de rupture et de libération du continent. Le panafricanisme a toujours été associé à la lutte pour l'émancipation des peuples d'Afrique; et aujourd'hui encore, s'il est demeuré vivace dans l'esprit de la jeunesse africaine, c'est avant tout parce qu'il continue de cristalliser l'espoir d'un changement politique radical⁹ dans le chef des acteurs politiques africains.

Plus de soixante ans après les indépendances, il est plus qu'urgent de s'interroger sur la réalité des indépendances africaines. S'il est vrai que le continent, dans son ensemble, est aujourd'hui débarrassé du colonialisme dans sa forme directe, nulle ne conteste que l'indépendance des pays africains demeure toujours théorique car, il est difficile de compter sur le continent plus de cinq (5) pays où les politiques publiques ne sont pas dictées de l'extérieur par les puissances dominantes et les institutions qui représentent et défendent leurs intérêts¹⁰.

Aujourd'hui, les dirigeants africains sont très peu nombreux à prôner et à œuvrer pour la lutte et l'instauration d'une indépendance économique, la renaissance africaine, la pensée africaine moins encore l'affirmation de la souveraineté de leurs pays comme l'on a observé dans le chef de l'ancien président John Pombe Magufuli, d'heureuse mémoire! Cela, prouve à suffisamment que plusieurs dirigeants du continent ne veulent pas prendre en quelque sorte un risque réel d'affirmation comme l'ont été plusieurs panafricanistes voire même d'autres acteurs politiques comme Mouammar Kadhafi, Robert Mugabe, etc. C'est ainsi qu'en réalité, la dépendance aux institutions financières internationales et donc aux anciennes puissances coloniales, semble toujours faire consensus au sein de l'élite au pouvoir en Afrique. A travers la pensée de l'ancien président tanzanien, une interpellation est ainsi faite pour les acteurs politiques africains afin de pouvoir développer des politiques susceptibles de booster le développement de l'Afrique axés sur les moyens et politiques essentiellement africains. Il faudra s'affranchir réellement de diktats extérieurs et pouvoir prendre les risques comme l'a fait Magufuli qui a voulu imprimer un autre exemple aux dirigeants africains qu'il est possible de faire bien les choses sans recourir à l'occident. Certes, rares sont des dirigeants prêts à le faire par crainte de perte de soutien et d'alliés au sein de la communauté internationale. Or, sans une réelle prise de conscience du diktat et de la responsabilité de l'occident dans la décadence de l'Afrique, l'espoir de la renaissance du continent demeurera toujours un véritable rêve qu'une réalité.

6.2 SUR LE PLAN DE LA GOUVERNANCE ÉCONOMIQUE ET SOCIALE

Bon nombre d'observateurs se demandent quel qualificatif attribué au président John Pombe Magufuli mais en réalité, celui-ci est sans doute un autre modèle qu'il nécessaire de connaître. En Tanzanie, celui-ci est sans contester un véritable réformateur mais également un autre modèle africain susceptible d'être impulsé dans le cadre de la gouvernance économique. Il est important de retenir que durant son passage au ministère de transport, John Pombe Magufuli a des mérites grâce aux multiples projets d'infrastructures construites au pays¹¹. Pour y arriver, il s'est même fixé un programme dénommé « *reconquête de la souveraineté économique face aux institutions financières internationales* » et cela, pour signifier que la Tanzanie devait s'auto-organiser sur le plan économique. Cette politique sera matérialisée par l'adoption de plusieurs réformes entreprises dans plusieurs secteurs de la vie nationale comme on peut même le constater à travers ses déclarations.

A son accession à la magistrature suprême, sa décision de remplacer les festivités annuelles de l'Indépendance par une campagne de nettoyage d'une semaine destinée à économiser l'argent public, campagne à laquelle il a lui-même pris part, démontre également une certaine humilité de mettre à côté les honneurs d'une certaine vie orgiaque comme c'est le cas pour la plupart des dirigeants africains. Il suffit de jeter un regard sur les multiples cérémonies officielles de ce genre organisées chaque année dans les autres pays africains pour se rendre compte de l'énergie mobilisée en termes de fonds lors de ces cérémonies au moment où des compatriotes vivent dans une misère indescriptible et meurent des maladies endémiques difficiles à être éradiquées à cause de l'absence des politiques publiques en la matière.

Dans le même angle d'idées, il est à rappeler que le président Magufuli avait également réduit de 90% le banquet traditionnel à l'occasion de l'ouverture du Parlement et grâce aux fonds mobilisés de cette décision politique de réduction du train de vie des institutions, il a réussi à équiper des hôpitaux avec plusieurs matériels à travers le pays. Lors du sommet du

⁹ <https://fondation-frantzfanon.com/quel-avenir-pour-le-panafricanisme-au-xxieme-siecle/>, consulté le 12 avril 2025.

¹⁰ <https://fondation-frantzfanon.com/quel-avenir-pour-le-panafricanisme-au-xxieme-siecle/>, consulté le 12 avril 2025.

¹¹ <https://www.dw.com/fr/magufuli-lhomme-au-grand-balai/a-18912389>, consulté le 04 février 2025.

Commonwealth à Malte en novembre 2015, la délégation Tanzanienne ne comptait que 4 représentants au lieu de 50 habituels¹².

Il en est de même de la culture politique de sanction initiée par celui-ci visant à lutter contre les antivaleurs et d'autres pratiques de corruption à travers les institutions publiques tanzaniennes. Dans les réseaux sociaux en Afrique, des internautes se réjouissent des actions de Magufuli, qui est pour eux un héros et un modèle de gouvernance à suivre par les autres dirigeants.

Nous sommes victimes d'une guerre économique et celle-ci est plus difficile que les autres guerres. C'est interpellant pour tous les pays africains aujourd'hui ou des efforts doivent être fournis par tous les dirigeants africains car en réalité, l'exploitation des minerais ne profite qu'aux étrangers et les accords doivent être bien renégociés comme cela a été fait pour la Tanzanie à l'époque de Magufuli¹³.

Dans le cadre économique, Magufuli impulse une autre politique visant à gouverner les choses sans recourir aux aides ni aux dettes. C'est le cas de la construction des infrastructures sanitaires, scolaires, routes, etc. La réduction du train de vie des institutions a été également au cœur de ses politiques sociales dans le but d'améliorer les conditions salariales des catégories les plus marginalisées au niveau de son pays.

En guise de conclusion, même si l'on peut penser que le président Magufuli a été animé par un certain populisme, il est certes évident qu'il est un modèle de gestion et un homme d'état qui a pris plus de risques contrairement à la plupart de ses homologues africains. Il est à classer dans la frange des dirigeants africains ayant pris le courage de dénoncer publiquement et avec un ton fort, les malices des occidentaux visant à placer l'Afrique dans une misère indescrivable. Il suffit de passer en revue les multiples messages officiels des présidents africains en exercice lors de sa mort pour se rendre compte de cette évidence. Alors que pour la plupart en de telles occasions, de simples messages écrits sont lus dans des chaînes des télévisions, des annonces spéciales et des apparitions publiques ont été faites par les chefs d'états eux-mêmes jusqu'à l'organisation des journées des deuils pour montrer que la mémoire et la personne du président Magufuli étaient un peu spéciales. Ceci a certes été observé lors des indépendances africaines avec la disparition des hommes politiques panafricains comme Nkrumah; Patrice Emery Lumumba, etc.

Il est clair que les idées récurrentes d'union continentale et de « *développement de l'Afrique pour les africains* » chères aux différentes figures du panafricanisme ont été réactualisées avec la constitution de l'*Union Africaine* et les différentes communautés économiques régionales. Aujourd'hui, ses valeurs sont de nouveau prônées en Afrique au sein des médias et des sociétés civiles ou de l'opinion publique, à travers notamment les mobilisations contre le néocolonialisme comme l'a été le Président John Pombe Magufuli. Il en est de même pour d'autres actions visant la réflexion africaine et du Sud dans son ensemble comme on peut le constater avec des émissions de télévisions à caractère panafricaniste de l'activiste et chroniqueur politique comme Kémi Séba.¹⁴

7 CONCLUSION

A son accession au pouvoir à l'âge de 56 ans, en octobre 2015, John Pombe Magufuli apparaissait réellement comme un autre dirigeant du genre Julius Nyerere grâce notamment à sa pensée politique axée essentiellement sur l'efficacité et la bonne gouvernance des affaires publiques. Par ricochet, ses méthodes de gestion sont jugées comme applicables à d'autres pays africains pour faire face aux problèmes de gouvernance qui minent plusieurs pays.

Comme nous le constatons et comparativement à certains dirigeants africains de son époque, il est clair que l'engagement politique de l'ancien président tanzanien John Pombe Magufuli était essentiellement marqué par ce qu'on peut qualifier de regard sur le développement économique et la lutte contre la corruption durant son mandat. Cela se traduit notamment à

¹² <https://www.dw.com/fr/magufuli-lhomme-au-grand-balai/a-18912389>, consulté le 04 février 2025.

¹³ <https://lasemaineafricaine.info/tanzanie-le-president-john-magufuli-sen-est-alle/>, consulté le 04 février 2025.

¹⁴ Lire à ce sujet : *Sénégal : KEMI SEBA, prêcheur panafricaniste-Jeune Afrique* », sur *JeuneAfrique.com*, 27 octobre 2016, consulté le 10 juillet 2024 ; JULES TORRES, « *Kémi Seba, militant nationaliste noir et pourfendeur de Black Lives Matter* », sur *Valeurs actuelles* consulté le 10 juillet 2025 ; JULES TORRES, « *Kémi Seba, militant nationaliste noir et pourfendeur de Black Lives Matter* », sur *Valeurs actuelles* consulté le 10 juillet 2024 ; *FRANC CFA. Kémi Séba, le sulfureux militant de la cause panafricaine* », sur *Courrier international*, 7 septembre 2017 consulté le 10 juillet 2025. ; Religion et langues africaines au secours du panafricanisme ? Lire sur *Aficultures.com* et la Nation of Islam, mouvement mélangeant panafricanisme et religion musulmane : lire sur *tv5monde.com*, consulté le 10 juillet 2025.

travers des initiatives mises en place visant à réduire les dépenses publiques des institutions, la rigueur envers les grandes entreprises surtout minières et voire même l'attachement au peuple tanzanien caractérisé par un vécu quotidien purement ordinaire ainsi que l'écoute régulière de la basse classe (marginalisée durant des années). En plus, il est également important d'ajouter que contrairement à certains dirigeants africains actuels, le président John Pombe Magufuli reste parmi l'un des dirigeants à s'être illustré à travers des engagements visant à lutter contre des antivaleurs et pratiques ne favorisant pas la bonne gouvernance et l'enrichissement sans cause. On peut rappeler à titre illustratif ses combats dans la lutte contre la corruption et le gaspillage des moyens de l'état; le développement des infrastructures; l'affirmation de la souveraineté nationale de son pays et de l'Afrique; l'engagement nationaliste en prônant un sentiment de fierté nationale et de l'indépendance économique ainsi que politique de la Tanzanie et de l'Afrique toute entière.

Toutefois, il est clair que sa pensée reste également accusée de certains aspects négatifs comme la dose de dérive autoritaire; la gestion de la Covid-19 ainsi que les méthodes de travail que l'on estime souvent combatives et parfois excentriques maquées essentiellement par un manque de transparence et de faible niveau de coopération internationale. Certes, ces attitudes ne sauraient pas mettre en cause la pensée du président John Pombe Magufuli partant des résultats et réalisations à la fois politique, sociale et économique. A cet égard, il y a lieu de conclure que ce dernier a été plus panafricaniste que populiste comme une certaine opinion peut le croire partant de ses engagements vis-à-vis de la Tanzanie et de l'Afrique.

REFERENCES

- [1] ALEXIS B.A. ANDRE et al, Intégration régionale, démocratie et panafricanisme: paradigmes anciens, nouveaux défis, Dakar (Sénégal). CODESRIA, p.61.
- [2] GUILLAUME BRIDET et al, Dynamiques actuelles des littératures africaines: Panafricanisme, cosmopolitisme et afropolitanisme, Paris, Karthala 2018, pp. 37-46.
- [3] SENEGAL: KEMI SEBA, prêcheur panafricaniste–Jeune Afrique», sur *JeuneAfrique.com*, 27 octobre 2016, consulté le 10 juillet 2025.
- [4] JULES TORRES, « Kémi Seba, Militant nationaliste noir et pourfendeur de Black Lives Matter», sur *Valeurs actuelles* consulté le 10 juillet 2025.
- [5] FRANC CFA. KEMI SEBA, « Le sulfureux militant de la cause panafricaine», sur *Courrier international*, 7 septembre 2017 consulté le 10 juillet 2025.
- [6] Religion et langues africaines au secours du panafricanisme ? lire sur *Aficultures.com*
- [7] La Nation of Islam, mouvement mélangeant panafricanisme et religion musulmane: lire sur *tv5monde.com*, consulté le 10 juillet 2025.
- [8] Discours et autres interviews de l'ancien président tanzanien John Pombe Magufuli.

Relation Longueur-Masse et Facteur de Condition du killie *Epiplatys chaperi sheljuzhkoii* Poll, 1953 dans la Rivière Banco (Côte d'Ivoire)

[Length-Mass Relationship and Condition Factor of the killifish *Epiplatys chaperi sheljuzhkoii* Poll, 1953 in the Banco River (Côte d'Ivoire)]

Ouanko Affoué Danielle Kouamé¹, Gogbé Zeré Marius², Motchié Fato Edouard³, Kamelan Tanoh Marius⁴, and Gooré Bi Gnamien Willy Taunini⁴

¹Département des Sciences et Techniques, Université Alassane Ouattara, BPV 18 Bouaké 01, Côte d'Ivoire

²Département de Biologie Animale, Université Péléforo Gon Coulibaly, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

³Département des Sciences et Technologie, Section Science de la Vie et de la Terre, Ecole Normale Supérieure, 08 BP 10 Abidjan, Côte d'Ivoire

⁴UPR d'Hydrobiologie et d'Ecotechnologie des Eaux, Laboratoire des Milieux Naturels et Conservation de la Biodiversité, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët Boigny, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: The aim of this study was to examine some biological aspects of *Epiplatys chaperi sheljuzhkoii*, in a habitat under the influence of urban wastewater in order to gather scientific information needed for better management and conservation of this resource. Four data collection campaigns, one per season, were carried out from January 2016 to December 2016. The standard length and mass of each specimen were taken. The length-mass relationship and the condition factor were analysed. The one-factor Student's t test was used to check the significance of the difference between the theoretical and observed values of the allometry coefficient b . An analysis of the condition factor was performed. The size structure shows that individuals between 15 mm and 20 mm in standard length dominate the *E. chaperi sheljuzhkoii* population. The value of the allometric coefficient b (2.91) is lower than the theoretical value 3 (Student's t-test, $p < 0.05$). This indicates a negative allometric growth of *E. chaperi sheljuzhkoii*. The long dry season recorded the lowest average condition factor (K_c) ($1.56 \pm 0.61\%$). The highest value was recorded during the long rainy season ($2.38 \pm 0.27\%$). The allometry coefficient shows that *Epiplatys chaperi sheljuzhkoii* develops more than in the river. These data form a necessary basis for the proper management and conservation of this aquatic ecosystem.

KEYWORDS: allometry, overweight, conservation, Banco river, Côte d'Ivoire.

RESUME: Cette étude vise à examiner quelques aspects biologiques de *Epiplatys chaperi sheljuzhkoii* dans un habitat sous l'influence des eaux usées d'origine urbaine afin de recueillir des informations scientifiques nécessaires à une meilleure gestion et conservation de cette ressource. Quatre campagnes de collecte de données en raison d'une campagne par saison ont été effectuées de janvier 2016 à décembre 2016. La longueur standard et la masse de chaque spécimen ont été prises. Ainsi, la relation longueur-masse et le facteur de condition ont été analysés. Le test de Student à un facteur a été utilisé pour vérifier la significativité de la différence entre les valeurs théorique et observée du coefficient d'allométrie b . Une analyse du facteur de condition a été effectuée. La structure en taille montre que les individus de taille comprise entre 15 mm et 20 mm de longueur standard dominent la population de *E. chaperi sheljuzhkoii*. La valeur du coefficient d'allométrie b (2.91) est inférieure à la valeur théorique 3 (test-t de Student, $p < 0.05$). Cela indique une croissance allométrique négative de *E. chaperi sheljuzhkoii*.

La grande saison sèche enregistre le facteur de condition (Kc) moyen le plus bas (1.56 ± 0.61 %). La valeur la plus élevée a été enregistrée au cours de la grande saison des pluies (2.38 ± 0.27 %). Le coefficient d'allométrie montre que *Epiplatys chaperi sheljuzhkoï* grandit plus qu'il ne grossit dans la rivière. Ces données constituent une base nécessaire pour une gestion et une conservation de cet écosystème aquatique.

