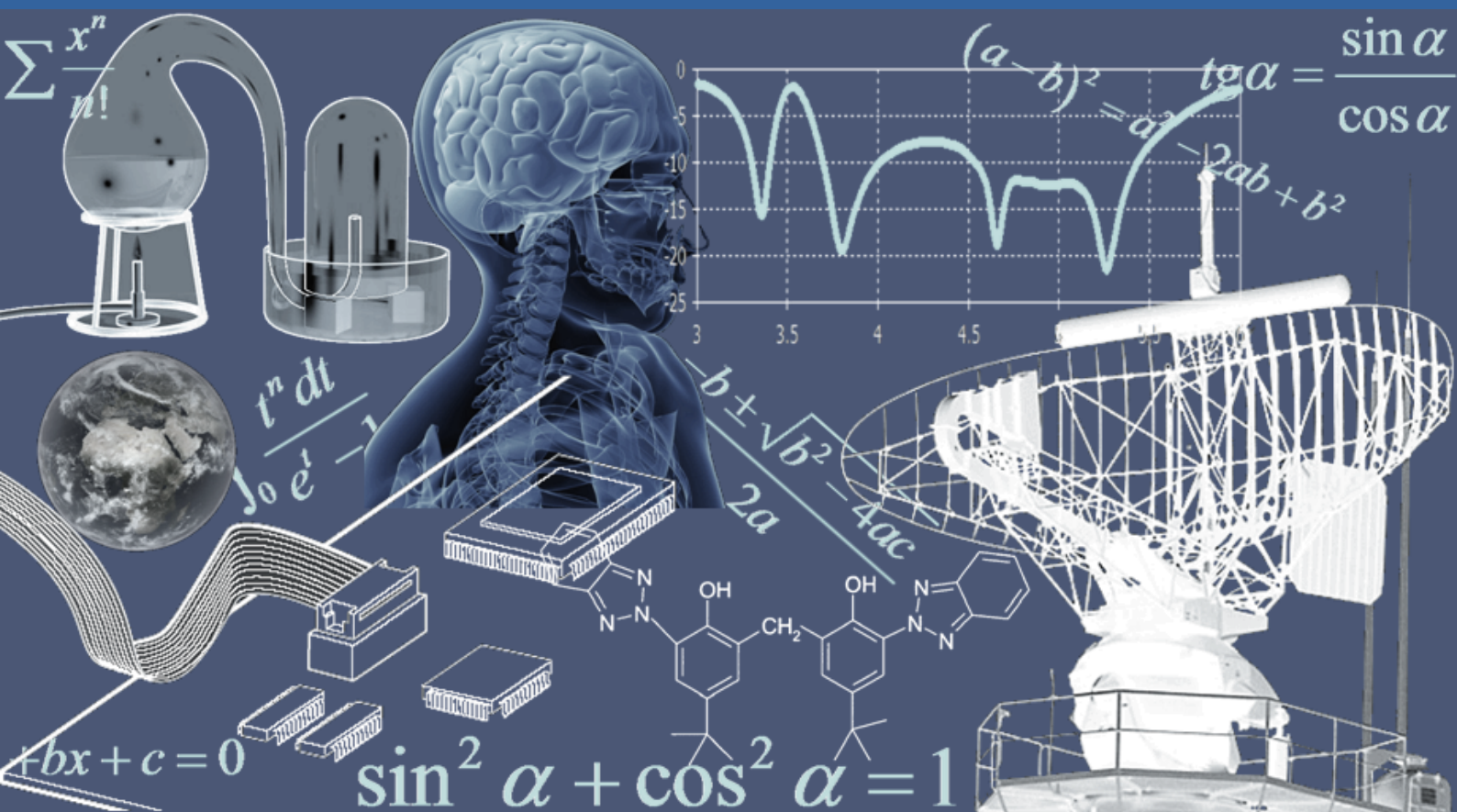


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 45 N. 1 March 2025



International Peer Reviewed Monthly Journal



International Journal of Innovation and Applied Studies

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

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

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

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

Editorial Advisory Board

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

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

Table of Contents

The citizen at the center of health decisions: From shared decision-making to the co-creation of new digital solutions	1-10
<i><u>Hernâni Oliveira and Helena Lima</u></i>	
Contribution de la cartographie du régalithe dans la connaissance de la géologie de la zone nord de Bouaflé (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire)	11-25
<i><u>Gnagnon Raymond Stephane Koffi, Kouassi Brice Roland, Kouadio David Koffi, Teha Raoul Koffi, and Brou Koffi Joseph</u></i>	
Effets de la pré-exposition au soleil et du pré-traitement au froid sur les différents stades de développement de <i>Callosobruchus Maculatus</i> (Coleoptera-Chrysomelidae)	26-34
<i><u>Mahamadou Amadou Nafissatou, Toufique MARIAMA, Chaibou Rabi, and Ali Doumma</u></i>	
Evaluation of coccidiosis impact on the productivity of <i>Numida meleagris</i> guinea fowl farms in northern Côte d'Ivoire	35-42
<i><u>Jean Noel Yapi, Soro Ouaton Souleymane, Coulibaly Assetou Ya, Wadjé Jérôme N'Glouan, and Yahaya Karamoko</u></i>	
La représentation du travail comme peine dans le cinéma de Hakim Belabbes	43-55
<i><u>Khalid HAKIM</u></i>	
Physico-mechanical characterisation of the composite of clay and grown typha fiber	56-67
<i><u>Djiby COULIBALY, Oumar Diallo, Youssou TRAORE, Mouhamed DIOUF, Harouna Mamadou Bal, and Salif Gaye</u></i>	
Utilisation des méthodes contraceptives modernes chez les étudiantes: Connaissances, attitudes, pratique et déterminants dans deux facultés de l'Université de Lubumbashi (RD Congo)	68-82
<i><u>Vinie Mwanza Numbi, Berthe Tshikala Kosa, Rosalie Mugoli Kalimira, Didier Chuy Kalombola, and and Abdon Wa Mukalay Mukalay</u></i>	
Etude de la productivité des systèmes de culture du maïs et l'approche SIG dans le département de Dikodougou en Côte d'Ivoire	83-95
<i><u>Ouattara Bakary, Touré Adama, Assi Kopeh Jean-Louis, and Assi-Kaudjhis Joseph Pierre</u></i>	
Prise en compte du gradient de contrainte dans le critère d'approche statistique (méthode de variance)	96-107
<i><u>Mbayelkom Esdras, E. Ngargueuedjim Kimtangar, Annouar Djidda Mahamat, Tikri Bianzeube, B. Kenmeugne, and Fogue Médard</u></i>	
Diversité floristique de la périphérie ouest de la forêt classée de Badénou (Korhogo, Côte d'Ivoire)	108-117
<i><u>KONE Dofoungo, Pagny Franck Placide Junior, Coulibaly Siendou, and WANDAN Eboua Narcisse</u></i>	
Relation entre les fronts redox et la minéralisation en contexte «Ouest flexure» (Bassin de Tim Mersoï, Nord Niger)	118-130
<i><u>Sani Abdoulwahid, Mahamane Moustapha Sanda Chékaraou, Karimou Dia Hantchi, and Moussa Konaté</u></i>	
Capacité de charge des pâturages et qualité des espèces fourragères appréciées par les bovins Lagunaires dans les savanes sub-humides du Bénin	131-141
<i><u>Bossima Ivan Koura, Sènouwa Léopold Guidimé, Elie Sonon, and Boya André Aboh</u></i>	
Real Profiles of the Temperature and the Photovoltaic Parameters in an Uncooled Silicon PV cell Submitted to an Increasing Light Concentration	142-152
<i><u>Idrissa Sourabie, Mahamadi Savadogo, Amadou Konfe, Assane Diouf, Lamine Zida, Issa Zerbo, and Martial Zoungana</u></i>	
Caractérisation de la chaîne de valeur bétail sur pied au marché autogéré de Bermo	153-162
<i><u>ADAM Mamadou, MAMN Garba, AMADOU Djafarou, and MAHAMAN Sabiou</u></i>	
Commercialisation de la viande rouge dans la communauté urbaine de Niamey (Niger)	163-176
<i><u>M. Bahari Amadou Abdoulaye, Djibo Ibrahim, and Abdoul Aziz Maman Lawal</u></i>	