MOTS-CLEFS: allométrie, embonpoint, conservation, rivière Banco, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

L'espèce *Epiplatys chaperi sheljuzhkoï* (Figure 1) appartient à la famille des Nothobranchiidae. Elle est inscrite sur la liste rouge des espèces menacées de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (l'UICN) [1]. Cette espèce représente une source de revenus non négligeable pour les aquariophiles [2]. *Epiplatys chaperi sheljuzhkoï* fréquente les marais, les ruisseaux et les petites rivières des plaines côtières, préfère les zones sous le couvert de la forêt tropicale humide. Elle colonise le cours inférieur du Sassandra au sud-ouest de la Côte d'Ivoire jusqu'à la Tano au sud-ouest du Ghana. Ainsi, l'espèce *Epiplatys chaperi sheljuzhkoï* est présente dans la rivière Banco (Côte d'Ivoire) incluse dans le Parc National du Banco (PNB).

Le Parc National du Banco (PNB) est une aire protégée au cœur de la ville d'Abidjan, la capitale politique ivoirienne. Malgré sa localisation dans cette aire protégée, la rivière Banco reçoit des déchets provenant des quartiers environnants menaçant les espèces qu'elle abrite. La rivière présente des signes de contamination dans son cours moyen et inférieur par des déchets solides, liquides et des eaux usées provenant des communes environnantes (Figure 2). Ces eaux usées déversées sont hautement préjudiciables aux poissons. Face à cette pression qui s'accroît sur ce refuge, il devient très urgent d'acquiescer des données scientifiques pour la conservation de *Epiplatys chaperi sheljuzhkoï* qui fait partie des espèces de poisson menacées.

La conservation de celle-ci passe impérieusement par une connaissance approfondie des paramètres biologiques tels que les relations longueurs-masses et les facteurs de condition pour un meilleur usage de leur potentialité dans le domaine de l'environnement. L'estimation de la croissance à partir de la longueur peut aussi se formuler en fonction de la masse pour son utilisation dans l'évaluation des rendements. Selon certains auteurs ([3], [4], [5]) il existe une relation étroite entre ces deux variables.



Fig. 1. Spécimen de *Epiplatys chaperi sheljuzhkoï* capturé dans la rivière Banco



Fig. 2. Vue des déchets domestiques dans la rivière Banco en provenance des communes environnantes

La relation longueur-masse est un outil important en biologie, physiologie, écologie et évaluation des stocks pour la gestion et la conservation des populations naturelles de poissons [6], [7], [8], [9]. Quant au facteur de condition, il fournit des informations sur l'état physiologique et l'embonpoint des poissons [10]. Fortement influencé par les paramètres de l'environnement, le facteur de condition peut être utilisé comme un indice pour évaluer le niveau de perturbation d'un écosystème aquatique [11]. En dépit de toutes les études menées dans la rivière Banco, aucune donnée sur la relation longueur-masse et le facteur de condition de cette espèce de la rivière Banco n'est disponible. Cette étude vise donc à établir la relation longueur-masse et le facteur de condition de *Epiplatys chaperi sheljuzhkoï* au sein de rivière Banco; ce qui contribuerait à renforcer la préservation de cette espèce aquariophile.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MILIEU D'ÉTUDE

Cette étude a été menée dans la rivière Banco située dans le parc national du Banco (Figure 3). Elle est localisée entre 5°21' et 5°25' latitude Nord et entre 4°01' et 4°05' longitude Ouest [12] dans la ville d'Abidjan au Sud-Est de la Côte d'Ivoire. Elle prend sa source à la lisière Nord du parc et se jette dans la lagune Ébrié à la sortie au Sud de la forêt. Pour réaliser cette étude, quatre stations (B1, B2, B3 et B4) ont été définies le long de la rivière Banco d'amont en aval. Le choix des différentes stations s'est fait sur la base de certains critères tels que l'accessibilité à toutes périodes de l'année, la distance de 500 mètres entre les stations, l'absence de déchets polluants et la présence présumée du matériel biologique recherché.

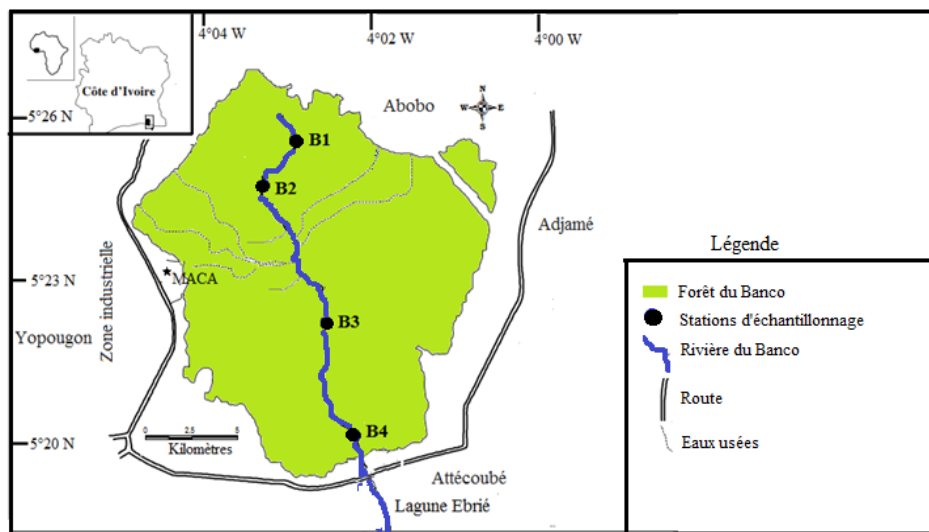


Fig. 3. Situation géographique de la rivière Banco et les différentes stations d'échantillonnage

(Source: Map info, 2011 modifié)

2.2 ECHANTILLONNAGE ET COLLECTE DES DONNÉES

Des échantillonnages saisonniers des spécimens ont été effectués à l'aide d'épuisettes. Pour ce faire, quatre campagnes de collecte de données en raison d'une campagne par saison ont été organisées de janvier 2016 à décembre 2016. En effet, des prospections ont été effectuées au cours de la grande saison sèche, la grande saison des pluies, la petite saison sèche et la petite saison des pluies, en vue de capturer le matériel biologique. Après cela, les poissons ont été identifiés selon [13]. Au laboratoire, la longueur standard et la masse des poissons ont été prises respectivement au moyen d'un ichtyomètre et d'une balance électronique de marque SARTORIUS.

2.3 ANALYSES DES DONNÉES

2.3.1 DÉTERMINATION DE LA STRUCTURE EN TAILLE DE LA POPULATION

Dans ce travail, la règle de Sturge [14] a été utilisée pour établir les différentes classes de taille.

$$\text{Nombre de classes (NC)} = 1 + (3,3 \times \log n)$$

n = nombre total de spécimens examinés.

$$\text{L'intervalle des classes (I)} = \frac{LS \text{ max} - LS \text{ min}}{NC}$$

x = longueur standard maximale des poissons examinés;

LS min = longueur standard minimale des poissons examinés.

2.3.2 DÉTERMINATION DE LA RELATION LONGUEUR-MASSE

La relation longueur-masse permet de vérifier la croissance de la population de poissons. Cette relation est considérée comme des modèles de croissance allométrique [15]. Pour l'espèce étudiée, on définit la relation longueur-poids dont les variations permettent de préciser le type d'allométrie, qui est le changement dans les proportions du corps d'un animal au cours de sa croissance. La corrélation longueur-masse s'établit selon la formule de [16]:

$$m = aL^b$$

Avec :

m = masse du poisson en g;

L = longueur standard du poisson en mm;

a = constante

b = coefficient d'allométrie.

Les paramètres a et b ont été estimés après la transformation de la fonction linéaire précédente en une fonction logarithmique de formule:

$$\text{Log}_{10} m = \text{log}_{10} a + b \text{log}_{10} L$$

Si les variables mesurées sont de même nature, la valeur théorique b_0 du coefficient d'allométrie est égale à 1 et si elles sont de natures différentes, la valeur théorique b_0 du coefficient d'allométrie est égale à 3. Afin de déterminer le type d'allométrie, le coefficient d'allométrie b observé est comparé à la valeur théorique b_0 . La comparaison du coefficient d'allométrie b à la valeur théorique b_0 a été faite en appliquant le test de conformité du coefficient d'allométrie en posant l'hypothèse nulle $H_0: b = b_0$. La confirmation de l'allométrie est obtenue par le test-t de Student. La valeur observée (t_{obs}) du test de Student est donnée par la relation suivante [16]:

$$t_{obs} = \frac{|b - b_0|}{ES}$$

b étant le coefficient d'allométrie observé, b_0 le coefficient d'allométrie théorique et ES l'erreur standard.

ES est donnée par la relation ci-après:

$$ES = \sqrt{\frac{\frac{\text{VAR}(Y)}{\text{VAR}(X)}(1 - R^2)}{n - 2}}$$

VAR (Y) est la variance de Y, VAR (X) est la variance de X, R^2 est le coefficient de détermination, n-2 le degré de liberté (ddl) et n le nombre de spécimens examinés.

La valeur observée (t_{obs}) est comparée à la valeur théorique ($t_{théo}$) donnée par la table de Student. L'hypothèse nulle H_0 est acceptée lorsque $t_{obs} \leq t_{théo}$. Dans ce cas, l'allométrie est dite isométrique. Cela indique que la croissance des deux paramètres étudiés est identique. L'hypothèse nulle H_0 est rejetée lorsque $t_{obs} > t_{théo}$. Ici, b diffère statistiquement de la valeur b_0 . Deux situations se présentent donc:

- Si $b < b_0$, l'allométrie est négative ou minorante, le poisson grandit plus vite qu'il ne grossit.
- Si $b > b_0$, l'allométrie est positive ou majorante, le poisson grossit plus vite qu'il ne grandit.

Dans cette étude, les équations allométriques ont été utilisées pour déterminer la corrélation entre la longueur standard et le poids des poissons. La valeur de b donne des informations sur le type de croissance des poissons. Lorsque $b = 3$, la croissance est isométrique et quand $b \neq 3$, la croissance est allométrique. Si $b < 3$, l'allométrie est négative ou minorante, le poisson grandit plus vite qu'il ne grossit. Si $b > 3$, l'allométrie est positive ou majorante, le poisson grossit plus vite qu'il ne grandit [17].

2.3.3 DÉTERMINATION DU FACTEUR DE CONDITION

Le facteur de condition (K_c) est une expression du rapport longueur-masse qui donne une idée de l'embonpoint d'une espèce considérée [17], [18] de sorte que les valeurs élevées de K_c soient synonymes de l'état de maturité ou d'une bonne alimentation. Par contre, les valeurs faibles de K_c traduisent l'immaturité ou la mauvaise alimentation du poisson [19], [20]. La formule utilisée pour le calcul du facteur de condition dans la présente étude est celle de [18]:

$$K_c = \frac{MT}{LS^3} \times 10^5$$

MT et LS étant respectivement la masse totale et la longueur standard du poisson. Lors cette étude, le facteur de condition calculé pour comparer l'état physiologique de la population de cette espèce s'est faite en fonction des saisons.

3 RÉSULTATS

3.1 STRUCTURE EN TAILLE DE LA POPULATION

La structure en taille des poissons a montré que la longueur standard (LS) de *E. chaperi sheljuzhkoï* varie de 13 mm à 55 mm. La taille moyenne de *E. chaperi sheljuzhkoï* observée est $26,4 \pm 8$ mm. L'histogramme des classes de taille a révélé 9 classes de taille chez cette espèce. La distribution des fréquences de taille est unimodale avec 15-20 mm comme classe modale (Figure 4).

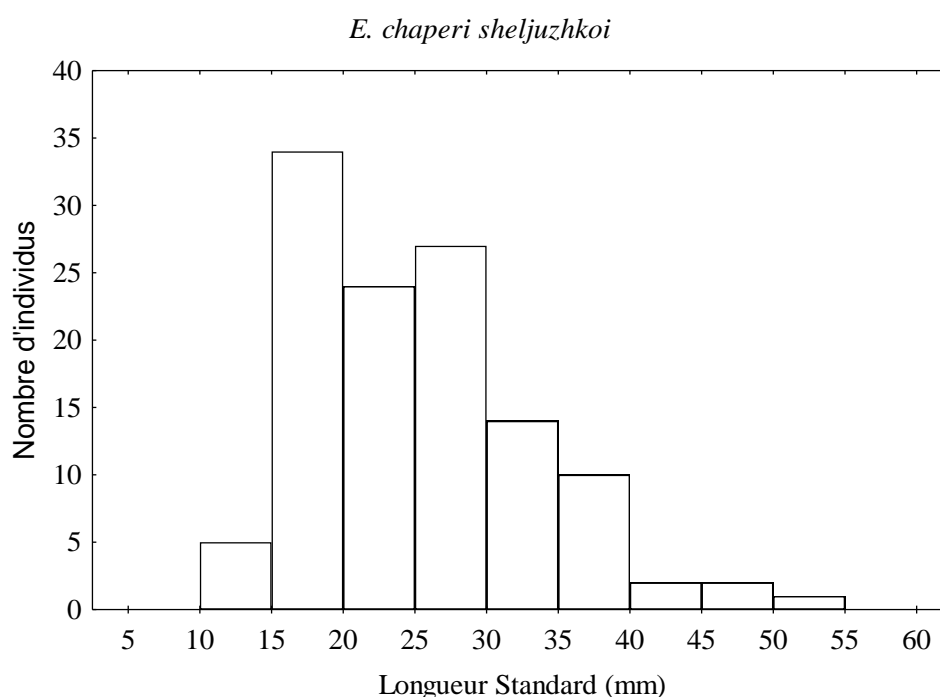


Fig. 4. Distribution des classes de taille dans la population de *Epiplatys chaperi sheljuzhkoï* capturée dans la rivière Banco de janvier 2016 à décembre 2016

3.2 RELATION LONGUEUR-MASSE

Les assemblages des *E. chaperi sheljuzhkoï* ont montré que les longueurs standards (LS) varient de 13 mm à 55 mm pour des masses allant de 0,04 à 3,67g. La figure 5 traduisant la relation longueur standard-masse chez *E. chaperi sheljuzhkoï* est décrite par la fonction mathématique suivante: $\text{Log (MT)} = - 4,6 + 2,91 * \text{Log (LS)}$. La valeur du coefficient d'allométrie b (2,91) est inférieure à la valeur théorique 3 (test- t de Student, $p < 0,05$). Cela indique une croissance allométrique négative de *E. chaperi sheljuzhkoï*.

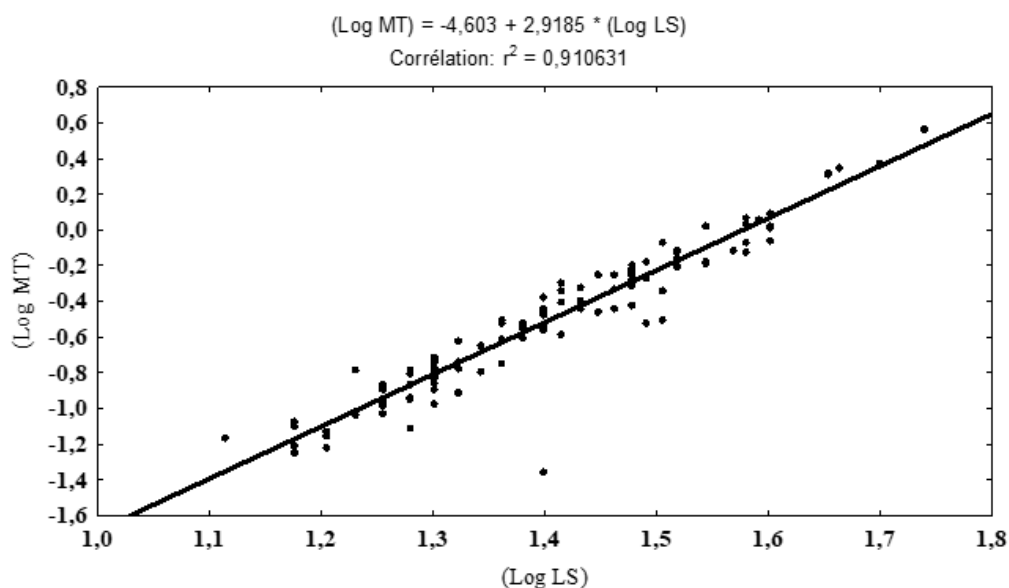


Fig. 5. Relation entre la longueur standard (LS) et la masse (MT) chez *Epiplatys chaperi sheljuzhkoii* capturé dans la rivière Banco de janvier 2016 à décembre 2016

3.3 FACTEUR DE CONDITION

L'analyse du facteur de condition chez *Epiplatys chaperi sheljuzhkoii* fait remarquer deux faits importants. La première observation est que le facteur de condition moyen est supérieur à 1 quelle que soit la saison. Deuxièmement, le facteur de condition est plus élevé en saison pluvieuse qu'en saison sèche. Ainsi, la grande saison sèche enregistre le facteur de condition (Kc) moyen le plus bas ($1,56 \pm 0,61\%$). La valeur la plus élevée a été enregistrée au cours de la grande saison des pluies ($2,38 \pm 0,27\%$). Le facteur de condition décroît donc de la grande saison des pluies à la petite saison sèche (figure 6).

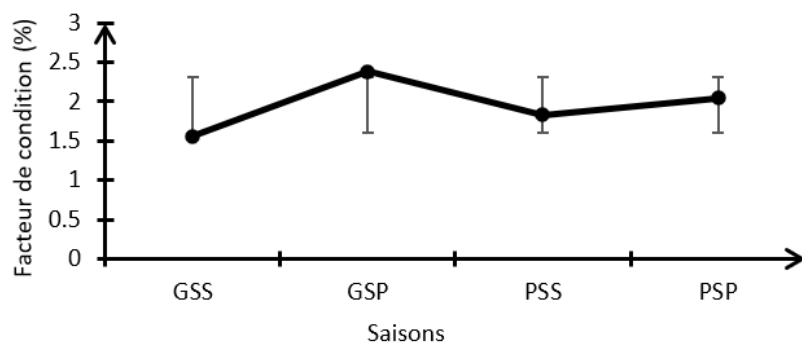


Fig. 6. Variation saisonnière du facteur de condition (Kc) des femelles de *Epiplatys chaperi sheljuzhkoii* capturées dans la rivière Banco

GSS = grande saison sèche; GSP = grande saison des pluies; PSS = petite saison sèche; PSP = petite saison des pluies

4 DISCUSSION

Cette étude s'intéresse pour la première aux paramètres biologiques de *Epiplatys chaperi sheljuzhkoii*, à travers l'étude de la relation longueur-masse et le facteur de condition de cette espèce. La connaissance de ces paramètres de croissance occupe une place très importante dans la mise en place de tout système de gestion et de conservation des ressources halieutiques.

L'examen de la structure en taille montre que *Epiplatys chaperi sheljuzhkoï* est une espèce naturellement de petite taille. Les espèces de petite taille jouent un rôle capital dans les écosystèmes aquatiques. Elles constituent un maillon important de la chaîne alimentaire et servent de nourriture pour de nombreuses espèces de poisson et d'oiseaux aquatiques. Dans la littérature, la longueur totale maximale observée chez le mâle de *Epiplatys chaperi sheljuzhkoï* est de 75 mm et de 70 mm chez la femelle dans les zones sous le couvert de la forêt tropicale humide, dans le cours inférieur du Sassandra au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire jusqu'au fleuve Tano au Sud-Ouest du Ghana [13]. Ces tailles maximales sont relativement supérieures à celle (55 mm) enregistrée dans la rivière Banco. Plusieurs facteurs expliquent les différences de taille fonction des milieux. Il s'agit notamment de la disponibilité des ressources alimentaires, les pressions anthropiques, les facteurs climatiques et le type d'habitat [21]. Selon ces auteurs la différence de croissance des poissons d'un milieu à l'autre est aussi due à la différence de densité de la population. La taille plus petite de *E. chaperi sheljuzhkoï* dans la rivière Banco peut être imputable aux activités anthropiques. En effet, bien que le Parc National de Banco soit un milieu protégé, la rivière Banco reçoit d'importante quantité d'eaux usées et de déchets à travers les eaux de ruissellement et les canalisations.

La valeur du coefficient d'allométrie obtenue dans le présent travail suggère que *E. chaperi sheljuzhkoï* grandit plus qu'il ne grossit dans la rivière Banco. Une meilleure croissance se traduit par une croissance isométrique du poisson dans son habitat. Pour ces auteurs ([22], [23]), la relation longueur-masse est influencée par divers facteurs notamment les conditions abiotiques du milieu, l'alimentation, la reproduction etc. La morphologie des poissons est souvent influencée par le régime alimentaire et leur mode de prédation. La forme allongée des Nothobranchiidae comme *Epiplatys chaperi sheljuzhkoï* favoriserait la rapidité et la facilité dans ses mouvements pour la capture de ses proies en surface. En effet cette espèce insectivore se nourrissant principalement de Formicidae [24] est un nageur de surface. Elle capture ces insectes terrestres tombés à l'eau sous l'action du vent ou/et de la pluie sur la canopée. Ce mode de nutrition pourrait faciliter la croissance plus marquée en longueur qu'en masse. Cette forme allongée serait également plus adaptée à la nage dans leur habitat aquatique peu profond. Selon [13], cette espèce fréquente les marais, ruisseaux et petites rivières des plaines côtières. Elle préfère les zones sous le couvert de la forêt tropicale humide. Un autre facteur à considérer est la qualité de l'eau, avec la présence de polluants, qui peut également influencer la morphologie des poissons, car ces conditions défavorables peuvent limiter la croissance en largeur [25]. Les signes d'eutrophisation dans le cours moyen et inférieur de la rivière Banco témoignent bien des conditions défavorables dans ce milieu. La disposition génétique propre de l'espèce ne peut non plus être écartée pour expliquer cette croissance allométrique négative ou minorante de *E. chaperi sheljuzhkoï*.

Le facteur de condition (Kc) donne une idée de l'embonpoint de l'espèce [26]. Ce facteur n'est pas constant pour un spécimen, une espèce ou une population donnée [18], [26]. Dans cette étude, la valeur élevée du facteur de condition de *E. chaperi sheljuzhkoï* pendant la grande saison des pluies traduit une masse importante des individus à cette période. Selon [7] la disponibilité des ressources alimentaires en saison pluvieuse explique aussi l'embonpoint des poissons pendant cette période. En effet, la saison des pluies augmente la disponibilité des ressources alimentaires dans les rivières. Les Formicidae qui représentent les proies principales de cette espèce, se retrouvent dans le cours d'eau sous l'action du vent ou de la pluie [24]. Cet embonpoint peut traduire aussi l'état de maturité qui coïncide généralement en milieu tropical avec la saison pluvieuse [27], [28].

5 CONCLUSION

Cette étude donne les premières informations concernant la relation longueur- masse et le facteur de condition de *Epiplatys chaperi sheljuzhkoï* dans la rivière Banco. Elle fournit principalement une base de données importante aux chercheurs pour la préservation de cette espèce aquariophile dite menacée. Le coefficient d'allométrie obtenu pour la population de *Epiplatys chaperi sheljuzhkoï* montre que cette espèce de poisson grandit plus qu'elle ne grossit dans la rivière Banco. Pour ce qui est du facteur de condition, la valeur élevée traduit un embonpoint des individus.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'université Félix Houphouët Boigny, Côte d'Ivoire à travers le Laboratoire des Milieux Naturels et Conservation de la Biodiversité Le Département des Sciences et Techniques de Université Alassane Ouattara, Bouaké, Côte d'Ivoire et l'OIPR (Office Ivoirien des Parcs et Réserves) pour leur aide dans la réalisation de ce travail.

REFERENCES

- [1] Entsua-Mensah M, Lalèyè P, *Nimbapanchax petersi*. The IUCN Red List of Threatened Species, 2010 [Online] Available on: www.iucnredlist.org. Downloaded on 18 July 2015. version 2015.2.
- [2] M. Hignette, «L'aquariophilie et le commerce des poissons d'ornement,» *Bulletin Société Zoologique de France*, 129 (1-2), pp. 67-74, 2003.
- [3] Baijot, E., Barry, I., & Ratjs, F., *Peuplements piscicoles des retenues du Burkina Faso*, In: E. Baijot, J. Moreau, & J. S. Bouda (éds.), *Aspects Hydrobiologiques et Piscicoles des Retenues d'Eau en Zones Soudano-sahélienne*, Bruxelles, pp. 65-85, 1994c.
- [4] Pauly, D., & Moreau, J., *Méthodes pour l'évaluation des Ressources Halieutiques, Cépaduès*. Toulouse, 277 p, 1997.
- [5] Lévêque, C., *Croissance et ontogénie*, In: C. Lévêque, & D. Paugy (éds.), *Les Poissons des Eaux Continentales Africaines: Diversité, Ecologie, Utilisation par Homme*, Paris (France), pp.153-166, 1999.
- [6] J. M. Écoutin, & J. J. Albaret, «Relation longueur-poids pour 52 espèces de poissons des estuaires et lagunes de l'Afrique de l'Ouest,» *Cybium*, 27 (1), pp. 3-9, 2003.
- [7] M. Y. Hossain, Z. F. Ahmed, P. M. Leunda, S. Jasmine, J. Oscoz, R. Miranda, and J. Ohtomi, «Condition, length-weight and length-length relationships of the Asian striped catfish *Mystus vittatus* (Bloch, 1794) (Siluriformes: Bagridae) in the Mathabhanga River, Southwestern Bangladesh,» *Journal of Applied Ichthyology*, 22, pp. 304- 30, 2006.
- [8] M. Y. Hossain, R. Md. Mosaddequr, B. Fulanda, M. A. S. Jewel, F. Ahamed, & J. Ohtomi, «Length-weight and length-length relationships of five threatened fish 196 species from the Jamuna (Brahmaputra River tributary) River, northern Bangladesh,» *Journal of Applied Ichthyology*, 28, pp. 275-277, 2012.
- [9] L. Bolognini, F. Domenichetti, F. Grati, P. Polidori, G. Scarcella, and G. Fabi, «Weight-Length Relationships for 20 Fish Species in the Adriatic Sea,» *Furkish journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 13, pp.555-560, 2013.
- [10] Paugy, D., and Lévêque, C., *Impacts of human activities*, In: D. Paugy, C. Lévêque, and O. Otero (eds.), *The Inland water fishes of Africa: Diversity, Ecology and Human use*, Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Royal Muséum for Central Africa (RMCA), pp. 459-478, 2017.
- [11] F. Baby, J. Tharian, K.M. Abraham, M. R. Ramprasanth, A. Ali, A. & Ranghavan, R, «Length-weight relationship and condition factor of an endemic stone sucker, *Garra gotyla stenorhynchus* (Jerdon, 1849) from two opposite flowing rivers in Southern Western Ghats,» *Journal of threatened taxa* 3 (6), pp.1851-1855, 2011.
- [12] J. De Koning, «La forêt du Banco,» Thèse de Doctorat, Université Agronomique de Wageningen, Hollande, 150 p, 1983.
- [13] Paugy, D., Lévêque, C., & Teugels, G. G., *Faune des Poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest*, volume 2, Collection faune tropicale 40. Édition IRD. France, 815 p, 2003b.
- [14] Scherrer, B., *Présentation des donnée*, In: G. Morin (éds.), *Biostatistique*, Louiseville (Canada), pp. 103- 126, 1984.
- [15] M. L. D. Palomares, M. Entsua-Mensah, and A. Osei-Abunyewa A, «Length-weight relationships of fishes from tributaries of the Volta River, Ghana»: part 2 and conclusion, *NAGA, ICLARM Quat*, 19 (1), pp. 45-47, 1966.
- [16] Ricker, W. E., *Computation and interpretation of biological statistics of fish populations*. Ottawa (Canada), 366 p, 1975.
- [17] Lévêque, C., *Croissance et ontogénie*, In: C. Lévêque, & D. Paugy (éds.), *Les poissons des eaux continentales africaines: Diversité, écologie, utilisations par l'homme*. Édition IRD, Paris (France), pp. 177-190, 2006.
- [18] Kartas, F. & Quignard, J. P., *La fécondité des poissons téléostéens*, Collection biologie des milieux marins 5. Édition Masson. Paris, 117 p, 1984.
- [19] O. Odum, & U. Oradiwe, «Some aspects of the biology of *Macrobrachium macrobrachion* (Herklots, 1851) in the Ethiopia River, Nigeria (*Crustacea decapoda*, Palaemonidae), » *Journal of African Zoology*, 110, pp. 53-60, 1996.
- [20] G. Gooré Bi, «Contribution à l'étude des crevettes d'eau douce de Côte d'Ivoire systématique, biologie et analyse socio-économique de la pêche de *Macrobrachium vollenhovenii* (Herklots, 1857) et *M. macrobrachion* (Herklots, 1851) (*Crustacea decapoda*, Palaemonidae) du bassin de la Bia,» Thèse de Doctorat 3ème cycle, Université d'Abidjan-Cocody (Côte d'Ivoire), 145 p, 1998.
- [21] De Merona, B., Hecht, T., & Moreau, J., *Croissance des poissons d'eau douce africains*, In: C. Lévêque, M. N. Bruton, & G. W. Sentongo (éds.), *Biologie et écologie des poissons d'eau douce africains*. Édition ORSTOM, Paris (France), pp. 191-219, 1988.
- [22] N. Mouneiné, «Remarques sur la relation longueur/poids et le facteur de condition chez les Poissons,» *Cybium*, 5 (4), pp. 77-85, 1981.
- [23] R. Froese, «Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations,» *Journal of Applied Ichthyology*, 22, pp. 241-253, 2006.
- [24] A. D. K Ouanko, Y. A. Konan, T. M. Kamelan, G. Gooré Bi, and Z. M. Gogbé, «Food items and feeding habits of two Nothobranchiidae, *Epiplatys chaperi Sheljuzhko* (Poll, 1953) and *Nimbapanchax petersi* (Sauvage, 1882) in Banco river, Côte d'Ivoire. *Tropical Freshwater Biology*, 29 (2), pp. 69-85, 2020.

- [25] Imorou, T. I., Yabi, J.A., Assogba, M. N., Adam, S. M., & Elègbè, H. A., Evaluation des potentialités piscicoles et socioéconomiques des retenus d'eau pastorales dans la commune de Banikoara (Nord-est du Bénin). *Annales de l'Université de Parakou, Série: Sciences Naturelles - Agronomie*: pp, 92-119, 2011.
- [26] T. Koné, « Régime alimentaire et reproduction d'un tilapia lagunaire (*Sarotherodon melanotheron Rüppell*, 1852) dans la rivière Bia et le lac de barrage d'Ayamé (Côte d'Ivoire),» Thèse de Doctorat, Katholieke Universiteit, Belgique, 253 p, 2000.
- [27] J. A. Oso, E.O. Idowu, O. Fagbuaro, T. S. Olaniran, and B. E. Ayorinde, «Fecundity, condition factor and gonado-somatic index of *Hepsetus odoe* (African Pike) in tropical réservoir, Southwest Nigeria,» *World Journal of Fish and Marine Sciences*, 3 (2), pp. 112-116, 2011.
- [28] G. U. Ikpi, A. Jenyo-Oni, & B. O. Offem, « Effect of season on catch rate, diet and aspects of reproduction of *Clarias gariepinus* (Teleostei: Clariidae) in a tropica waterfalls», *Advanced Life Sciences*, 2 (3), pp. 68-74, 2012.

Assessing the invasive potential of *Azadirachta indica* and its effects on biodiversity in Delta of Saloum National Park, Senegal (West Africa)

Fatimata Niang, Mariama Diop, Fatou Anta Fall, Mariama Cissé, Fatoumata Diop, Hadji Abou Diallo, and Abdoulaye Samb

Environmental Sciences Institute, University of Cheikh Anta Diop of Dakar, PO 5005, Dakar, Senegal

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

ABSTRACT: Forests represent a vital component of ecosystem services, offering significant benefits. However, these vital habitats are particularly vulnerable to the negative impacts of invasive species. In West Africa, *Azadirachta indica* has been introduced for timber production, the provision of shade, land restoration, etc. This species exhibits traits such as rapid growth, high seed production, etc., which may facilitate its establishment as an invasive species. The objective of this study is to evaluate the potential invasiveness of *A. indica* in the Delta du Saloum National Park, focusing on its abundance, temporal spread, and impact on woody species diversity. The data were collected through floristic inventories conducted in 2012, 2019 and 2022. The results indicated a consistent increase in the sites location, number and density of *Azadirachta indica* over the studied decades. This species demonstrates considerable capacity for natural regeneration, as evidenced by the predominance of young and diminutive individuals. The progressive dynamics of the species observed between 2012 and 2022 remain similar to those predicted for the next 10 years, providing information on future proportions with clear implications for woody flora. The presence of the species has been found to be associated with a decline in richness and diversity, as well as a change in the floristic composition of the forest. The findings of this study offer a management and control instrument that is timely, as it is being developed at a critical juncture when the proliferation of invasive species with severe ramifications typically occurs in an unanticipated manner.

KEYWORDS: Neem, invasive species, protected area, ecosystem dynamic, tree population.

1 BACKGROUND

Biological invasions are widely recognized as a major driver of forest ecosystem degradation and biodiversity loss worldwide [1]. Forest ecosystems play a crucial role in maintaining biodiversity, regulating climate, and supporting livelihoods [2]. However, these ecosystems are particularly vulnerable to potential invasive species due to their high levels of biological diversity [3], ongoing habitat fragmentation, and increasing anthropogenic pressures [4], [5]. Potential invasive species are non-native organisms that possess ecological traits such as rapid growth, high reproductive output, phenotypic plasticity, and efficient dispersal that enhance their ability to establish, spread, and negatively affect native forest communities [6].