Déploiement d'un réseau des brouilleurs des fréquences au sein d'une maison carcérale: Cas de la prison centrale de Makala dans la ville de Kinshasa	177-182
<i><u>Kondatata Mbambu Jordan, Makengo Imbanzia Josué, Mansinsa Matuetimona Bergelin, Katana Vinny Ben, and Mondedi Akonza Exaucé</u></i>	
Characterization of forest ecosystems in the Agropole of the Kara River basin in northern Togo (West Africa)	183-196
<i><u>Atsu K. Dogheda HLOVOR, Kossi ADJONOU, Katché Komlanvi AKOETE, Fifonsi Ayélé DANGBO, Kossi SEGLA, and Kokou Kouami</u></i>	
Effets des biopesticides à base de la poudre d'amande du neem et des fruits du piment sur les insectes ravageurs du niébé (<i>Vigna unguiculata</i> (L.) Walp)	197-205

<i>Hayyo Halilou, Aboubacar Kadri, Hame Abdou Kadi Kadi, and Hadja Amgare Aboubacar</i>	
Projection pluviométrique de la région du centre-ouest sur la période 2000 à 2100	206-214
<i>Mahamadi Zoundi, Joachim BONKOUNGOU, Yamba Boubacar, Yahaya DIENE, Samandoulougou Abdoul-Razaac Wilfried, Malick Drabo, and Samandoulougou P. Hyacinthe Browson</i>	
Influence de déchets organiques solides de ferme sur la productivité de l'aubergine en milieu urbain sur sol limono-sableux	215-223
<i>Yéhoua Firmin Kouassi, Monaille Cannelle Séa, Tamia Joséphine Ama-Abina, and Yao Alexis N'GO</i>	
Etude du comportement des ondes acoustiques émises par des sources omnidirectives et directives	224-232
<i>KISOKI MBUNGA Henri</i>	
Etude comparative des collecteurs (T3Y, AERO MX5149, FLOMIN C7160 et du mélange KAX/MIXTURE RINKALORE10) sur les performances de la flottation du minerai du REMBLAI R022 de KZC	233-256
<i>Kyungu Lukomba Demers, Kaij Kanz Ntet Tony, Mwenge Kahinda Jhon, Mucaïl A. Mucaïl Teddy, Kashala Kapalola Jean Luc, Mutala Kabimbi Martin, and Kumwimba Masengo Clarisse</i>	
Effets de la vulnérabilité des transhumants face au changement climatique sur leur moyens d'existence en Afrique de l'Ouest: Cas du Nord-Bénin	257-269
<i>Janvier Egah, Milka Grâce Djakpa, Marcel Dato, and Néhémie Kotobiodjo</i>	
Apport de l'éclairage naturel par tube solaire dans une pièce aveugle	270-278
<i>Sibiath O. G. OSSENI, Didier Berléo M. APOVO, Zoulkifirou Sambo Mama, Alida Kpoviessi, and Aristide C. Houngan</i>	
Analyse linéamentaire et structurale des déformations affectant les formations d'âge paléocène à miocène de la partie sud du sous-bassin de l'Ader Doutchi	279-300
<i>Aminou A. Maâzou, Assoumane Tsayabou, Habsatou Ousmane, Aguede Komi, and Moussa Konaté</i>	

The citizen at the center of health decisions: From shared decision-making to the co-creation of new digital solutions

Hernâni Oliveira¹⁻³ and Helena Lima²⁻³

¹Management Department, School of Social Sciences, University of Évora, Évora, Portugal

²Faculty of Arts and Humanities, University of Porto, Porto, Portugal

³CITCEM - Transdisciplinary Research Center for Culture, Space and Memory, Porto, Portugal

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

ABSTRACT: The 21st century has been seen as the time of citizen-centered care, with efforts by the World Health Organization (WHO) going towards ensuring that health systems reverse the excessive and exclusively biometric orientation of recent decades. This reorganization of the paradigm requires that patient-centered care be a key dimension of quality in health, creating contexts that value cooperation between citizens and systems. In this relationship, the patient can no longer be seen as inactive, but rather as an element that can influence the entire process linked to medical care. In this paper, we explore the relevance of citizen engagement from a broad and integrative perspective. We begin this reflection with a discussion on the assumptions of Shared Decision-Making in Health that are being implemented in Portugal. Given its relevance, we expand this analysis to justify how citizen involvement is also highly relevant for the development of new information technologies. In this last point, we very briefly present PLAY-THE-ODDS, a project to co-create a communication tool between parents and children about hereditary cancer syndromes.