In West Africa, among introduced tree species, *Azadirachta indica* A. Juss. commonly known as neem, has gained widespread importance for its socio-economic value but is increasingly suspected of exhibiting invasive behavior in certain forest and savanna-forest transition zones. Native to India, *Azadirachta indica* was extensively introduced across West Africa for shade provision, fuelwood, timber, medicinal uses, and land restoration purposes [7], [4]. Its ecological traits including high seed production, rapid juvenile growth, tolerance to drought and poor soils [8] and effective dispersal mechanisms confer a strong capacity for establishment and persistence [9], [10].

The invasive potential of multipurpose introduced tree species such as *Azadirachta indica* is often underestimated because of their socio-economic benefits. This utilitarian perception may delay ecological risk assessment, particularly in protected areas where introductions initially aim at restoration or shade provision. However, species valued for ecosystem services can simultaneously exert strong competitive pressure on native flora once established beyond managed contexts, leading to unintended ecological consequences [10], [4].

The presence of *Azadirachta indica* in natural forest ecosystems raises concerns regarding its potential impacts on native tree diversity and forest dynamics [11]. *Azadirachta indica* stands out for its remarkable physiological and morphological characteristics, which enable it to withstand and regenerate even in difficult conditions and after numerous cuttings [12]. Its rapid expansion capacity can lead

Azadirachta indica to become invasive in its environment that leads to competition between the species and local species. According to [13], the abundance of *Azadirachta indica* is synonymous with lower floristic richness and natural regeneration potential in woody plant communities. Studies have revealed that the introduction of *A. indica* has already led to the degradation of ancient *Faidherbia albida* parks and risks disrupting the ecological balance of ecosystems in the long term [14].

Such impacts are particularly pronounced in disturbed forests, where canopy openings facilitate the recruitment and spread of non-native species [15]. In Senegal, previous studies have reported the presence of *Azadirachta indica* in the local woody flora [9], [16] such as protected areas [17]. Fathala forest, an integral part of the Delta du Saloum National Park, is one of the protected areas in the Sudanese domain of Senegal, endowed with a rich woody flora that is, however, subject to threats from human disturbances [18], [19]. In the context of human disturbance, it is critical to assess the presence of species that may be considered potentially invasive, and their ecological implications, in order to ensure the sustainable management of protected areas, such as Fathala. Effective management in national parks requires an early detection of invasive species before they become established and cause significant ecological damage.

This study aims to assess the potential invasiveness of *Azadirachta indica* in the Fathala classified forest. We suppose that *Azadirachta indica* is (i) one of the most abundant plant species of Fathala Classified Forest, (ii) becoming more and more present over time and (iii) it significantly influences the diversity of woody species in the forest. The objectives of this research are to (i) determine the abundance of *Azadirachta indica* in the Fathala classified forest, (ii) analyze the dynamics over time of *Azadirachta indica* in this forest, and (iii) assess the effect of *Azadirachta indica* population on the floristic diversity of the forest.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 STUDY AREA

The Delta du Saloum National Park is located in central-western Senegal. It covers 500,000 hectares and is characterised by a wide variety of aquatic ecosystems [20]. It is also home to the Fathala Classified Forest, which is the main terrestrial part of this National Park, core of the Sine Saloum Biosphere Reserve (Figure 1). Classified in 1935, Fathala forest which covers 7,000 hectares is subject to a Sudanese climate with coastal influences. It is marked by two contrasting seasons: a dry season from November to June and a rainy season from July to October [21].

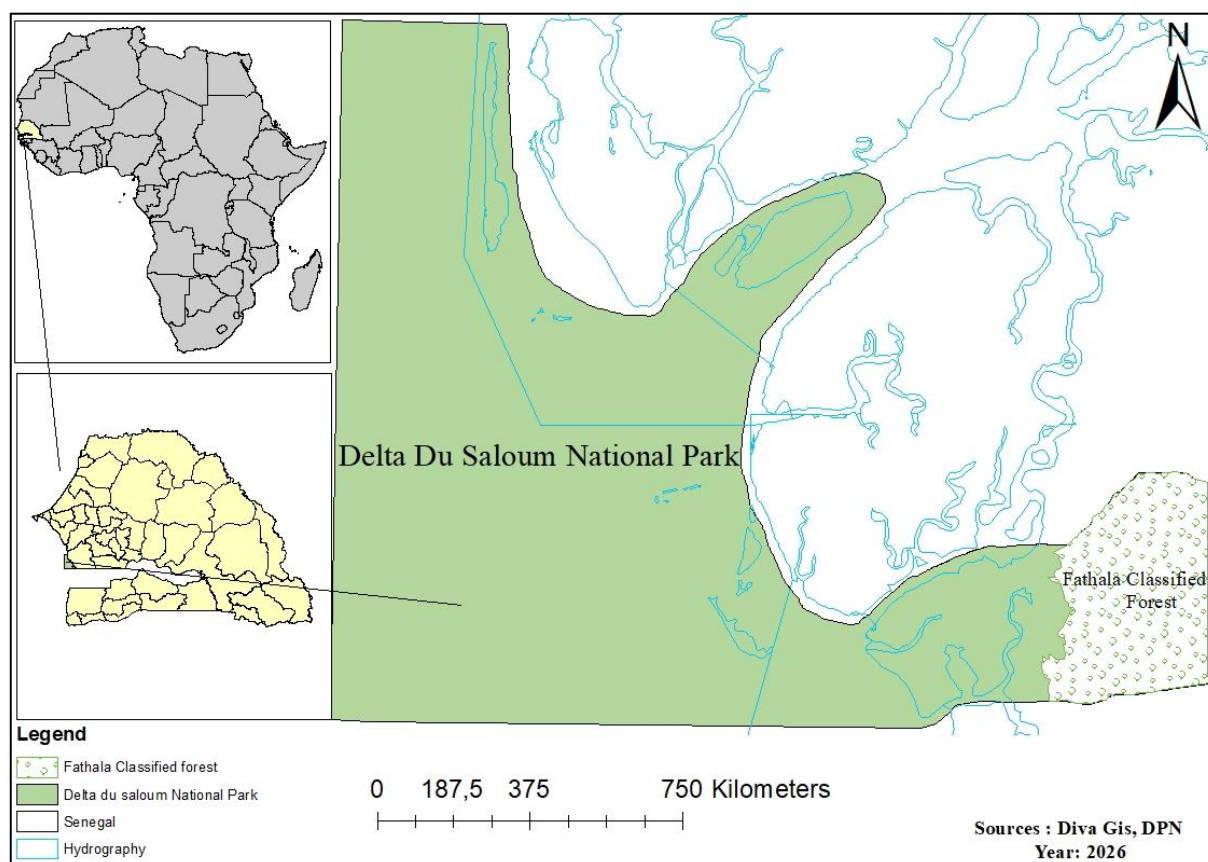


Fig. 1. Location map of the Fathala Classified Forest

2.2 ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF *AZADIRACHTA INDICA*

Azadirachta indica, which is more commonly known as *Neem* or *Margousier*, is a tree that is native to India [22]. *Neem* is a fast-growing, highly resilient tree with significant ecological and agricultural value, including natural pesticide production that modulates insect growth and appetite while exhibiting minimal toxicity towards beneficial organisms [23]). Its rapid growth, regeneration ability, and adaptability render it beneficial but also potentially invasive in certain regions. It is characterized by its rapid and extensive dispersal capacity, which enables it to dominate vast geographical areas [24]. The *neem* plant is distinguished by its evergreen nature, although it has been observed to undergo a process of leaf abscission during periods of drought. Its pinnate leaves measure 20–40 cm in length and are comprised of 20–30 serrated dark green leaflets. It is noteworthy that the young leaves exhibit a reddish to purplish hue [25]. The tree under consideration is capable of attaining a height of 15–20 m (in some cases, up to 40 m) with a crown diameter of up to 20 m. Its bark is characterized by deeply fissured, cream-colored, fragrant flowers that occur in axillary inflorescences comprising 150–250 flowers per 15–25 cm cluster [25]. *Neem* has been demonstrated to exhibit a high degree of regenerative capacity. The seeds of this plant are distinguished by their recalcitrant nature, which leads to a swift decline in viability. Fresh seeds have been found to have a germination rate of 70–95% [26], and the tree has been observed to regrow effectively after being cut due to its deep root system [27]. From an ecological perspective, *Neem* has been shown to exhibit significant resilience, with the capacity to adapt to a range of climatic and topographical conditions [28]. *Neem* is increasingly being regarded as invasive in certain regions, a consequence of its capacity for resilience and adaptability [24].

2.3 DATA COLLECTION

Floristic data were collected in 2012, 2019 and 2022 in the Fathala classified forest. Data collection is based on stratified random sampling [29], [30]. The forest area is divided into grids of 250 m x 250 m, based on a stratification using Landsat images [31]. Each stratum (vegetation type) is divided into grids of 250 m x 250 m and the number of grids was determined by the size of the strata. Grids exhibiting homogeneity in terms of vegetation type were selected randomly. Within each selected homogeneous grid, eight plots measuring 20 m x 20 m were installed randomly along the medians and diagonals of the grids. In each plot, all trees with a circumference of at least 9.5 centimeters at a height of 1.3 meters were encountered and their total height estimated. Trees with a circumference of less than 9.5 cm at a height of 1.30 meters above ground level are considered to be part of natural regeneration and have been enumerated. Identification of individuals was based on the flora of Senegal [32] and the book *Trees, shrubs and lianas of West Africa* [33].

2.4 DATA ANALYSIS

The analytical framework adopted in this study integrates descriptive, inferential and predictive approaches in order to capture both current patterns and future trajectories of invasion of *Azadirachta indica* and its effects on biodiversity. Such combined frameworks are increasingly recommended in invasion ecology, as they allow the identification of early warning signals while accounting for temporal inertia in population dynamics [1], [6], [34]. The frequency and density per year were calculated. Predictions were made using linear regression models, with 95% confidence intervals calculated. Thereafter, species richness and the Shannon index were calculated. Plots with and without *Azadirachta indica* were compared using non-parametric (Wilcoxon test). The results were then visualized using box plots, with p-values displayed to indicate the significance of the differences. Principal component analysis (PCA) was performed to explore the variation in floristic composition between plots with and without *Azadirachta indica*. PERMANOVA was applied to statistically test whether species composition differed significantly depending on the presence of the species. Simple and multiple linear regression models were used to predict changes in frequency, density, DBH and height over time. Confidence intervals (95%) were calculated for each prediction. The coordinates of the plots were then utilized to visualize *Azadirachta indica* spatial distribution over time through using mapping software (ArcGIS). All statistical analyses were performed using R Studio software.

3 RESULTS

3.1 STAND DENSITY AND STRUCTURE OF *AZADIRACHTA INDICA*

Figure 2 illustrates the evolution of the abundance and structure of *Azadirachta indica* between 2012 and 2022. The species exhibits continuous increase in both density and the number of individuals on an annual basis from 2012 to 2022 (Figures 2a and 2b). This trend is indicative of the species' gradual spatial expansion and an active regeneration as shown in Figures 2c and 2d. These two figures illustrate the distribution of DBH classes and that of the height of *Azadirachta indica* trees. This structure is characterized by a dominance of young trees, with a marked concentration of individuals in the small diameter classes (approximately 5 to 25 cm) and low height classes (5 to 10 m). Beyond this range, there is a rapid and drastic decrease in the size and height of the trees. These trends indicate a low representation of large-diameter and tall trees, becoming almost non-existent for diameters greater than 75 cm. This asymmetrical distribution indicates that *A. indica* stand possess significant natural regeneration potential.

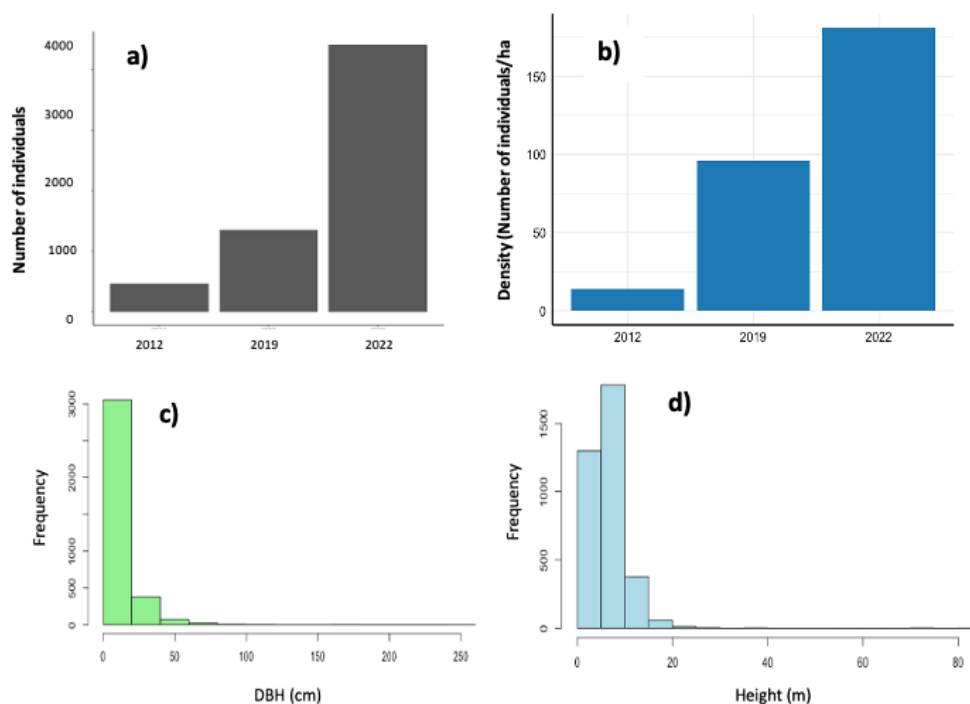


Fig. 2. *Azadirachta indica* stand density (a), total individuals numbers (b), DBH diameter classes (c) and height classes (d) from 2012 to 2022

3.2 RANGE EXPANSION OF AZADIRACHTA INDICA

Figure 3 illustrates the spatio-temporal dynamic of *A. indica* occurrence in Fathala forest from 2012 to 2022. The results indicate a continuous and accelerated increase in the species' presence over time suggesting a positive dynamic of occupancy and an expansion of its location sites in Fathala classified forest, main terrestrial part of Delta du Saloum National Park (Figure 3).

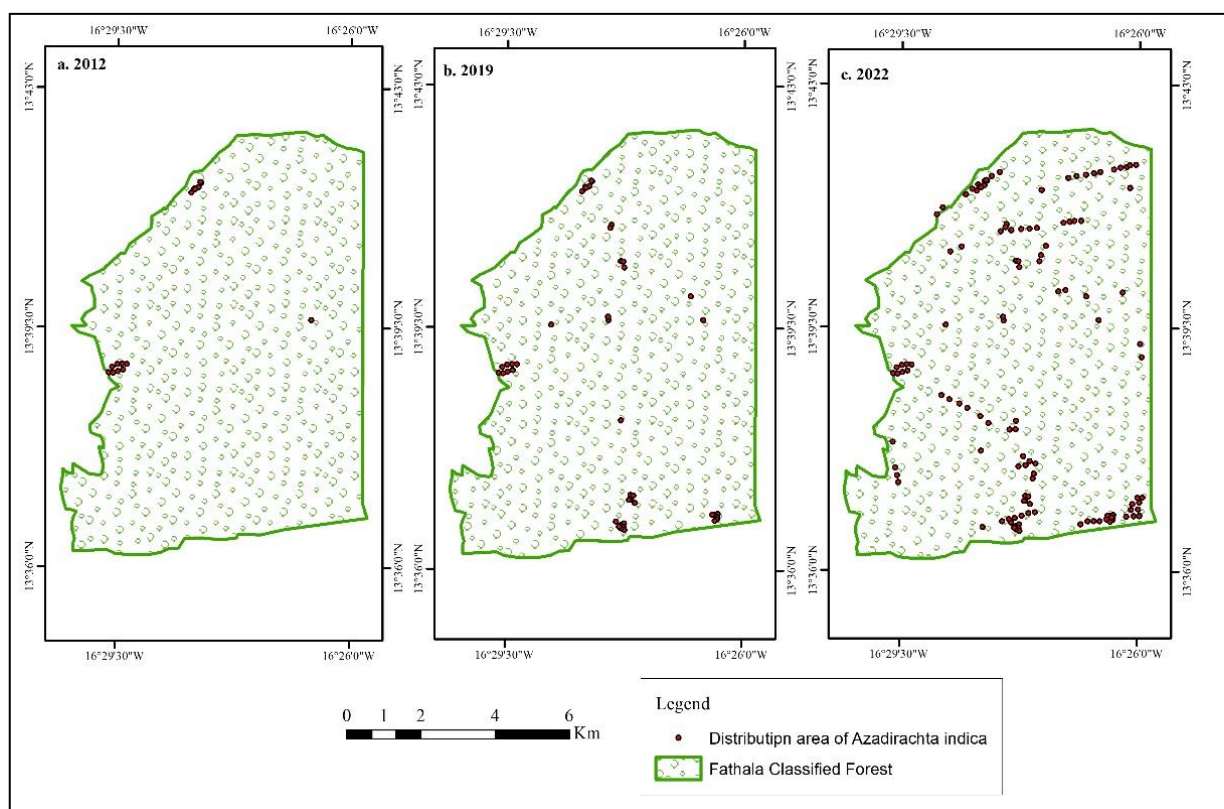


Fig. 3. Spatio-temporal dynamics of *Azadirachta indica* occurrence in Fathala forest from 2012 to 2022



Fig. 4. Young individuals (a) and mature tree (b) of *Azadirachta indica* in the Fathala forest (Source, URENE, 2026)

3.3 PREDICTING THE EXPANSION POTENTIAL OF AZADIRACHTA INDICA

The findings of the predictive analyses indicate a sustained expansion of the species marked by a gradual increase in its probability of occurrence on a yearly basis (Figure 5). This tendency is associated with a considerable contraction in the confidence interval to 95%, indicating a diminution in the uncertainty surrounding the estimations and an enhancement in the precision of the predictions. These predictions indicate a proliferation of the species in the short and medium term, reflecting the same dynamics observed over the last decades. All the structural parameters assessed show a gradual increase in their values between 2022 and 2032, despite some variations. The estimates predict a quasi-linear, fairly steady increase in the diameter and frequency of the *Azadirachta indica* species. However, the growth dynamics of density appear to be less pronounced between 2027 and 2030, when the increase in height is expected to slow slightly at the end of the period, suggesting a gradual future dynamic.