KEYWORDS: health, shared-decision making, ehealth, digital divide, co-creation.

1 INTRODUCTION

Although Patient-Centered Medicine is already a widely accepted reality, its implementation still lacks effective coordination with integrated health systems [1], [2]. This greater articulation is essential to ensure complete coverage of systems and an increase in citizens' quality of life [1]. In the context of current societal challenges in the world, the European Union has debated the need to take concrete action, developing greater research applied to action, with integrated health management models that involve the population [3].

In the same sense, in 2015, the WHO launched a guideline that demonstrates the impact of including individuals in health systems and the functioning of these systems in integration. In this document, the entity proposes the implementation of five strategies that are the basis for greater involvement between different health agents [4].

The first strategy is related to the empowerment and training not only of the citizen, but also of their family and other caregivers. This recommendation relates to the impact of the level of health literacy on the individual's experience as a patient, the cost associated with the use of health services, and the general health status of the citizen [4]. The second strategy is related to strengthening governance and transparency, especially on topics related to community engagement and increasing participation in health. The third strategy proposed by the WHO is related to the reorientation of the health care model. For the entity, local, regional and national health organizations must work together with communities to propose services, and debate how and where these should be distributed. The fourth strategy is related to service coordination. One of the main objectives portrayed here is the delivery of quality services, based on the correct mapping of health organizations, increasing

the synergy between them and the citizen. Finally, the last strategy proposed proposes the creation and support of ecosystems that can promote the first four indications, so that there is real integration of health services and citizen involvement [4].

One of the barriers identified for the implementation of these strategies has been the “polymorphic nature” of health care and related institutions, continuing to discuss the definition of Patient-Centered Medicine [4]. Still, the various definitions in the literature seem to find themselves in the need to go beyond the characterization of the epidemiological profiles of the population, integrating holistic perspectives that incorporate individual needs and community proposals [5]. Shaw et al. [6] state that patient-focused healthcare implies the inclusion of citizen perspectives as the center of any decision, influencing the way in which the principles and visions of organizations are founded. Goodwin [5] describes integrated health care as “an approach to strengthening patient-centered health systems by promoting services that are designed to be implemented across the life cycle.” Based on WHO strategies, this author also mentions that, at the base of these services, there must be “a coordinated multidisciplinary team to respond in different contexts and levels of care” [5]. Despite the recommendations, health systems and related institutions are among the most complex and interdependent entities in society, so that their full organization is difficult to achieve [7].

Without integration and organization at multiple levels, from primary care to hospital follow-up outside clinical settings, there are several aspects of health care that can compromise the health experience: patients may feel lost; necessary services may be delayed or even fail; patient satisfaction declines; and there may also be a reduction in the cost-benefit ratio [8].

2 THE PATIENT’S PERSPECTIVE AND SHARED DECISION-MAKING IN HEALTHCARE

It is from the Ottawa Charter and the Health Promotion movement [9] that Public Health practices acquired a more robust and assertive theoretical body to work on the “centrality of the citizen”. According to the provisions, citizens must assume responsibility for ensuring the defense of their individual and collective health, through access, internalization and translation of important information. This will make it possible to change your less healthy behaviors, creating conditions to manage the onset of the disease.

To operationalize these concepts, the role of the National Health System among citizens has been reinforced in Portugal, through initiatives that seek to increase their participation and promote trust in the health care provided. These participation mechanisms were based on several concrete projects: the creation of an observatory to work on the effective use of health services, offering greater levels of satisfaction with the effective involvement of citizens; doctor-user communication channels were increased, with the creation of direct electronic lines for family doctors; complaints and claims became easier to present with institutionally formalized procedures; several mixed advisory boards were created, which, integrating users, health professionals and politicians, allowed the development of policies to support the management of health centers and hospitals [10]; and, to assess user satisfaction, several studies were carried out at health centers and family health units, contact points close to the population [11], [12].

Despite the initiatives taken to involve users, the European Observatory on Health Policies and Systems warns that citizen participation in health still “remains confined to the legislative references and intentions announced in the official documents and directives launched” [13]. This is also a problem reported by various Portuguese governments, and highlighted in the 2004-2010 National Health Plan. In fact, although legislation has promoted the activation of formal mechanisms for citizen participation in the SNS, in practice, the implementation of these mechanisms has fallen short of expectations [14].

In 2014, the Calouste Gulbenkian Foundation developed, with the support of the Portuguese Government, the theoretical foundations to implement a vision for healthcare in Portugal over the next 25 years. The report “A Future for Health” describes the relevance of working on the implementation and sustainability of multidisciplinary projects, characterized by citizen empowerment. Based on the active participation of society in cross-cutting aspects of health, seeking continuous improvement in quality and effectiveness, this vision calls for the development of a new pact for health [15]. This vision coincides, in fact, with the purposes of the WHO, which recommends that reforms implemented in the health sector be centered on the needs and expectations of citizens. The design, organization and functioning of health services must echo the voice of citizens, allowing the promotion of a more participatory democracy, as well as increased trust in decision-making and organizational structures related to health [16].

This is a perspective that consolidates health policy as a social policy, and assumes it as one of the rights inherent to the condition of the citizen and his participation [17]. The WHO proposes a complex and delicate construction around the concept of “citizen-centered health”, which requires concrete measures to be applied at three levels: institutional, labor and individual. At the institutional level, this involves breaking down barriers in the system and transforming it so that it becomes more open, transparent and receptive to citizens, encouraging proximity and interaction. The work level applies to health professionals and the strengthening of their responsibility in transmitting information and knowledge, as an integral part of their routine

functions. The last level, the individual, is completely focused on citizens and the need to have a more proactive and interventionist attitude, in terms of the objectives of maintaining good individual and community health [18].

Some authors draw attention to the difficulty in defining the concept of “patient-centered health care” [19]. This lack of consensus can lead to the implementation of different directives, different forms of organization and management, and weaken the sustainability and implementation of network measures. For this reason, the definition of the International Alliance of Patients’ Organization (IAPO) was chosen by the European Observatory of the World Health Organization to be the definition adopted for European countries. This definition states that patient-centered healthcare is an integrative and patient-conscious approach to multiple dimensions of health. This integration respects the values, preferences and needs expressed by the citizen regarding integration in care, access to information, communication and support for education. It is also important for physical comfort, help and emotional support, creating points for the involvement of family and friends, and support in the transition and continuity of health [20].