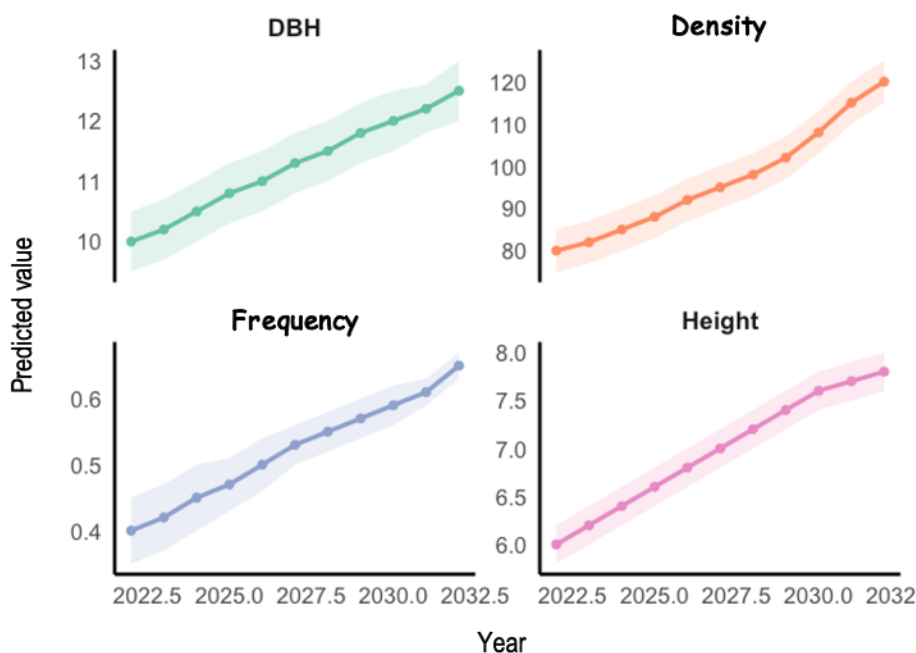


Fig. 5. Prediction of frequency, density, DBH and height of *Azadirachta indica* in the Fathala forest

3.4 EFFECTS OF AZADIRACHTA INDICA EXPANSION ON FLORISTIC DIVERSITY AND COMPOSITION

Figure 6 shows that the presence of *Azadirachta indica* in the Park's tree population significantly influences species richness and diversity (p -value <0.05). Species richness and Shannon diversity index are much higher in the absence of *Azadirachta indica* in the surveyed plots. This indicates a negative correlation between species abundance and the evolution of *A. indica* in the forest. Thus, the lowest values for species richness and Shannon diversity index are observed in the presence of *Azadirachta indica*, suggesting a decline in other species.

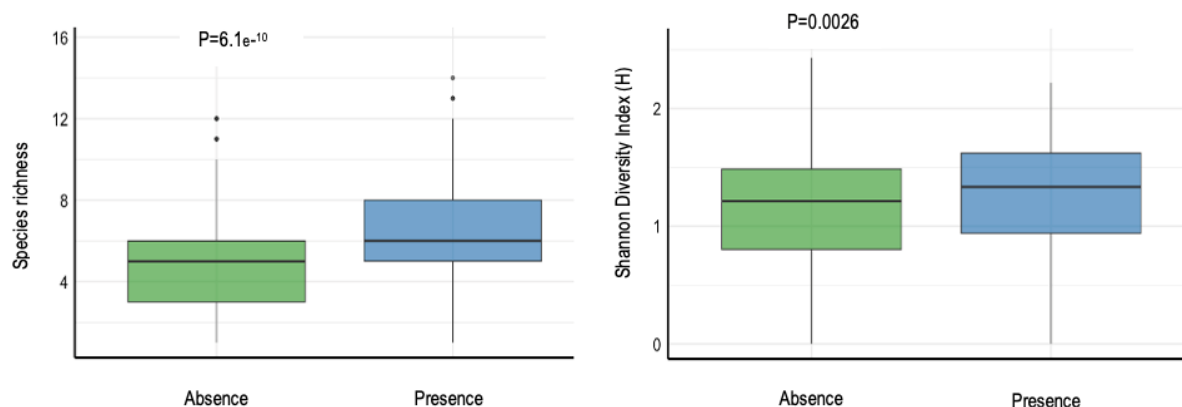


Fig. 6. Contribution of *Azadirachta indica* to variation in species richness (A) and diversity (B) in the forest

The analysis of figure 7 indicates that the floristic composition of the forest is influenced by the presence or absence of the species *A. indica*. In plots where *A. indica* is not present, species demonstrate comparable patterns as they evolve in close association, despite the presence of certain differences noted in some species. This group of species demonstrates a stronger affinity with axis 2. Conversely, the presence of *A. indica* has been associated with varying pattern among species. The latter are distributed around the two axes in a relatively dispersed pattern.

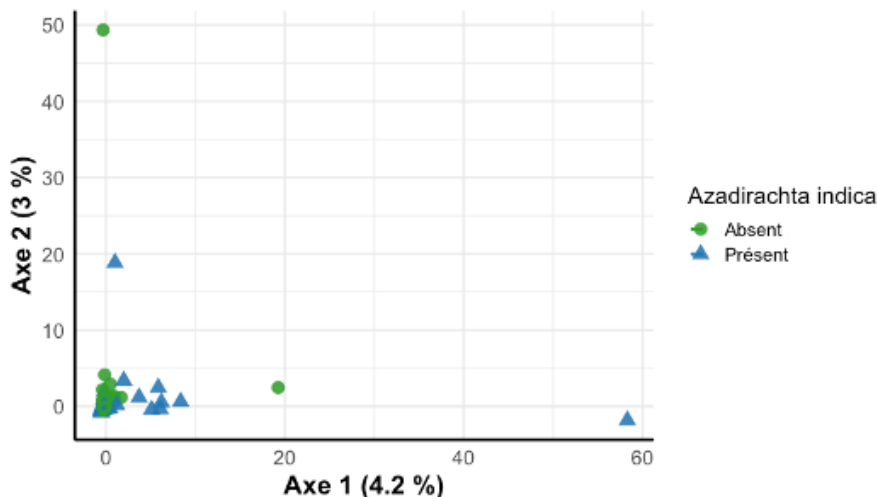


Fig. 7. Principal component analysis of floristic composition based on the presence and absence of *Azadirachta indica*

4 DISCUSSION

It is postulated that *Azadirachta indica* manifests an increase in abundance over time, attributable to its elevated reproductive capacity and competitive advantage over indigenous flora. It is further proposed that the spatial expansion of the species is accelerated in Fathala forest. It is anticipated that the presence of this species will have a negative effect on biodiversity, through competition for resources and alteration of habitat structure. The findings demonstrate a rapid expansion of the Neem and an adverse effect on native species in the Delta du Saloum National Park.

4.1 EVIDENCE OF THE INVASIVE SPREAD OF *AZADIRACHTA INDICA*

This study demonstrates a substantial expansion of *Azadirachta indica* within the Fathala classified forest in Delta du Saloum National Park. There is a demonstrable increase in both the quantity of individuals and the geographical location of species, thus reflecting a strong capacity for regeneration. Authors such as [9] have reported comparable trends in the natural region of Sine, located in the Groundnut Basin, where Neem is spreading rapidly to the point of being among the dominant species of woody vegetation. This species has been identified as the most prevalent invasive species in a total of thirteen forests that were surveyed by [24] in Togo. The rapid and substantial expansion of *Azadirachta indica* was cited by [35], who contended that the biological capabilities of the species enable it to prevail in stands and become invasive. This dynamic is further emphasised by the substantial and rapid rate of fruit production [25], [36]. Its abundance is also attributed to its effective seed dispersal mechanisms, namely barochory and ornithochory, in addition to its high fruit production [13]. It has been argued by some authors that the rapid spatial expansion of invasive species is dependent on their dispersal capabilities [34], which are influenced by the existence of long-distance dispersal events and the selection of dispersing phenotypes [37], [38].

Furthermore, the results of this study demonstrate that *A. indica* populations are predominantly young, with individuals ranging in diameter from 5 to 25 cm and in height from 5 to 10 m, with small individuals. This demographic structure, characterized by the prevalence of diameter and height classes, is indicative of a stable population in a phase of establishment and active expansion. The results obtained in this study are comparable to those previously reported by [39]. The latter researchers found that young stands, estimated to be approximately fifteen years of age, exhibited diameters ranging from 1.30 m to 9.9 cm, with heights ranging from 3.62 m to 5.36 m. The observed similarity in the results substantiates the notion that neem possesses a pronounced regenerative capacity and exhibits accelerated growth in analogous ecological settings. The preponderance of juveniles within this species was observed in the research conducted by [11] in the peanut basin.

Projections indicate a substantial increase in the frequency, density, diameter and height of *Azadirachta indica* stands by the year 2032. These findings are consistent with those of [40] who found that tropical and subtropical regions exhibit a propensity for an augmentation in the distribution range of *Azadirachta indica*. A considerable body of literature posits the hypothesis that such incursions are set to rise in the coming years [41], [42]. The capacity of Neem to disseminate rapidly may be attributed to its capacity to thrive in challenging soil and climatic conditions [22]. The results of the present study are analogous to those of [43], who utilised modelling to demonstrate the expansion of *Azadirachta indica* populations over time and space. This finding thus demonstrates the remarkable resilience of *A. indica* to climate change [43]. This high resistance to change is all the more remarkable given that the survival period of the species' seeds exceeds four months [8], highlighting its rapid germination and growth. These characteristics, when considered in conjunction with its capacity to reproduce in a variety of climatic conditions and its ability to adapt to diverse soil types, have given rise to concerns regarding its potential impact on local biodiversity, thus leading to its classification as an invasive species [28]. In order to limit their impact on biodiversity loss, predicting which forest species are likely to become invasive following their introduction represents a major challenge [42], [44], [45].

4.2 ECOLOGICAL IMPLICATIONS OF *AZADIRACHTA INDICA* INVASION

The primary purpose of protected areas is the conservation and protection of biological resources. However, these areas continue to face various pressures. The issue of biological invasions, which primarily impact ecological functions, is becoming increasingly significant in national parks, which are the primary areas for species confinement. In the context of the Saloum Delta National Park, the ongoing proliferation of *Azadirachta indica*, an exotic species, poses a significant threat to native species conservation and ecological stability of this ecosystem.

The introduction of invasive species is a well-documented phenomenon with the potential to cause significant and long-lasting changes to local biodiversity. This study highlights a correlation between the proliferation of *A. indica* and the concurrent decline in species richness and diversity. As posited by [28], the introduction of *A. indica* has been demonstrated to have a deleterious effect on many ecosystems, characterized by a decline in species and a homogenization of natural habitats. This phenomenon can be attributed to the rapid occupation of the most fertile environments by *A. indica*, particularly in the vicinity of trees, which provide optimal conditions for species development [46]. Furthermore, *A. indica* exhibits low tolerance for other plant species in its immediate environment, a property that facilitates its establishment and replacement of local vegetation [47], [48]. The allelopathic effect of *A. indica* on native species could be a potential mechanism that hinders rooting, which could have long-term consequences for forest succession and balance [49]. As posited by the author, one of the consequences of this phenomenon of allelopathy is alterations in ecosystem processes and the structure of species communities.

This present study demonstrates also that the tree species composition in the Fathala forest is influenced by the presence of the *A. indica*. A comparable situation was documented by [11], who contend that the aggregative distribution of *A. indica*, in conjunction with its invasive character, which is deleterious to other plant species, signifies a shift in the floristic composition of the *Cordyla pinnata* agroforestry park. Previous studies such as those by [44] adopt a congruent perspective, elucidating that the incursion of woody species exerts a more substantial influence on the functionality of ecosystems and the preservation of biodiversity. For this purpose, [50] attribute

these facts not only to the importance of their biomass and their competitiveness with other biological types, but also to their undeniable potential to transform environments. However, it is important to consider that in this context of ecological change induced by the rapid expansion of *A. indica*, the emergence of various factors often acting in synergy is striking. The consequences of climate change and human disturbance are evident in the increased incidence of invasive species, resulting in the establishment of generalist invasive species that compete with local species populations, thereby weakening and undermining them [45], [51]. For instance, human activities are a primary driver of the adverse ecological impact of an invasive species, as they facilitate its ability to traverse barriers that previously constrained its dispersal and reproduction, resulting in accelerated population growth and rapid spatial expansion [1].

5 CONCLUSIONS

The combination of high frequency, high density, and significant expansion over time indicates that *Azadirachta indica* exhibits invasive characteristics in Fathala forest, the main terrestrial part of Delta of Saloum National Park. Predictive analysis suggests that the rate of increase in *A. indica* populations is likely to continue in the short to medium term, indicating an increase in density, frequency, DBH and height over the next decade. Furthermore, this study highlights a compromise in floristic diversity and composition due to the presence of *Azadirachta indica*, which could have ecological impacts on native species and forest future composition. In a context of management, these findings emphasize the importance of careful monitoring to control the expansion of *Azadirachta indica* and its negative effect on local biodiversity, particularly in this national park where the main aim is to protect native species. It is imperative that the authorities of the Delta du Saloum National Park develop clear management plans to control the expansion of *Azadirachta indica* before it causes significant and irreversible ecological damage. An understanding of a species' reproductive strategies is imperative for evaluating its dynamism and adaptability. The comprehension of these strategies enables the prediction of population growth rates and critical periods for their management.

ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank all contributors who made this research possible. Thanks also go to the members of the URENE (Unité de Recherche sur les Écosystèmes Naturels et l'Environnement) research laboratory who took part in data collection, as well as to the managers of the Saloum Delta National Park and local communities.

REFERENCES

- [1] A. Fournier, «Modéliser et prédire les invasions biologiques,» PhD Thesis, Université Paris Saclay (COMUE), 2018. Accessed: Jan. 01, 2026. [Online]. Available: <https://theses.hal.science/tel-01826647/>.
- [2] E. Pramova, B. Locatelli, H. Djoudi, and O. A. Somorin, «Forests and trees for social adaptation to climate variability and change,» *WIREs Clim. Change*, vol. 3, no. 6, pp. 581–596, Nov. 2012, doi: 10.1002/wcc.195.
- [3] T. E. W. Linders *et al.*, «Direct and indirect effects of invasive species: Biodiversity loss is a major mechanism by which an invasive tree affects ecosystem functioning,» *J. Ecol.*, vol. 107, no. 6, pp. 2660–2672, 2019, doi: 10.1111/1365-2745.13268.
- [4] FAO, «The State of the World's Forests 2018—Forest Pathways to Sustainable Development.» Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Italy, 2018.
- [5] H. Levrel *et al.*, «Les menaces sur la biodiversité,» *Enjeux Transit. Écologique*, pp. 38-p, 2022, Accessed: Jan. 04, 2026. [Online]. Available: <https://universite-paris-saclay.hal.science/hal-03479058/document>.
- [6] R. N. Mack, D. Simberloff, W. Mark Lonsdale, H. Evans, M. Clout, and F. A. Bazzaz, «BIOTIC INVASIONS: CAUSES, EPIDEMIOLOGY, GLOBAL CONSEQUENCES, AND CONTROL,» *Ecol. Appl.*, vol. 10, no. 3, pp. 689–710, Jun. 2000, doi: 10.1890/1051-0761(2000)010%5B0689: BICEGC%5D2.0.CO; 2.
- [7] T. Hamidou, J. P. Jacquier, D. A. Maizoumbou, and S. Laouli, «Pollinoses du Sahel,» *Rev. Fr. D'Allergologie*, vol. 59, no. 3, p. 251, 2019, Accessed: Jan. 04, 2026. [Online]. Available: <https://allergolyon.fr/wp-content/uploads/2021/03/8.1.4.-Performances-du-test-ALEX-comparees-a-la-puce-ISAC.pdf>
- [8] A. Aliyu Maje, «The phenology, distribution, and uses of *Azadirachta Indica* A. Juss (Neem Tree) in Taura Local Government Area, Jigawa State, Nigeria,» PhD Thesis, Kampala International University, College of Environmental Science and..., 2023. Accessed: Dec. 17, 2025. [Online]. Available: <https://ir.kiu.ac.ug/handle/20.500.12306/14326>.
- [9] L. E. Akpo, I. Coly, D. Sarred, D. Ngom, and S. Ndao, «Les modes d'occupation des terres et la gestion des ressources forestières en zone soudanienne d'Afrique de l'Ouest. L'exemple du bassin versant de la Néma au Sénégal,» CIRAD, 2003. Accessed: Dec. 21, 2025. [Online]. Available: <https://agritrop.cirad.fr/520363/>.
- [10] M. Rejmanek and D. M. Richardson, «What attributes make some plant species more invasive?,» *Ecology*, vol. 77, no. 6, pp. 1655–1661, 1996, Accessed: Dec. 31, 2025. [Online]. Available: <https://www.jstor.org/stable/2265768>.

- [11] A. A. Diatta *et al.*, «Composition floristique et dynamique du parc agroforestier à *Cordia pinnata* (Lepr. ex A. Rich.) Milne-Redh. dans le Sud du Bassin Arachidier (Sénégal),» *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 10, no. 4, pp. 1805–1822, 2016, Accessed: Dec. 31, 2025. [Online]. Available: <https://www.ajol.info/index.php/ijbcs/article/view/153742>.
- [12] V. S. Kumar and V. Navaratnam, «Neem (*Azadirachta indica*): Prehistory to contemporary medicinal uses to humankind,» *Asian Pac. J. Trop. Biomed.*, vol. 3, no. 7, pp. 505–514, 2013, Accessed: Dec. 18, 2025. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2221169113601057>.
- [13] L. Sanou, J.-L. Devineau, and A. Fournier, «Groupements floristiques et capacité de régénération des espèces ligneuses des sanctuaires boisés dans l'aire culturelle bwaba (département de Bondoukuy, Ouest Burkina),» *Acta Bot. Gallica*, vol. 160, no. 1, pp. 77–102, Mar. 2013, doi: 10.1080/12538078.2013.797366.
- [14] S. Ganaba, «A PROPOS DU NEEM AU BURKINA FASO NÉCESSITÉ D'UNE MAÎTRISE DE SON EXPANSION: THE NEEM IN BURKINA FASO NECESSITY OF THE CONTROL OF ITS EXPANSION,» *Sci. Nat. Appliquées*, vol. 22, no. 1, 1996, Accessed: Dec. 17, 2025. [Online]. Available: https://www.revuesciences-techniquesburkina.org/index.php/sciences_naturelles_et_appliquee/article/view/779.
- [15] R. L. Chazdon, «Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands,» *Science*, vol. 320, no. 5882, pp. 1458–1460, Jun. 2008, doi: 10.1126/science.1155365.
- [16] M. M. Charahabil, B. Cesar, B. Hamadou, S. Ndiaye, and M. Diatta, «Diversité et structure des espaces végétalisés urbains de la ville de Ziguinchor, Sénégal,» *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 12, no. 4, pp. 1650–1666, 2018, Accessed: Dec. 21, 2025. [Online]. Available: <https://www.ajol.info/index.php/ijbcs/article/view/181005>.
- [17] A. B. Fandohan *et al.*, «Modeling vulnerability of protected areas to invasion by *chromolaena odorata* under current and future climates,» *Ecosyst. Health Sustain.*, vol. 1, no. 6, pp. 1–12, Aug. 2015, doi: 10.1890/EHS15-0003.1.
- [18] F. Niang-Diop, B. Sambou, and A. Lykke, «Contraintes de régénération naturelle de *Prosopis africana* : facteurs affectant la germination des graines,» *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 4, no. 5, p. 4 (5): 1693-1705, Apr. 2011. doi: 10.4314/ijbcs.v4i5.65578.
- [19] A. Fournier and J. Millogo-Rasolodimby, «Une végétation menacée ou modelée par les hommes?,» *Quelles Aires Protégées Pour L'Afrique L'Ouest*, p. 61, 2007, Accessed: Jan. 04, 2026. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Guy-Mensah/publication/235674408_Quelles_aires_protégees_pour_l'Afrique_de_l'Ouest_Conservation_de_la_biodiversite_et_developpement/links/566d569908ae430ab4ffe51b/Quelles-aires-protégees-pour-l'Afrique-de-l'Ouest-Conservation-de-la-biodiversite-et-developpement.pdf#page=62.
- [20] UNESCO, «World Heritage Centre.,» 2011. [Online]. Available: <https://whc.unesco.org/fr/list/1359>.
- [21] M. Sow and D. Bendu, «Analyse de la séparabilité spectrale des classes d'occupation du sol pour la cartographie de la mangrove de la Réserve de biosphère du delta du Saloum, Sénégal: Spectral Separability Analysis of Land Use Classes for Mangrove Mapping in the Biosphere Reserve of the Saloum Delta, Senegal,» *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 19, no. 1, pp. 225–239, 2025, Accessed: Jan. 04, 2026. [Online]. Available: <https://www.ajol.info/index.php/ijbcs/article/view/297758>.
- [22] B. Soro, H. R. Bazié, P. Bazié, B. G. F. Sawadogo, S. A. Ouédraogo, and G. Zombré, «Effect of *Azadirachta indica* A. Juss (Neem) on the Growth, Physiology and Yields of Associated Crops in Agroecosystems in the Sudano-Sahelian Zone of Burkina Faso, West Africa,» *Int. J. Plant Soil Sci.*, vol. 37, no. 7, pp. 218–226, 2025, Accessed: Jan. 08, 2026. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Bazie-Romeo/publication/393438600_Effect_of_Azadirachta_indica_A_Juss_Neem_on_the_Growth_Physiology_and_Yields_of_Associated_Crops_in_Agroecosystems_in_the_Sudano-Sahelian_Zone_of_Burkina_Faso_West_Africa/links/686b8ffb39c3583512076bc6/Effect-of-Azadirachta-indica-A-Juss-Neem-on-the-Growth-Physiology-and-Yields-of-Associated-Crops-in-Agroecosystems-in-the-Sudano-Sahelian-Zone-of-Burkina-Faso-West-Africa.pdf
- [23] H. Djebro, «Le Neem (*Azadirachta indica*) ».
- [24] R. Radji, K. Klu, and K. Kokou, «Forest invasion by alien plant species: the case of neem tree (*Azadirachta indica* A. Juss.) in Southern Togo,» *Int J Biodivers Conserv*, vol. 2, no. 10, pp. 300–307, 2010, Accessed: Dec. 31, 2025. [Online]. Available: <https://academicjournals.org/journal/IJBC/article-full-text-pdf/8C7B54B16718.pdf>
- [25] S. Csurhes, «Invasive plant risk assessment,» *Bitou Bush Dep. Agric. Fish. Biosecurity Qld*, 2016, Accessed: Jan. 08, 2026. [Online]. Available: https://www.dpi.qld.gov.au/__data/assets/pdf_file/0003/55776/IPA-Firethorn-Risk-Assessment.pdf
- [26] Y. Roederer and R. Bellefontaine, «Peut-on espérer conserver un pouvoir germinatif aux semences de neem pendant plusieurs années après leur récolte?,» *Inf. Sur Ressour. Genet. For.*, 1989, Accessed: Jan. 04, 2026. [Online]. Available: <https://www.fao.org/4/t8385f/T8385F10.htm>
- [27] National Research Council, «Neem: A Tree For Solving Global Problems,» 1992, Accessed: Jan. 08, 2026. [Online]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25121266/>.
- [28] B. M. Bello, K. Tukur, I. Abubakar, M. M. Sani, and M. A. Lawal, «The Effects of Neem Tree (*Azadirachta indica* A. Juss) Invasion on the Growth of Indigenous Flora in Katsina State, Northwest Nigeria,» *UMYU Sci.*, vol. 2, no. 3, pp. 142–152, Sep. 2023, doi: 10.56919/usc.2323.020.
- [29] B. Sambou, «Evaluation de l'état, de la tendance et de la dynamique de la flore et de la végétation ligneuses dans les domaines soudanien et sub-guinéen au Sénégal,» Thèse d'Etat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 2004.
- [30] A. M. Lykke, «Descriptions and analyses of the vegetation in Delta du Saloum National Park in Senegal,» 1993.

- [31] S. Sambou, A. M. Lykke, H. Sambou, I. Guiro, B. SAMBOU, and C. Mbow, «Land Use-Land Cover Change and Drivers of Deforestation in the Patako Protected Area (Center-West of Senegal),» *Am. J. Environ. Prot.*, vol. 4, no. 6, p. 306, 2015. doi: 10.11648/j.ajep.20150406.17.
- [32] J. Berhaut, *Flora of Senegal*, 2nd ed. Dakar, Sénégal: ClaiAfrique, 1967. Accessed: Mar. 04, 2021. [Online]. Available: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19670603458>.
- [33] M. Arbonnier, «Trees, shrubs and lianes of the dry zones of West Africa.,» 2000, Accessed: Dec. 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20013011650>.
- [34] B. FACON, L. MAILLERET, D. RENAULT, and L. ROQUES, «PROCESSUS D'INVASIONS BIOLOGIQUES : DE L'APPROCHE DESCRIPTIVE À L'APPROCHE PRÉDICTIVE,» p. 4, 2015, Accessed: Jan. 01, 2026. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Benoit-Facon/publication/286418477_Processus_d'invasions_biologiques_de_l'approche_descriptive_a_l'approche_predictive/links/593a22b5458515320637aed8/Processus-dinvasions-biologiques-de-lapproche-descriptive-a-lapproche-predictive.pdf
- [35] D. M. Richardson, «Forestry Trees as Invasive Aliens,» *Conserv. Biol.*, vol. 12, no. 1, pp. 18–26, Feb. 1998. doi: 10.1111/j.1523-1739.1998.96392.x.
- [36] D. Diedhiou *et al.*, «Chemical composition of the essential oil of Neem (*Azadirachta indica* A. Juss.) seeds harvested in Senegal,» *Indian J Sci Technol*, vol. 16, pp. 118–122, 2023, Accessed: Jan. 08, 2026. [Online]. Available: <https://sciresol.s3.us-east-2.amazonaws.com/IJST/Articles/2023/Issue-2/IJST-2022-1650.pdf>
- [37] B. L. Phillips, G. P. Brown, J. M. J. Travis, and R. Shine, «Reid's Paradox Revisited: The Evolution of Dispersal Kernels during Range Expansion,» *Am. Nat.*, vol. 172, no. S1, pp. S34–S48, Jul. 2008, doi: 10.1086/588255.
- [38] R. Shine, G. P. Brown, and B. L. Phillips, «An evolutionary process that assembles phenotypes through space rather than through time,» *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 108, no. 14, pp. 5708–5711, Apr. 2011, doi: 10.1073/pnas.1018989108.
- [39] O. Neya, F. B. M. Sougue, M. Ouedraogo, E. M. S. Daboue, S. Traore, and M. Hien, «Evaluation de l'adaptabilité de dix-neuf provenances de *Azadirachta indica* A. Juss. aux conditions agroclimatiques de la zone Nord soudanienne du Burkina Faso,» *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 12, no. 4, pp. 1740–1753, 2018, Accessed: Jan. 08, 2026. [Online]. Available: <https://www.ajol.info/index.php/ijbcs/article/view/181025>.
- [40] I. Aslam, M. Jamil, T. Maqbool, S. Rasheed, and Y. Saleem, «Niche modelling of *Azadirachta indica* under current and future climate scenarios of Punjab, Pakistan,» Dec. 16, 2025, *Research Square*. doi: 10.21203/rs.3.rs-8074050/v1.
- [41] H. Seebens *et al.*, «Global trade will accelerate plant invasions in emerging economies under climate change,» *Glob. Change Biol.*, vol. 21, no. 11, pp. 4128–4140, Nov. 2015, doi: 10.1111/gcb.13021.
- [42] H. Seebens *et al.*, «No saturation in the accumulation of alien species worldwide,» *Nat. Commun.*, vol. 8, no. 1, p. 14435, 2017, Accessed: Jan. 03, 2026. [Online]. Available: <https://www.nature.com/articles/ncomms14435>.
- [43] A. Malakar, M. Pradhan, S. Garai, and A. Sinha, «*Azadirachta indica* A. Juss evinced robust resilience to changing climate under shared socioeconomic pathway scenarios in Eastern India,» *Clim. Change*, vol. 178, no. 4, p. 66, Apr. 2025, doi: 10.1007/s10584-025-03910-x.
- [44] J. Tassin, J.-M. Sarrailh, and J.-N. Rivièrè, «Essences forestières et invasions : des systèmes de prédiction toujours plus fiables,» *BOIS FORETS Trop.*, vol. 292, pp. 71–79, Jun. 2007, doi: 10.19182/bft2007.292.a20350.
- [45] C. Bertelsmeier, G. M. Luque, A. Confais, and F. Courchamp, «Antprofiler—a database of ecological characteristics of ants (Hymenoptera: Formicidae),» *Myrmecol. News*, no. 18, pp. 73–76, 2013.
- [46] S. Maragathavalli, S. Brindha, N. S. Kaviyarasi, B. Annadurai, and S. K. Gangwar, «Antimicrobial activity in leaf extract of neem (*Azadirachta indica* Linn.),» *Int. J. Sci. Nat.*, vol. 3, no. 1, pp. 110–113, 2012.
- [47] K. Girish and B. S. Shankara, «Neem—a green treasure,» *Electron. J. Biol.*, vol. 4, no. 3, pp. 102–111, 2008, Accessed: Dec. 31, 2025. [Online]. Available: <https://neempedia.com/wp-content/uploads/2016/07/Neem-A-Green-Treasure.pdf>
- [48] B. Pokhrel, S. Rijal, S. Raut, and A. Pandeya, «Investigations of antioxidant and antibacterial activity of leaf extracts of *Azadirachta indica*,» *Afr. J. Biotechnol.*, vol. 14, no. 46, pp. 3159–3163, 2015, Accessed: Dec. 31, 2025. [Online]. Available: <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/126687>.
- [49] J. A. X. Mota, H. Á. F. Lemos, W. N. Ferreira, and M. A. M. Silva, «Allelopathic effect of *Azadirachta indica* fresh leaves on the germination of native plants in the Seasonally Dry Tropical Forest,» *Sci. Plena*, vol. 16, no. 12, 2020. doi: 10.14808/sci.plena.2020.124202.
- [50] M. Rejmánek, D. M. Richardson, S. I. Higgins, M. J. Pitcairn, and E. Grotkopp, «Ecology of invasive plants: state of the art,» 2005, Accessed: Jan. 01, 2026. [Online]. Available: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20053158995>.
- [51] S. A. Mainka and G. W. Howard, «Climate change and invasive species: double jeopardy,» *Integr. Zool.*, vol. 5, no. 2, pp. 102–111, Jun. 2010, doi: 10.1111/j.1749-4877.2010.00193.x.

Les Défis majeurs liés aux Dirigeants des écoles à l'intégration des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) dans les écoles secondaires en milieu rural de Territoire de Tshilenge (RDC)

[Major Challenges Related to School Leaders in Integrating Information and Communication Technologies (ICT) in Secondary Schools in Rural Areas of Tshilenge Territory (DRC)]

Bertrand Mulumba Kayembe¹, Sammy Muya Mulumba², Tshilongo Mbemba Betsaleel³, Tshilumba Mpanga Jean Claude⁴, Eddy Mpyoi Kanyinda⁵, and Kibambe Maole Louis⁶

¹Institut Supérieur Pédagogique de Lukalaba (ISP, LUKALABA), RD Congo

²Institut Supérieur Pédagogique de Kabeya Kamuanga (ISP, KABEYA KAMUANGA), RD Congo

³Institut supérieur des techniques Appliquées de MBUJIMAYI (ISTA/MBM), RD Congo

⁴Institut supérieur Pédagogique de Kalanda (ISP/KATANDA), RD Congo

⁵Institut Supérieur Technique Médicale de Tshilenge (ISTM, TSHILENGE), RD Congo

⁶Institut supérieur des techniques Informatiques appliquées de MBUJIMAYI (ISTIA/MBM), RD Congo

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

ABSTRACT: Our research conducted in the rural area of Tshilenge Territory from 03/15 to 05/15/2024, focused on «Major Challenges Related to School Leaders in Integrating Information and Communication Technologies (ICT) in Secondary Schools in Rural Tshilenge» and aimed to identify the major challenges of integrating ICT in secondary schools in Tshilenge Territory. As for the methodological approach, we used the survey method coupled with the techniques: Interview, Dialog, Participatory observation, Documentary, and statistical analysis using SPSS software. The results from the surveys proved that: the insufficient number of hours allocated for the computer course, the under-qualification of teachers assigned to teach the computer course, the lack of computer manuals and materials, the lack of monitoring of teachers by school administrators during computer course delivery, and the non-compliance with pedagogical methods in the computer course constitute the major challenges related to secondary school administrators in the integration of ICT in rural areas of Tshilenge Territory. It also seems desirable in the future to extend our surveys to other categories of schools, notably primary schools and higher and university education institutions across other sites in the Tshilenge Territory, in order to provide additional information to our research.