One of the bases for enabling citizen involvement in health, and enabling care to be centered on their needs, is through decision-making related to prevention, treatment and management in relation to a disease [21]. According to Elwyn [21] and O’Connor et al. [22], the sharing of health decisions between doctors and users, as opposed to clinical decision-making made solely by the health professional for his/her patient, is gaining great importance in the way health is regulated. The development of strategies to increase clinical dialogue between physician and patient has had an impact on the literature published in the health field [23]. Within this, Shared Decision Making in Health has figured as a pillar of patient-centered healthcare. Thus, patient participation in decision-making, programming, planning and execution of care has been identified as an added value for health outcomes, increasing the effectiveness of the procedures involved [24], [25].

Florin [26] states that looking at the patient as an integral part of the team has allowed for an increase in the window of opportunities related to the valorization of health, and that Shared Decision Making in Health can be an indicator of excellence for the quality of care provided. A systematic review that studied more than eight dozen randomized studies points to the success of Shared Decision Making in Health in terms of patients’ health knowledge, confidence in their decisions, as well as the level of patient commitment. The study also showed that more informed patients choose more conservative treatment options [27].

3 CITIZEN INVOLVEMENT IN THE CO-CREATION OF NEW TECHNOLOGICAL TOOLS FOR HEALTH

Adaptation to meet the strategies launched by the WHO has guaranteed new models of action, such as co-creation or co-production models in health [28]. In this type of model, the individual is recognized as an active element in the process of developing health activities, co-producing action plans that promote better care, but also enhance their learning and self-management mechanisms [29].

The use of clinical information systems, such as Electronic Health Records, has allowed for greater organization and easier implementation of these co-creation models. With the evolution of the characteristics of these records, and the implementation of personalized record systems, such as Personal Health Information Systems, the inclusion of people as an integral part of the decision-making process will be easier, as shown in the following figure. Respect for individual autonomy and ensuring that the patient’s needs are heard require mechanisms that facilitate communication between the different agents, including the patient. The so-called Individual Care Plans, which are recent information management tools built by the patient and their medical team, can become important platforms for the implementation of co-creation models in a real context [30].

New models have attempted to incorporate information technologies used by citizens into the health care implementation strategy. This attempt to centralize information, creating bridges between the individual’s various sources, is highly complex, but has been identified as the most effective way to ensure good health results and citizen empowerment [31], [32]. For this reason, it is crucial to understand the relationship between the population and the health information technologies they use.

3.1 E-HEALTH: AN OPPORTUNITY TO PROMOTE KNOWLEDGE

According to the literature, e-Health, e-Health or “online health” – “practice of using the Internet and technology associated with telecommunications to provide health information and services” [33] – is presented as a very effective strategy to increase the exposure of a topic such as health to audiences with little contact with the area, increasing the accessibility of information [34]. This concept, according to Espanha [35], is more than the search for information, and may include research into second medical opinions, alternative treatments, and different sources of information. It is an important area in which the entire set of services applied to communication and information technologies intervenes in the health sector [36]. This expands the scope

of e-Health to more than just the use of the Internet, and, quoting Gil and Amaro (2010), “the inclusion of tools for authorities and professionals in the area” of health, for patients and for citizens” [37].

Given the potential of digital tools, this topic becomes closely related to the concept of “informed patient” – as an individual who is aware of his or her health condition, due to extensive research and information sharing on the Internet – used by Shilling [38] and by Henwood et al [39]. Based on an architecture of complementarity, e-Health tools form a cooperation network, allowing to ensure transversal information from different sources, and guaranteeing the development of services that are indispensable for primary health care and current hospital care. From hospital management tools, such as electronic records, to remote medical services, the incorporation of this technology has ensured innovation in products, processes and greater convenience for human beings [40].

As Espanha (2009) also points out, the main role of Health Communication can be divided into three levels: 1. Improving the provision of health services in acute and chronic cases. 2. Promote equity and greater socioeconomic balance between peoples, races, ethnicities and people with different disease histories. 3. Finally, improve Health Prevention and Promotion policies. The aim, as corroborated by Raeve [41], is to allow the storage and analysis of information produced in the health area, anticipating behaviors and improving the effectiveness of indicators for citizens [42]. Evidence shows that the context has and relies on mobile technologies to access the Internet, such as smartphones [43]. Searching for health topics is a common activity among those who have these means of communication. A recent Pew Research Center survey suggested that 62% of individuals who use smartphones have used them to acquire information about a health condition or topic [44].

3.2 E-HEALTH PLATFORMS: MOBILE APPLICATIONS

The rapid adoption of mobile phones and smartphones among populations more likely to have low health literacy is therefore an opportunity to improve access to information tools that can increase health knowledge [45]. e-Health interventions have the potential to be integrative rather than exclusive [46], in that they can simultaneously meet the needs of users with lower levels of literacy and be broadly acceptable to users with adequate levels of literacy in health [47].

Given this opportunity, new health information tools have become widely available, with the exponential development of mobile applications (apps) aimed at, among others, self-management of different diseases, nutrition or physical activity monitoring. Eng & Lee’s research is an example of this: 240 results applicable to the Android platform and close to 600 applications for use on the iPhone were found when entering the term “diabetes” in their respective search engines [44]. Recent reports from the technology industry indicate that the use of mobile fitness and nutrition apps continues to grow in popularity, with more and more people willing to use these tools to help manage their health [49]. Many of these virtual tools are relatively affordable and are compatible with a variety of devices, including tablets, computers, and wearable technology. In this new concept that highlights the potential of communication and information technologies, m-Health is presented as an innovative concept designed for the search for information, and with capabilities to increase access to health services [50].

Many of these virtual tools are relatively affordable and are compatible with a variety of devices, including tablets, computers, and wearable technology. In this new concept that highlights the potential of communication and information technologies, m-Health is presented as an innovative concept designed for the search for information, and with capabilities to increase access to health services [50]. The growth of this market over the past 5 years suggests that health information tools are now available to a wider market, and that they seek to increase citizens’ ability to easily manage health information [48], [51], [52], [53], [54].

3.3 A NEW THREAT OF DIGITAL EXCLUSION

The successful and sustainable transfer of intervention programs into citizens’ personal routines and clinical practice has been inconsistent [55]. The creation of effective interventions of this nature is an opportunity that can easily be lost if the development of these technological tools does not include a strategy to incorporate the needs and preferences of target audiences with lower levels of health literacy [56].