KEYWORDS: integration of ICT, challenges, school leader.

RESUME: Notre recherche menée dans la contrée rurale de Territoire de Tshilenge dans une période allant du 15/03 au 15/05/2024, portée sur « Les Défis majeurs liés aux Dirigeants des écoles à l'intégration des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) dans les écoles secondaires en milieu rural de Tshilenge » et s'est assigné l'objectif d'identifier les défis majeurs de l'intégration de TIC dans les écoles secondaires de Territoire de Tshilenge. Quant à l'approche

méthodologique, nous avons utilisé la méthode enquête couplée aux techniques: Interview, Dialogue, Observation participative, Documentaire et d'analyse statistique au moyen du logiciel SPSS. Les résultats émanant des enquêtes ont prouvé que: l'insuffisance de nombre d'heures prévu pour le cours d'informatique, la sous qualification des Enseignants affectés pour dispenser le cours d'informatique, l'inexistence de manuels et de matériels d'informatiques, le non suivi des Enseignants par les Dirigeants lors de prestation de cours d'informatique, le non-respect de méthode pédagogique dans le cours d'informatique constituent les défis majeurs liés aux dirigeants des écoles secondaires dans l'intégration des TIC en milieu rural du Territoire de Tshilenge.

Il s'avère également souhaitable dans l'avenir d'étendre nos enquêtes à d'autres catégories d'écoles notamment les écoles primaires et institutions d'enseignement supérieur et universitaire à travers d'autres sites du Territoire de Tshilenge afin d'apporter un complément d'information à notre recherche.

MOTS-CLEFS: intégration, TIC, défis, dirigeants, écoles secondaires.

1 INTRODUCTION

Il y a plus de deux décennies que l'informatique a été imposée dans le système éducatif congolais comme une discipline transversale par le Gouvernement Central, dans le but de mettre à un niveau compétitif de nos élèves dans tous les domaines. Mais cette initiative louable n'a pas pu être appliquée par les acteurs de l'éducation congolais et cela se justifie par des constats observés que nous citons à titre d'exemple [15]. Les écoles secondaires du Territoire de Tshilenge, constituent un cadre de formation des jeunes dans la province du Kasai Oriental, elles étaient ciblées par ce programme des TIC avec l'informatique comme cours transversal. Vu que les technologies de l'information et de la communication occupent une place de plus en plus importante dans le quotidien d'un grand nombre de personnes, il faut reconnaître que cette influence des TIC dans les sociétés ne se manifeste pas de façon uniforme. C'est ce qu'il est convenu d'appeler la « *fracture numérique* » entre les pays dits développés et les pays en développement [15].

En effet, de nombreux pays d'Afrique, notamment la République Démocratique du Congo est parmi les plus pauvres de la planète, se retrouvent de plus en plus dans un contexte de déficit technologique en milieux urbains et ruraux généralement et plus particulièrement en milieu rural du Territoire de Tshilenge où cette fracture numérique est constatée avec le manque d'accès aux connaissances maintenant accessibles sur Internet [12].

Cependant, les défis majeurs liés aux Dirigeants des écoles secondaires dans l'intégration en milieu rural du Territoire de Tshilenge demeurent inconnus jusqu'à nos jours car aucune étude n'a été menée à ce sujet.

C'est dans cette optique que nous nous sommes proposé ce sujet de recherche qui se fixe l'objectif global de déterminer les défis majeurs de l'intégration de TIC liés aux dirigeants des écoles secondaires en milieu rural du Territoire de Tshilenge.

De façon spécifique, il s'agira d'évaluer: L'impact de la nature infrastructurelle, du niveau technologique, des ressources humaines, des ressources financières, de l'administration scolaire.

2 MILIEU, MATERIEL ET METHODES

2.1 MILIEU

Le Territoire de Tshilenge est une entité administrative déconcentrée (EAD). Il a une Chefferie dénommée « Chefferie de Bakwa Kalonji » qui tire son origine de la circonscription indigène de l'époque coloniale. [38] La partie sous étude est la partie nord de cette chefferie axée sur la Nationale n°2. Le chef-lieu du territoire est Tshilenge situé à 6°9'47" latitude Sud, 23°25' et 30°50' longitude Est et à 658 m d'altitude

Le Territoire de Tshilenge est borné:

- Au Nord par le Territoire de Katanda et la rivière Lubilanji (Tshilemba);
- Au Sud par le Territoire de Luilu/province de la Lomami ;
- A l'Ouest par la rivière Mbuji-Mayi qui le sépare des Territoires de Lupatapata, la ville de Mbujimayi et le territoire de Miabi ;
- A l'Est: il est séparé du Territoire de Ngandajika par la rivière Kalelu [3].

Nos sites de recherches sont notamment les deux Sous Divisions qui se trouvent toutes deux dans le Territoire de Tshilenge. Et notre cible est de 106 écoles secondaires réparties dans toutes les deux Sous Divisions respectives.

2.2 MATÉRIEL

L'intégration des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) dans les écoles secondaires rurales repose sur une infrastructure matérielle adaptée aux réalités locales:

Ainsi dans le but d'évaluer l'intégration des TIC dans les écoles secondaires en milieu rural du Territoire de Tshilenge, dans le contexte qui est le nôtre, avons fait recours aux matériels ci-après:

2.2.1 ORDINATEUR

Nous a servi à effectuer la saisie de nos questionnaires d'enquête au moyen du logiciel Word.

2.2.2 L'IMPRIMANTE

Nous a aidé imprimer les questionnaires pour son admission auprès de nos cibles.

2.2.3 LES PAPIERS DUPLICATEURS

Les papiers duplicateurs nous aidé à imprimer les questionnaires que nous avons administrés à notre cible.

2.2.4 LE LOGICIEL SPSS

Ce logiciel nous a aidé à faire l'analyse des données et obtenir les résultats qu'avons dans notre travail ci.

2.3 MÉTHODE DE RECHERCHE

Dans le cadre de la présente étude, nous avons utilisé la méthode d'enquête combinée aux techniques: Interview, Dialogue, Observation participative, l'analyse documentaire et l'analyse statistique dans le but de recueillir des données dans les 106 écoles réparties dans les deux Sous Divisions donc dans la Sous Division de Tshilenge 1 et celle de Tshilenge 2 auprès des Chef d'Etablissements dans une période allant du 15/03 au 15/05/2024. En effet, nous avons encore organisé les entretiens semi-structurés en fonction de ces enquêtes et cela nous a permis d'obtenir des données qualitatives approfondies.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats que nous présentons dans le présent travail sont relatifs au nombre d'heures prévues pour le cours d'informatique sur le programme, a la qualification des enseignants du cours d'informatique, a la disponibilité des manuels et matériels didactiques du cours d'informatique, au suivi des enseignants par les dirigeants lors des prestations du cours d'informatique.

3.1 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

Tableau 1. Le nombre d'heures prévues sur le programme pour le cours d'informatique

	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulé
Valide	OUI	22	20,8	20,8
	NON	78	73,6	94,3
	ABSTENTION	6	5,7	100,0
	Total	106	100,0	100,0

Source: recherche personnelle

Commentaires: de l'exploitation des résultats figurant dans ce tableau 1, nous constatons que 20,8% des chefs d'établissement affirment que le nombre d'heures prévues sur le programme est suffisant, 73,6 des chefs d'établissement affirment que le nombre d'heures prévues sur le programme n'est pas suffisant et 5,7% des chefs d'établissement ne connaissent rien sur le nombre d'heures prévues sur le programme pour le cours d'informatique. Cette situation traduit un très faible pourcentage d'affirmation.

Tableau 2. La Qualification des enseignants affectés au cours d'informatique

		Effectifs	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulé
Valide	OUI	3	2,8	2,8	2,8
	NON	103	97,2	97,2	100,0
	Total	106	100,0	100,0	

Source: recherche personnelle

Commentaires: il découle des résultats mentionnés dans ce tableau 2 que 2,8% des chefs d'établissement affirment que les enseignants affectés au cours d'informatique sont qualifiés alors que 97,2% des chefs d'établissement affirment que les enseignants affectés au cours d'informatique ne sont pas qualifiés.

Tableau 3. La disponibilité des manuels ou supports de cours d'informatique l'école

		Effectifs	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulé
Valide	OUI	6	5,7	5,7	5,7
	NON	100	94,3	94,3	100,0
	Total	106	100,0	100,0	

Source: recherche personnelle

Commentaires: Au regard des résultats mentionnés dans ce tableau 3, nous remarquons que 5,7% d'écoles disposent des manuels ou des supports en informatique alors que 94,3% d'écoles ne disposent pas des manuels ou des supports en informatique.

Tableau 4. Le suivi des enseignants dans la classe pendant la période d'informatique

		Effectifs	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulé
Valide	OUI	10	9,4	9,4	9,4
	NON	96	90,6	90,6	100,0
	Total	106	100,0	100,0	

Source: recherche personnelle

Commentaires: Les résultats mentionnés dans ce tableau 4 nous laissent voir que 9,4 % des chefs d'établissement affirment avoir assisté ou suivi les enseignants lors de leurs prestations des leçons d'informatique alors que 90,6% chefs d'établissement affirment n'avoir pas assisté ou suivi les enseignants.

Tableau 5. La disponibilité des matériels informatiques à l'école

		Effectifs	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulé
Valide	OUI	3	2,8	2,8	2,8
	NON	103	97,2	97,2	100,0
	Total	106	100,0	100,0	

Source: recherche personnelle

Commentaires: il découle des résultats figurant dans ce tableau 5 que 2,8% d'écoles disponibilisent les matériels informatiques alors que 97,2% d'écoles ne disponibilisent pas des matériels informatiques.

Tableau 6. Les défis didactiques prouvés par les enseignants dans le cours d'informatique

	Effectifs	Pourcentage	Pourcentage valide	Pourcentage cumulé
Valide	MATERIELS DIDACTIQUES ET FINANCIER	17	16,0	16,0
	METHODES ET MATERIELS	89	84,0	100,0
	Total	106	100,0	100,0

Source: recherche personnelle

Commentaires: Les résultats consignés dans ce tableau 6 nous prouvent à suffisance que 16% d'écoles prouvent les difficultés des matériels didactiques et financiers et 84,0% d'écoles prouvent des difficultés en méthodes pédagogiques et en matériels didactiques.

4 DISCUSSION

Est-ce que le nombre d'heures prévues sur le programme est-il suffisant ?

A cette question, nos résultats obtenus révèlent que 73,6 des chefs d'établissement affirment que le nombre d'heures prévues sur le programme n'est pas suffisant. Cette situation pourrait s'expliquer par certains facteurs notamment:

- Absence de programme national clair et standardisé;
- Pénurie d'enseignants spécialisés, donc limitation du nombre de cours possibles;
- Priorisation des matières classiques (maths, français, etc.) dans l'emploi du temps;
- Infrastructure insuffisante (matériel limité, peu d'ordinateurs);
- Manque de pression institutionnelle pour valoriser le cours d'informatique.

Le faible volume horaire reste un obstacle majeur à l'intégration effective des TIC en milieu rural. Cette situation est répandue dans de nombreux Pays du Sud, où l'infrastructure, les ressources humaines et l'organisation scolaire sont limitées. Des mémoires et thèses convergent sur ce point: l'informatique est souvent présentée sur papier, mais peu valorisée dans la pratique, freinant toute réelle appropriation des TIC par les élèves.

Ces résultats obtenus concordent avec ceux trouvés par [6] qui indique qu'au Cameroun 65% des écoles rurales limitent le cours à une ou deux heures/semaine, ce qui empêche toute pratique effective. Nos résultats vont également dans le même sens avec ceux trouvés par [14] rapporte qu'en RDC 60 % des cas, les cours d'informatique sont dispensés uniquement en période d'examen, faute de créneaux horaires constants.

De même que [21] précise qu'au Cameroun dans les zones rurales, le cours est souvent relégué à des plages horaires non adaptées (fin de journée ou week-ends).

[23] au Sénégal que même si les TIC sont dans le programme, les écoles rurales ne disposent que de 1h/semaine en moyenne.

Nos résultats corroborent ceux trouvés par [13], au Pérou qui souligne que les écoles rurales ont en moyenne 1h/semaine de TIC, jugée très insuffisante par les enseignants.

Concernant la qualification des enseignants, nos résultats montrent que 97,2% des chefs d'établissement affirment que les enseignants affectés au cours d'informatique ne sont pas qualifiés. Cette situation pourrait s'expliquer par certains facteurs notamment:

- Manque de formation initiale et continue spécifique en pédagogie de l'informatique;
- Affectation d'enseignants non spécialistes (ex.: enseignants de mathématiques ou physique chargés de l'informatique par défaut);
- Absence de politique nationale claire sur le recrutement des enseignants TIC;
- Peu ou pas d'écoles normales ou ISP offrant une filière en didactique de l'informatique;
- Manque d'incitations pour la formation continue (ateliers, recyclages).

Ceci impact négativement l'intégration des TIC dans l'enseignement avec comme conséquences:

- Cours très théoriques, peu interactifs ou axés sur la pratique;
- Méthodes d'enseignement inadéquates (approche magistrale au lieu de pratique guidée);

- Difficulté à adapter les contenus aux niveaux des élèves;
- Faible motivation des élèves face à un enseignement peu engageant;
- Taux d'échec élevé et mauvaise perception du cours d'informatique;

Les résultats sur les manuels ou les supports informatiques, nos résultats ont révélé que 94,3% d'écoles ne disposent pas des manuels ou des supports en informatique dans les écoles secondaires du Territoire de Tshilenge.

Cette carence entraîne un enseignement aléatoire, dépendant de la compétence individuelle de l'enseignant et pourrait être attribuée à certains facteurs notamment:

- Manque de politique d'édition et de distribution ciblée des manuels TIC pour les écoles rurales.
- Coût élevé des manuels spécialisés, souvent importés ou non adaptés aux réalités locales;

Informatique étant un cours transversal depuis le secondaire et à l'Université. Son importance dépasse tout entendement. Grande importance.

- Absence de programmes nationaux officiels et standardisés, ce qui limite la production de supports didactiques agréés;
- Faible appui du gouvernement ou des partenaires à la dotation en ressources pédagogiques numériques;
- Priorisation d'autres matières dites « classiques » dans l'allocation des manuels.
- L'absence de manuels scolaires en informatique dans la majorité des écoles rurales constitue un frein structurel majeur à l'intégration des TIC. Les de DEA en RDC et les travaux internationaux s'accordent à dire que sans supports pédagogiques normalisés, ni les enseignants ni les élèves ne peuvent suivre un programme cohérent et progressif. Cela renforce le besoin d'une politique nationale d'élaboration et de distribution de manuels TIC adaptés au contexte local. Ce qui engendre un impact négatif dans l'intégration des TIC avec comme conséquences.
- Cours peu structurés, car sans manuel de référence, les enseignants improvisent ou utilisent des ressources inadaptées;
- ✓ Difficulté pour les élèves de réviser ou approfondir les notions vues en classe;
- ✓ Décrochage ou faible performance en informatique, faute de suivi individuel via des supports écrits;
- ✓ Faible pérennisation des acquis, les élèves ne disposent d'aucun outil d'auto-apprentissage.

Nos résultats sont similaires à ceux trouvés par [35] en RDC qui affirme que 93 % des écoles rurales du Nord-Kivu ne possèdent aucun manuel en TIC.

De même [22] en RDC démontre que l'absence de manuels crée un déséquilibre entre théorie et pratique, avec un apprentissage non homogène d'une école à l'autre.

[34] au Maroc note que dans 78 % des écoles rurales, les manuels informatiques sont quasi inexistantes. Les enseignants se basent sur des photocopies personnelles ou des notes.

[8] souligne qu'en Afrique de L'Ouest et du Centre l'absence de manuels ralentit l'introduction d'une pédagogie numérique.

[37] au Brésil révèle que la dotation en manuels et guides pratiques a fortement amélioré la compréhension des TIC chez les élèves.

[45] au Maroc: montre que dans les régions rurales, les écoles disposant de manuels adaptés ont vu les résultats scolaires TIC augmenter de 27 %.