Häyrynen et al argue that as the development of these platforms continues to evolve, the needs and demands of different users must be taken into account [57]. Similarly, Bickmore and PaascheOrlow argue that if organizations, researchers and companies work to reduce barriers related to access and use of this technology, when promoting the development of health information tools they should always have as a “point of reference” the person with the least health knowledge [58].

The struggle to make democratic technological development a reality, increasing the adoption of health information tools by people with disparate self-management capabilities, will make it possible to combat the emergence of a potential “digital

divide". The development of mobile applications or web portals for inserting or consulting health data has another important implication, as it puts citizens' information at risk [58].

The literature indicates that this problem can occur mainly in two ways. First, citizens, by self-perceiving a high ability to access and update their health information, may share information without knowing it or share personal information that they would prefer to keep private. On the other hand, some individuals may be reluctant to admit that they have difficulty using these tools and, not wanting to ask for help, end up making mistakes that can compromise their personal information or choose not to use these tools [58].

Privacy and protection of personal health information vary across information sharing platforms, something that, according to some studies, is not known to most citizens [59]. For example, Electronic Health Records, usually belonging to the national health systems of each country, comply with specific laws implemented in their respective countries. An example often discussed in the literature is the HIPAA Privacy Act of the United States of America, which stipulates "safeguards" and specific rules on how a user's health information is treated and disclosed through specific electronic platforms. These measures help ensure that a patient's health information is not shared indiscriminately to third parties that do not share an agreement with a healthcare organization. These measures were developed to increase the trust and security of these platforms, so that the exchange of information can be carried out by all segments of the population, without any additional problems (Charles et al., 2015). Current regulations have expanded privacy coverage so that some companies are actually responsible for maintaining the privacy of each person's health information. However, we are talking about policies that are limited only to Electronic Health Records managed by health systems. As such, other health information tools, such as the aforementioned mobile applications, are excluded.

Trust is, according to some studies, an important factor in the adoption of new technologies [60]. However, existing security policies may be misinterpreted by citizens, especially those with inadequate health literacy, with a strong possibility of assuming that all health information systems have similar privacy rules and regulations [46].

The degree to which a citizen exhibits trust in institutions that may develop various health information technologies, such as health care organizations, government, information technology companies, and media outlets, may influence the likelihood of adoption of these technologies and may be associated with their level of health literacy [59].

In one of the first studies on the subject, published in late 2016, Mackert et al. showed that US citizens with low health literacy were less likely to use health information tools, such as mobile apps and web portals, or to perceive their usefulness or usability, understanding that what is disclosed on these platforms remains private and confidential. security [46].

4 CITIZEN INVOLVEMENT IN THE CO-CREATION OF NEW TECHNOLOGICAL TOOLS FOR HEALTH: THE PLAY-ODDS PROJECT

About 10% of all cancers may be caused by inherited genetic changes. Hereditary cancer syndromes in families can be identified by genetic testing. A positive test result means that a family member has a higher than average risk of developing certain types of cancer over their lifetime (National Cancer Institute, 2022).

Maintaining open communication over time about Hereditary Cancer Risk (HCR) is crucial for the psychological adjustment of families affected by this condition. However, families have difficulties regarding how, when and what to communicate to their children regarding the genetic risk of cancer. The literature recommends disclosure appropriate to the child's developmental stage by an emotionally stable adult parent in possession of the genetic information in order to be able to answer any questions that may arise (Metcalf et al., 2008). However, parents face difficulties during the process and ask for support and guidance in family communication. The roles of genetic health professionals vary in terms of providing guidance to these parents, depending on legislation and differences in syndrome specialties (Young et al., 2020).

Researcher Werner-Lin (2018) highlights the importance of individual emotional stability, the relationship between the parental dyad and communication with health professionals as determinants for a good disclosure of syndromes to children. However, families and genetic counselors reported the need for materials to support them in this process. In the absence of available resources to facilitate parent education or empowerment for open and developmentally appropriate communication with their children, both healthcare providers and parents are calling for robust supplemental tools to assist them in this process.

PLAY-THE-ODDS is part of a line of research at the Psychology Center of the University of Porto and funded by the Foundation for Science and Technology in Portugal, and aims to meet this need. Based on scientific research and using participatory methodologies, PLAY-THE-ODDS brings together people with hereditary cancer syndromes and their families, genetic counseling specialists, psychologists, communication designers and gamification experts to, together, co- create solutions that promote greater involvement of end users in communicating about these syndromes with their children.

In this sense, this project conceptualized 4 co-creation workshops. Over the course of four workshops, participants were divided into four groups, each dedicated to a specific dimension according to the determinants listed by Werner-Lin (2018): a) emotional self-management; b) parental dyad; c) patient-professional communication; d) parent-child communication.

These sessions were prepared with Design Thinking tools and agile methods to best collect the positions, opinions, comments and results of the collaboration of all participating voices. Given that decisions would need to be made on the designed solutions, digital voting software was used so that the group could move forward with the decisions that received the most votes.

The results of this project are being published in different scientific articles, but we can indicate that, in concrete terms, the following steps were taken:

1st Session: Identification of needs related to each of the groups under analysis

In this session, each group received information about evidence published in the literature in scenario format. This scenario characterized a persona, i.e., a fictional representation based on real data, and was the starting point for the group to discuss the main difficulties experienced in each of the points mentioned by Werner-Lin.

After reading these scenarios, each group filled out an empathy map that could best characterize each of these personas. An empathy map or empathy map is a Design Thinking tool that allows us to put ourselves in someone else's shoes, and imagine the context in which a person lives, what they think, what they feel and what they say in relation to a given topic. It also allows us to reflect on the main pains and anxieties of a group of people.

A list of needs felt by the persona was added to the empathy map. Each group presented their list to the assembly made up of the 4 groups. Everyone, without exception, used digital software to vote on the needs they considered most important to resolve.

2nd session: Ideation

The second session was dedicated to the development of ideas. After identifying the priority needs to be resolved in each of the groups, participants were encouraged to think of solutions to solve the problem with the most votes on each of the lists in each group.

For the ideation exercise, the "Crazy 8s" tool was used, which we call the Idea Generator. This exercise puts participants on a fast, agile and individual journey, in which each one has to think of 8 different ideas in 8 minutes. Ideas can be simple, complex, easy to implement or difficult to achieve. The exercise involves thinking about different innovations without barriers or conditions.

After this exercise, the members of each group had time to present their solutions internally. The objective was to identify 4 solutions that could respond more effectively to the priority need identified in session 1.

At the end of this discussion, each group presented the 4 chosen solutions, and the assembly voted electronically on the solution that should proceed to the next session.

3rd session: Development of solution functionalities

This session was dedicated to characterizing each of the solutions that had received the most votes in the previous session. The "Mind Map" was the tool used to map and describe the priority functionalities that each solution should have.

4th session: Integrating solutions into a single response

Given that we wanted to respond to the 4 elements announced by Werner-Lin, it would be pertinent to integrate the solutions that the groups thought of individually.

In this session, it was decided to discuss which solution would allow the remaining solutions to be integrated more easily. From there, each group adapted their solution to be integrated into this more comprehensive solution.

Figures 1, 2 and 3 describe some of the steps of this process.



Fig. 1. Participants of the Play-The-Odds project working in a multidisciplinary context



Fig. 2. Example of the “Crazy 8s” template, called Idea Generator in our project, for identifying solutions



Fig. 3. Example of a template used to map solutions on a single platform

This was a project that gave a voice to citizens, families with syndromes, geneticists, researchers and other members of civil society. Despite being logistically demanding, every participatory experience ensures the motivation of researchers and end users, allowing the creation of more and better evidence.

REFERENCES

- [1] World Health Organization. Collaborating Centre for Health Promotion in Hospitals and Health Care. Vienna, Ludwig Boltzmann Institute, 2013.
- [2] World Health Organization. *Integration of health care delivery: report of a study group*. Geneva, Switzerland: Technical Report Series, 1996.
- [3] European Commission. Health, demographic change and wellbeing. Horizon 2020. Work program 2014-2015, 2015. Available at: <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/healthdemographic-change-and-wellbeing>.
- [4] World Health Organization. Placing people and communities at the center of health services. WHO global strategy on integrated people-centered health services 2016-2026, 2016.
- [5] Goodwin D. Decision-making and accountability: differences of distribution. *Sociol Health Illn*, vol. 1, no. 36, pp.44-59. 2014. doi: 10.1111/1467-9566.12042.
- [6] Shaw, S.; Rosen, R.; Rumbold, B. What is integrated care? Nuffield Trust, 2011.
- [7] Charns, M.; & Tewksbury, L. Collaborative management in health care: implementing the integrative organization. San Francisco: Jossey-Bass, 1993.
- [8] Shortell, S.M.; Gillies, R.R.; Anderson, D.A. et al. Creating organized delivery systems: the barriers and facilitators. *Hosp Health Serv Adm*, vol. 4, no. 38, pp.447-66. 1993.
- [9] World Health Organization. The Ottawa charter for health promotion. Geneva, 1986.
- [10] World Health Organization Europe, Ninth Future Forum on health system governance and public participation, Copenhagen, 2006.
- [11] Ferreira, PL; Raposo, V.; Godinho P. A voz dos utilizadores dos Centros de Saúde, Lisboa: Ministério da Saúde, 2005.
- [12] Ferreira, P.L.; Antunes, P.; Portugal, S. O valor dos cuidados primários. Perspectiva dos utilizadores das USF – 2009, Lisboa: Ministério da Saúde, 2010.
- [13] Barros, P.; & Almeida-Simões J. Portugal: Health system review. *Health Systems in Transition*, Vol. 5, no. 9, pp.1-140. 2007.
- [14] Portugal. Ministério da Saúde. Plano Nacional de Saúde 2004-2010. Lisboa: Direcção-Geral da Saúde, 2004.
- [15] Fundação Calouste Gulbenkian. Um Futuro para a Saúde. Lisboa, 2014. Available at: https://content.gulbenkian.pt/wpcontent/uploads/2016/03/30003652/PGIS_BrochuraRelatorioCompletoHealthPortugues.pdf
- [16] Walt G, Gilson L. Reforming the health sector in developing countries: the central role of policy analysis. *Health Policy Plan*, Vol. 4, no.9, pp.353-370. 1994. doi: 10.1093/heapol/9.4.353
- [17] Fleury, S.; Ouverney, A. Política de Saúde: uma política social. In: Giovanella, L.; Escorel S.; Lobato, L. et al. (ed). *Políticas e Sistema de Saúde no Brasil*, pp. 25-57. 2012. Rio de Janeiro: Fiocruz.
- [18] World Health Organization. Health Education: Theoretical Concepts, Effective Strategies and Core Competences. Geneva, 2012.
- [19] Stevenson, A.C. Compassion and patient centred care. *Australian Family Physician*, Vol. 12, no. 31, 2002.
- [20] IAPO. What is patient-centred healthcare?: a review of definitions and principles. 2nd edition. London: International Alliance of Patients' Organizations, 2007.
- [21] The Change Foundation. IBM Canada. Consumers and Canadian health care trending analysis 2004. Toronto, ON: Change Foundation, 2004.
- [22] Elwyn, G.; Coulter. A.; Laitner, S.; Walker, E.; Watson, P.; Thomson, R. Implementing shared decision making in the NHS. *BMJ*, 341: c5146, 2010.
- [23] O'Connor, A.; Wennberg, J.E; Legare, F.; Llewellyn-Thomas, H.A.; Moulton, B.W.; Sepucha, K.R. et al. Toward the «tipping point»: decision aids and informed patient choice. *Health Aff*, Vol. 3, No. 36, pp.716–25. 2007.
- [24] Cleary, P.D. et al. Patients Evaluate Their Hospital Care: A National Survey. *Health Affairs*, 10, 1991.
- [25] Florin, J. Patient participation in clinical decision making in nursing: a collaborative effort between patients and nurses, Osterode, SE: Heinz Merten, 2007.
- [26] Ruland, C. Decision support for patient preference-based care planning: effects on nursing care and patient outcomes. *J Am Med Inform Assoc.*, Vol. 4, no. 6, pp.304-12. 1999.
- [27] Stacey, D.; Bennett, C.; Barry, M.; Col, N.; Eden, K.; Holmes-Rovner, M.; Llewellyn-Thomas, H.; Lyddiatt, A. et al. Decision aids for people facing health treatment or screening decisions. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2011.
- [28] Realpe, A.; & Wallace, L. What is co-production? London: The Health Foundation, 2010.
- [29] Coleman, C.; Kurtz-Rossi, S.; McKinney, J. et al. The Calgary Charter on Health, 2009.
- [30] Pinho, N.; Beirão, G.; Patrício, L; Fisk, R.P. Understanding value co-creation in complex services with many actors. *Journal of Service Management*, Vol.4, no.25, pp.470-93. 2014.