Concernant le suivi des Enseignants de cours d'informatique, nos résultats obtenus ont révélé que 90,6% chefs d'établissement affirment n'avoir pas assisté ou suivi les enseignants lors de leurs prestations des leçons d'informatique dans le Territoire de Tshilenge. Cette situation pourrait être attribuée à des nombreux facteurs (Manque de ressources humaines et matérielles pour effectuer un suivi régulier (insuffisance de personnel encadrant, absence de formateurs TIC, Faible formation et sensibilisation des chefs d'établissement sur l'importance du suivi pédagogique en TIC, Charge administrative et gestion globale de l'établissement qui laisse peu de temps aux chefs pour superviser les cours spécifiques; Absence d'une politique claire ou d'un cadre institutionnel imposant un suivi systématique des cours TIC, Infrastructures TIC souvent insuffisantes ou en panne, rendant le suivi difficile ou peu pertinent, Faible valorisation du rôle du suivi dans les pratiques pédagogiques locales) et impact négativement l'intégration des TIC avec comme conséquences:

- Difficulté à corriger les mauvaises pratiques pédagogiques, avec un risque de baisse de la motivation et de l'efficacité des enseignants;
- Peu d'accompagnement pour la mise à jour des méthodes didactiques notamment en contexte rural.

- Baisse de la qualité des apprentissages TIC, car l'absence de contrôle réduit la responsabilisation des enseignants;
- Ralentissement général de l'intégration des TIC, car la gestion pédagogique ne suit pas l'évolution rapide des technologies;
- Manque d'évaluation de la qualité de l'enseignement TIC ce qui empêche d'identifier les lacunes et besoins en formation des enseignants;
- Démotivation des enseignants et des élèves, ce qui nuit à la réussite des formations en informatique.

Le faible taux de suivi des enseignants lors des cours d'informatique (9,4 %) constitue un obstacle majeur à l'intégration réussie des TIC en milieu rural. Certains travaux de recherche montrent que sans encadrement pédagogique régulier, la qualité de l'enseignement TIC se dégrade, freinant l'adoption effective des technologies dans les écoles. Il est donc crucial d'instaurer des mécanismes institutionnels et de formation qui valorisent et facilitent le suivi pédagogique des cours d'informatique.

Nos résultats vont dans le même sens que ceux trouvés par:

- [2] en Inde, dans les écoles rurales où le suivi est régulier, la qualité de l'enseignement TIC est nettement meilleure, avec un impact positif sur la motivation des enseignants;
- [20] au Brésil montre que la supervision active des enseignants favorise l'intégration efficace des TIC dans les programmes scolaires;
- [11] en RDC souligne que 85 % des chefs d'établissements en milieu rural ne font pas de suivi régulier des cours TIC.
- [5] en RDC note que sans suivi, les enseignants adoptent souvent des méthodes traditionnelles, ne tirant pas parti des outils TIC disponibles;
- [42] au Mali relève un constat similaire où le manque de suivi affaiblit la qualité de l'enseignement informatique, freinant ainsi l'appropriation des TIC par les élèves;
- [1] au Sénégal insiste sur l'importance du rôle de l'encadrement pédagogique pour dynamiser l'usage des TIC en milieu rural.

Sur l'état de lieu des matériels informatiques, nos résultats obtenus démontrent que 97,2% d'écoles ne disponibilisent pas des matériels informatiques dans à travers le Territoire de Tshilenge. Cette situation pourrait résulter de:

- Contraintes budgétaires sévères: Les établissements ruraux disposent généralement de faibles ressources financières, limitant l'achat et l'entretien du matériel TIC;
- Manque de politique nationale claire et de soutien financier spécifique à l'équipement des écoles rurales en TIC;
- Difficultés logistiques liées à l'acheminement et à la maintenance des équipements dans les zones rurales éloignées;
- Absence d'une gestion efficace des ressources existantes, conduisant à une mauvaise distribution ou à la dégradation rapide du matériel;
- Priorisation insuffisante des TIC par les autorités éducatives locales, focalisées sur d'autres besoins plus immédiats (infrastructures de base, personnel);
- Faible sensibilisation des acteurs scolaires sur l'importance de l'équipement TIC dans l'amélioration de la qualité de l'enseignement.

Ceci empêche une intégration réussie des TIC dans le système éducatif avec comme conséquence:

Difficulté à rendre les cours interactifs et pratiques, limitant l'engagement des élèves et l'efficacité de l'apprentissage.

Certaines études scientifiques confirment que sans équipement adéquat, l'enseignement de l'informatique reste largement théorique, limitant les bénéfices pédagogiques et la réduction de la fracture numérique. Il est urgent que les politiques éducatives locales et nationales priorisent l'investissement dans les équipements TIC, spécialement pour les écoles rurales.

Nos résultats obtenus concordent avec ceux trouvés par:

- [9] en RDC indique que plus de 90 % des écoles rurales manquent de matériel informatique adéquat.
- [39] en RDC souligne que l'absence d'équipement freine considérablement l'intégration des TIC, car les enseignants ne peuvent pas effectuer de séances pratiques;
- [43] au Mali met en avant des problèmes similaires, où le manque d'équipement dans les écoles rurales limite l'accès des élèves à l'apprentissage pratique des TIC;
- [44] au Sénégal montre que les politiques nationales ne ciblent pas suffisamment les infrastructures rurales, accentuant la fracture numérique;
- [19] au Brésil rapporte que dans les écoles rurales sans équipement suffisant, l'intégration des TIC reste largement théorique, avec peu d'impact sur les résultats scolaires;

- [18] en Inde, recommande des investissements ciblés dans le matériel pour faciliter une intégration réelle et efficace des TIC dans les zones rurales.

Concernant les défis didacticiels, nos résultats obtenus révèlent que 84,0% d'écoles prouvent des difficultés en méthodes pédagogiques et en matériels didactiques dans le Territoire de Tshilenge. Cette situation pourrait s'expliquer par certains facteurs notamment:

- Insuffisance des ressources matérielles: manque de matériel informatique adapté (ordinateurs, logiciels, supports pédagogiques) dans les écoles rurales;
- Manque de financement ciblé pour l'achat, la maintenance et le renouvellement des matériels didactiques;
- Absence de formation pédagogique adaptée aux TIC pour les enseignants, ce qui complique l'utilisation efficace des méthodes didactiques modernes;
- Méthodes d'enseignement traditionnelles encore dominantes, peu interactives, et peu adaptées à l'intégration des TIC;
- Manque de supports pédagogiques numériques actualisés et adaptés au contexte local (langue, niveau des élèves);
- Faible accompagnement pédagogique et encadrement des enseignants, ce qui limite l'innovation pédagogique autour des TIC.

Ceci impact négativement l'intégration des TIC avec comme conséquence:

- Difficulté à rendre les cours interactifs et pratiques, limitant l'engagement des élèves et l'efficacité de l'apprentissage.
- La domination des méthodes traditionnelles et le manque de matériels pédagogiques adaptés, couplés à une insuffisance de formation des enseignants, freinent la pleine utilisation des TIC. Pour progresser, il est crucial d'investir non seulement dans les équipements, mais aussi dans la formation pédagogique et la mise en place de méthodes d'enseignement innovantes.
- Découragement des enseignants face à l'absence de ressources adéquates et à la complexité d'adapter leurs méthodes;
- Faible acquisition des compétences TIC chez les élèves, qui restent souvent dans une approche théorique sans pratique suffisante;
- Maintien d'une fracture pédagogique entre zones rurales et urbaines, les écoles rurales étant pénalisées par des méthodes et outils obsolètes;
- Réduction de la qualité globale de l'enseignement de l'informatique, impactant la motivation et les résultats scolaires.
- Nos résultats vont dans le même sens que ceux révélés par:
- [40] au Vietnam met en avant que l'absence de formation continue et l'inadéquation des méthodes freinent l'intégration réelle des TIC dans les écoles rurales;
- [7] insistent sur l'importance des méthodes pédagogiques innovantes (apprentissage actif, collaboratif) pour une intégration réussie des TIC;
- [36] note que l'équipement seul ne suffit pas; l'innovation pédagogique et la formation des enseignants sont déterminantes;
- [16] en RDC souligne que l'absence de matériel et la persistance des méthodes expositives traditionnelles freinent l'intégration efficace des TIC.
- [10] en RDC indique que les enseignants ruraux manquent de ressources pédagogiques adaptées, ce qui les empêche d'exploiter pleinement les TIC.
- [4] en RDC met en évidence que les contraintes financières limitent l'accès aux matériels didactiques modernes, et que la formation pédagogique est insuffisante;
- [4] en RDC révèle que le principal défi réside dans l'adaptation des méthodes pédagogiques aux TIC, plus que dans la simple disponibilité du matériel.

5 CONCLUSION ET PERSPECTIVE

Notre recherche menée dans la contrée rurale de Territoire de Tshilenge dans une période allant du 15/03 au 15/05/2024, portée sur « diagnostic de l'intégration des TIC dans les écoles secondaires en milieu rural; analyse de l'existant, défis et perspectives dans le territoire de Tshilenge » et s'est assigné l'objectif de parvenir à identifier les défis majeurs de l'intégration de TIC dans les écoles secondaires de Territoire de Tshilenge.

Pour ce faire, nous avons utilisé la méthode d'enquête combinée aux techniques: Interview, Dialogue, Observation participatives et Analyse Documentaire.

Les différentes données ont été recueillies au moyen d'un questionnaire (voir Annexe)

S'agissant de l'analyse des données, nous avons fait recours au test de Chi-carré effectué au seuil de probabilité de 5% à l'aide du logiciel SPSS.

Les résultats émanant des enquêtes ont révélé les défis majeurs qui freinent l'intégration des TIC dans les écoles secondaires du Territoire de Tshilenge au niveau des Chefs d'établissements, Enseignants et Elèves.

Dans le souci d'améliorer l'intégration durable et réussie des TIC dans les écoles secondaires du milieu rural de Territoire de Tshilenge, nous dégagons les perspectives suivantes: Les recommandations/suggestions associées à chaque question posée, dans l'objectif d'améliorer l'intégration des TIC dans les écoles secondaires en milieu rural, notamment dans un contexte comme celui du territoire de Tshilenge

Aux chefs d'établissements nous recommandons ce qui suit:

- Mettre en place une politique de suivi régulier des leçons du cours d'informatique;
- Impliquer les élèves dans l'évaluation continue et la construction des cours;
- Valoriser l'expérience mais accompagner les plus anciens avec des mises à jour techno pédagogiques.
- Encourager le mentorat entre anciens et nouveaux enseignants.
- Organiser des formations continues en didactique spécialisée de l'informatique.
- Distribuer à tous les enseignants une copie du programme officiel, avec une version numérique si possible.
- Encourager l'usage de méthodes interactives et basées sur des cas pratiques, en lien avec les réalités des élèves.
- Favoriser les approches actives (TP, projets, études de cas).
- Favoriser l'accès aux ordinateurs à l'école avec possibilité de pratique encadrée en dehors des cours.
- Améliorer l'accès aux salles informatiques scolaires.
- Mettre en place un système de remontée des difficultés (fiches, rapport mensuel) pour des réponses rapides.
- Offrir du soutien pédagogique et matériel aux enseignants.
- Utiliser des outils d'évaluation variés (tests pratiques, projets, portfolios numériques).
- Élaborer des outils d'évaluation pratiques, formatifs et continus.
- Éviter les ruptures dans l'enseignement informatique par une planification annuelle obligatoire.
- Assurer la disponibilité d'un emploi du temps fixe pour l'informatique.
- Ajouter des heures de remédiation ou de pratique libre pour les élèves en difficulté.

REFERENCES

- [1] Amadou Tidiane Diallo et Lamine Ousmane Cassé (2018): Usage des TICE en didactique de la géographie dans le cycle secondaire de l'académie de sedhiou (Sénégal).
- [2] Anjali Sharma (2024): L'éducation en Inde entre tradition et modernité.
- [3] Bertrand D. (2015): Cellule d'Analyses des Indicateurs de Développement (CAID) Résidence FikHuss, 65, Boulevard Tshatshi, Kinshasa / Gombe. 32 p.
- [4] Bila Menda Philippe (2025): Usage Des Matériels Didactiques Dans La Situation D'Enseignement-Apprentissage Dans La Ville Province De Kinshasa: Approche Descriptive Des Difficultés Scolaires.
- [5] Christian Ntacobasima Cokola (2018): L'intégration des technologies de l'information et de la communication (TIC) par les établissements d'enseignement primaire et secondaire œuvrant dans les groupements de Mudaka et de Miti au Sud-Kivu.
- [6] Cyrile Moukoko Kibamba (2020): L'intégration pédagogique des tics: quels enseignements tirer après la pandémie de covid-19 ?.
- [7] D. Randy Garrison & Heather Kanuka (2004): Blended learning: Uncovering its transformative potential in higher education.
- [8] Djeneba Traore (2006) les TIC et éducation en Afrique de l'Ouest et du centre défis, contraintes et perspectives d'une intégration amorcée.
- [9] Ezéchiel Mumberé Sabai (2020): Technologie de l'Information et de Communication (TIC) en RDC.
- [10] Héritier Nsenge Mpia (2020): Des griefs de l'échec de l'enseignement de l'informatique dans des universités de la RDC: Enjeux socio-didactiques de la crise.
- [11] Jacqueline Mupindi Esungundi et Corneille Luboya Tshionza (2025): Rôles des chefs d'établissement dans la gestion des écoles secondaires conventionnées catholiques de la sous-coordination de mont-amba à Kinshasa.
- [12] Jordy Panza et Brozeck Kandolo (2024): L'histoire du numérique et ses défis réglementaires en République démocratique du Congo.
- [13] Juan Francisco Álvarez (2020): Evolution de la perception del docente de secundaria español sobre la formación en TIC.

- [14] Kabiena Kabasele Emmanuel (2021) dématérialisation et fraude numérique des documents dans le secteur de l'enseignement supérieur et universitaire en rdc: enjeux et contraintes des tic.
- [15] Karsenti T (2016): De l'importance de l'intégration pédagogique des technologies de l'information et de la communication (TIC) par les enseignants, du secondaire.
- [16] Kikuati Claude Ntotila (2019): les TICE et changement des pratiques enseignantes en Afrique.
- [17] Lima (2016): L'enseignement basique au Brésil et l'usage du numérique. Le cas d'une ville de l'État de São Paulo.
- [18] Marie Khater (2023): Le secteur des télécommunications et de l'internet en Inde.
- [19] Martinez (2018): Enseignement basique au Brésil et usage du numérique.
- [20] Martinez (2019): L'intelligence artificielle (IA) en comptabilité et audit: une revue de la littérature.
- [21] Marcelline Djeumeni Tchamabe (2010): L'impact des TIC sur les apprentissages scolaires des jeunes filles en Afrique: les cas des Centres de Ressources Multimédia de deux Lycées publics du Cameroun.
- [22] Masakale Iyabe Christelle (2018): Réseaux numériques et démocratie en rdc. Regard sur les usages sociopolitiques des réseaux numériques entre 2015-2018.
- [23] Mbemba Ndiaye (2015): Les TIC dans le milieu éducatif sénégalais: apports d'une analyse centrée sur les interrelations entre l'imaginaire sociotechnique, l'appropriation et les détournements d'usages.
- [24] Mohammed Mastafi, Abdelouahad Mabrou (2019): Les TIC pour l'enseignement/apprentissage: perception des enseignants de l'enseignement primaire et secondaire.
- [25] Mugisho (2021): Transformations technologiques et régimes de travail dans l'EMAPE au Sud-Kivu, RDC.
- [26] Neil Selwyn, Selena Nemorin, Scott Bulfin & Nicolajohnson (2016): *Toward a digital sociology of school.*
- [27] Patricia Bessaoud-Alonso (2016): L'enseignement basique au Brésil et l'usage du numérique. Le cas d'une ville de l'État de São Paulo *frantice.net*, numéro 12-13, décembre 2016.
- [28] Piron et Devos (1960): Codes et lois du Congo belge. Tome II. Organisation administrative et judiciaire. Mis à jour au 31 janvier 1960.
- [29] Prince Baroani Kambala (2018): Les technologies de l'information et de la communication comme moteur du marketing digital.
- [30] Simon Pettersen Nguyen et Masoud Hussein Mahundi (2019): *The dynamics of national ICT ecosystems.*
- [31] Sissoko (2014): Le système éducatif malien a sacrifié la formation de l'élite.
- [32] Traoré et Sekou Kamano (2020): Mémoire de master, Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako, Bamako. <https://www.bibliosante.ml/handle/123456789/6227>.
- [33] Traoré, Sekou Kamano et Tiranke Touré (2023): L'innovation technologique face aux défis du terrain dans le contexte africain: le cas de l'institut supérieur de formation à distance-*isfad* en guinée.
- [34] Von Diallo, Abdoul (2020): Étude du processus de construction des usages pédagogiques des TIC chez des instituteurs sénégalais.
- [35] Zakaria Nejjari (2021): L'utilisation des TIC (technologies de l'information et de la communication) dans l'enseignement et l'apprentissage: avantages, défis et problèmes.