- [31] Lenka, S.; Parida, V. & Wincent J. Digitalization Capabilities as Enablers of Value Co-Creation in Servitizing Firms. *Psychology & Marketing*, Vol. 1, no. 34, pp.92-100. 2017.
- [32] Punnett, L.; Cherniack, M.; Henning, R.; Morse, T. & Faghri P. A conceptual framework for integrating workplace health promotion and occupational ergonomics programs. *Public Health Reports*, Vol. 1, no. 12, pp.16-25. 2009.
- [33] Eysenbach, G. What is e-health? *J Med Internet Res*, Vol. 2, no. 3. 2001.
- [34] Cabrnach, M. Citizens' E-Health – What would e-Health bring to common citizens? *Health First Europe*, pp.14-17. 2010.
- [35] Espanha, R. Projectos de Autonomia numa Sociedade em Transição: Os Media e a Saúde, ISCTE, Lisboa, 2009.
- [36] Neves, B.; & Santos, J. Estratégias de busca em fontes de informação electrónica. In Duarte, Z. e Faris, L. (Orgs) *A Medicina na Era da Informação*, 265-276. Editora da Universidade Federal da Bahia: Salvador, 2009.
- [37] Gil, H.; Amaro, F. A importância e as principais potencialidades da e-Health para os cidadãos mais idosos. In Conferência Ibero-Americana WWW/INTERNET 2011 (IADIS – International Association for Development of the Information Society and UNIRIO). Rio de Janeiro, 2011.
- [38] Shilling, C. Culture, the 'sick role' and the consumption of health. *British Journal of Sociology*, Vol. 4, no. 53, pp.621-638. 2002.
- [39] Henwood, F. et al. 'Ignorance is bliss sometimes': constraints on the emergence of the 'informed patient' in the changing landscape of health information. *Sociology of Health & Illness*, Vol. 6, no. 25, pp.589-607. 2003.
- [40] Bélanger, F.; Carter, L. Trust and risk in e-government adoption. *J Strategic Inf Syst*, Vol.2, no. 17, pp.165-176. 2008.
- [41] Raeve, P. E-Health and Labor Challenges – E-quality for e-safety: a nurses' view on e-Health. *Health First. Europe*, September-November, pp.34-37. 2010.
- [42] Jensen, J.D.; King, A.J.; Davis, L.A.; Guntzville, M.L. Utilization of Internet Technology by Low-Income Adults. *Journal of Aging and Health*, Vol. 6, No. 22, pp.804-826. 2010.
- [43] Paasche-Orlow, M.K.; Parker, R.M.; Gazmararian, J.A.; Nielsen-Bohlman, L.T. & Rudd, R. The Prevalence of Limited Health Literacy. *Journal of General Internal Medicine*, Vol. 2, no. 20, pp.175-184. 2005.
- [44] Eng, D.S.; & Lee, J.M. The promise and peril of mobile health applications for diabetes and endocrinology. *Pediatr Diabetes*, no. 14, pp.231–238. 2013.
- [45] Smith, A. U.S. Smartphone Use in 2015. Washington, DC: Pew Research Center, 2015.
- [46] Mackert, M.; Mabry-Flynn, A.; Champlin, S.; Donovan, E.E.; Pounders, K. Health Literacy and Health Information Technology Adoption: The Potential for a New Digital Divide. Eysenbach G, ed. *Journal of Medical Internet Research*, Vol. 10, no. 18, 2016.
- [47] Pingree, S.; Hawkins, R.; Baker, T; DuBenske, L; Roberts, L.J. & Gustafson, D.H. The Value of Theory for Enhancing and Understanding e-Health Interventions. *American journal of preventive medicine*, Vol. 1, no. 38, pp.103-109. 2010.
- [48] Neuhauser, L.; Kreps, G. Rethinking Communication in the E-health Era. *Journal of Health Psychology*, Vol. 1, no. 8, pp.7-23. 2016.
- [49] Borison, R. Health and Fitness Apps are Exploding in Popularity: Here's Who is Using Them. New York, NY: Business Insider, 2014.
- [50] Free, C.; Phillips, G.; Watson, L.; Galli, L.; Felix, L.; Edwards, P.; Patel, V. & Haines A. The effectiveness of mobile-health technologies to improve health care service delivery processes: a systematic review and meta-analysis. *PLoS Med*, Vol. 1, no. 10. 2013.
- [51] Tomlinson, M.; Rotheram-Borus, M.J.; Swartz, L. & Tsai, A.C. Scaling Up mHealth: Where Is the Evidence? *PLoS Med*, Vol. 1, no. 10. 2013.
- [52] Fiordelli, M.; Diviani, N.; Schulz, P.J. Mapping mHealth Research: A Decade of Evolution. Eysenbach G (ed.). *Journal of Medical Internet Research*, Vol. 5, no. 15. 2013.
- [53] Nilsen, W. et al. Advancing the Science of mHealth. *Journal of Health Communication*, 2012.
- [54] World Health Organization. mHealth: new horizons for health through mobile technologies: based on the findings of the second survey on eHealth. Geneva, 2011.
- [55] Whittaker, R. Issues in mHealth: Findings From Key Informant Interviews. Houston T (ed.). *Journal of Medical Internet Research*, Vol. 5, no. 14. 2012.
- [56] Collins, F. How to fulfill the true promise of «mHealth»: Mobile devices have the potential to become powerful medical tools. *mHealth Evidence*, 2012.
- [57] Häyrynen, K.; Saranto, K.; Nykänen. P. Definition, structure, content, use and impacts of electronic health records: a review of the research literature. *Int J Med Inform*, Vol. 5, no.77, pp.291-304. 2008.
- [58] Emani, S.; Yamin, C.K.; Peters, E.; Karson, A.S.; Lipsitz, S.R.; Wald, J.S.; Williams, D.H.; Bates, D.W. Patient perceptions of a personal health record: a test of the diffusion of innovation model. *J Med Internet Res*, Vol. 6, no. 14. 2012.
- [59] Bélanger, F.; Carter, L. Trust and risk in e-government adoption. *J Strategic Inf Syst*, 17 (2): 165-176, 2008.
- [60] Bahmanziari, T.; Pearson, J.M.; & Crosby, L. Is Trust Important in Technology Adoption? A Policy Capturing Approach. *Journal of Computer Information Systems*, no. 43, pp.46 – 54. 2003.

- [61] National Cancer Institute. The Genetics of Cancer, 2022. Available at: <https://www.cancer.gov/about-cancer/causes-prevention/genetics>.
- [62] Metcalfe A, Coad J, Plumridge GM, Gill P, Farndon P. Family communication between children and their parents about inherited genetic conditions: a meta-synthesis of the research. *Eur J Hum Genet*. 2008. <https://doi.org/10.1038/ejhg.2008.84>.
- [63] Young A.L.; Butow P.N.; Tucker K.M.; Wakefield C.E.; Healey E., Williams R. When to break the news and whose responsibility is it? A cross-sectional qualitative study of health professionals' views regarding disclosure of BRCA genetic cancer risk. *BMJ Open*. 2020.
- [64] Werner-Lin A, Merrill SL, Brandt AC. Talking with children about adult-onset hereditary cancer risk: A developmental approach for parents. *J Genet Counsel*. 2018. <https://doi.org/10.1007/s10897-018-0282-0>.

Contribution de la cartographie du régolithe dans la connaissance de la géologie de la zone nord de Bouaflé (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire)

[Contribution of regolith mapping to the knowledge of the geology of the northern zone of Bouaflé (Central-west of Côte d'Ivoire)]

Gnagnon Raymond Stephane Koffi¹, Brice Roland Kouassi², Kouadio David Koffi¹, Teha Raoul Koffi¹, and Koffi Joseph Brou¹

¹UFR Sciences de la terre et des ressources minières, Laboratoire de géologie, ressources minérales et énergétiques, Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, 22 B.P. 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

²UFR Sciences biologiques, Département géosciences, Université Peleforo Gon-Coulibaly, Korhogo, BP 1328, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: The northern zone of Bouaflé is located in the central part of the Bouaflé furrow, in the center of Côte d'Ivoire. This zone being highly lateritized, as in all tropical climate zones, a mapping from the regolith with a view to improving knowledge of the geology of the central part of the Bouaflé furrow was initiated. It was done using remote sensing and survey data carried out in the area. Thus, it emerges from this study that the regolith of the study area comes from the supergene alteration of the various geological formations observed and is characterized by a deep alteration profile with an average thickness of approximately 30 m with a spatial distribution of relict regolith, erosion, deposition as well as surfaces affected by widespread lateritization.

KEYWORDS: geology, Bouaflé, regolith, alteration, Côte d'Ivoire.

RESUME: La zone nord de Bouaflé est située dans la partie centrale du sillon de Bouaflé, au centre de la Côte d'Ivoire. Cette zone étant fortement latéritisée, comme dans toute les zones à climat tropicale, une cartographie à partir du régolithe en vue de l'amélioration des connaissances de la géologie de la partie centre du sillon de Bouaflé a été initiée. Elle s'est faite grâce à la télédétection et aux données de sondage réalisés dans la zone. Ainsi, il ressort de cette étude que le régolithe de la zone d'étude provient de l'altération supergène des différentes formations géologiques observées et se caractérise par un profond profil d'altération d'épaisseur moyenne d'environ 30 m avec une distribution spatiale de régolithe relique, d'érosion, de dépôt ainsi que des surfaces affectées par une latéritisation généralisée.

MOTS-CLEFS: géologie, Bouaflé, régolithe, altération, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

L'Afrique de l'Ouest est aujourd'hui une région minière en plein essor. En effet, elle a enregistré une croissance record d'Or de 81% durant ces quinze dernières années. En 2016, l'Afrique de l'Ouest a produit huit (08) millions d'onces pour l'Australie et la Russie et quinze (15) millions d'onces pour la Chine. Face à un tel potentiel, plusieurs études géologiques ont été menées pour comprendre l'origine de cette minéralisation. Plusieurs études ont révélé que le craton ouest africain est dominé par les formations d'âge Birimien. Ces formations Birimiennes suscitent un grand intérêt pour la recherche minière car elles regorgent la majeure partie des anomalies en or orogénique formées au cours du cycle éburnéen [1-2]. La Côte d'Ivoire possède 35% des

formations birimiennes, ces formations couvrent 77,5% du socle cristallin ivoirien [3]. On y dénombre dix-sept sillons dont celui de Bouaflé. Ce sillon, situé au centre de la Côte d'Ivoire, a montré son potentiel en ressources minières avec le gisement de Yaouré détenu par Perseus Mining. La ceinture de Bouaflé est divisée en deux domaines; un domaine mafique à l'Est et un domaine volcano-sédimentaire à l'ouest. Il faut noter que sur ce sillon, par endroit les formations rocheuses sont recouvertes par de grandes surfaces de régolithe issues de l'altération des roches. Ainsi la rareté des affleurements provoqués par la couverture sédimentaire constitue un véritable problème lors des travaux de cartographie géologique. Ainsi, le régolithe joue un rôle important dans l'interprétation d'une anomalie géochimique de surface. C'est dans ce contexte que s'inscrit cette présente étude en vue de contribuer à l'amélioration des connaissances sur la géologie, notamment sur le régolithe à travers des données télé-analytiques, des levés de terrain et de forage sur le permis de de Bouaflé.

2 CONTEXTE GÉOLOGIQUE

La Côte d'Ivoire appartient au craton ouest-africain et plus précisément à la dorsale de Man ou dorsale de Léo (**Fig. 1**). Elle est constituée d'un socle précambrien qui représente 97,5 % de sa superficie. Ce socle d'âge précambrien comporte un domaine archéen (Kenema-Man) à l'ouest (3600-2500 Ma) et un domaine Paléoprotérozoïque (Birimien) également dénommé domaine Baoulé-Mossi à l'est (2500-1800 Ma), séparés par la faille du Sassandra [4]; (**Fig. 2**). Le permis de Bouaflé se situe dans les localités de Pkouabo et de Kpangbankouamekro dans la partie centre du sillon de Bouaflé. La géologie du sillon de Bouaflé est connue grâce aux travaux de [5-9] (**Fig. 3**).

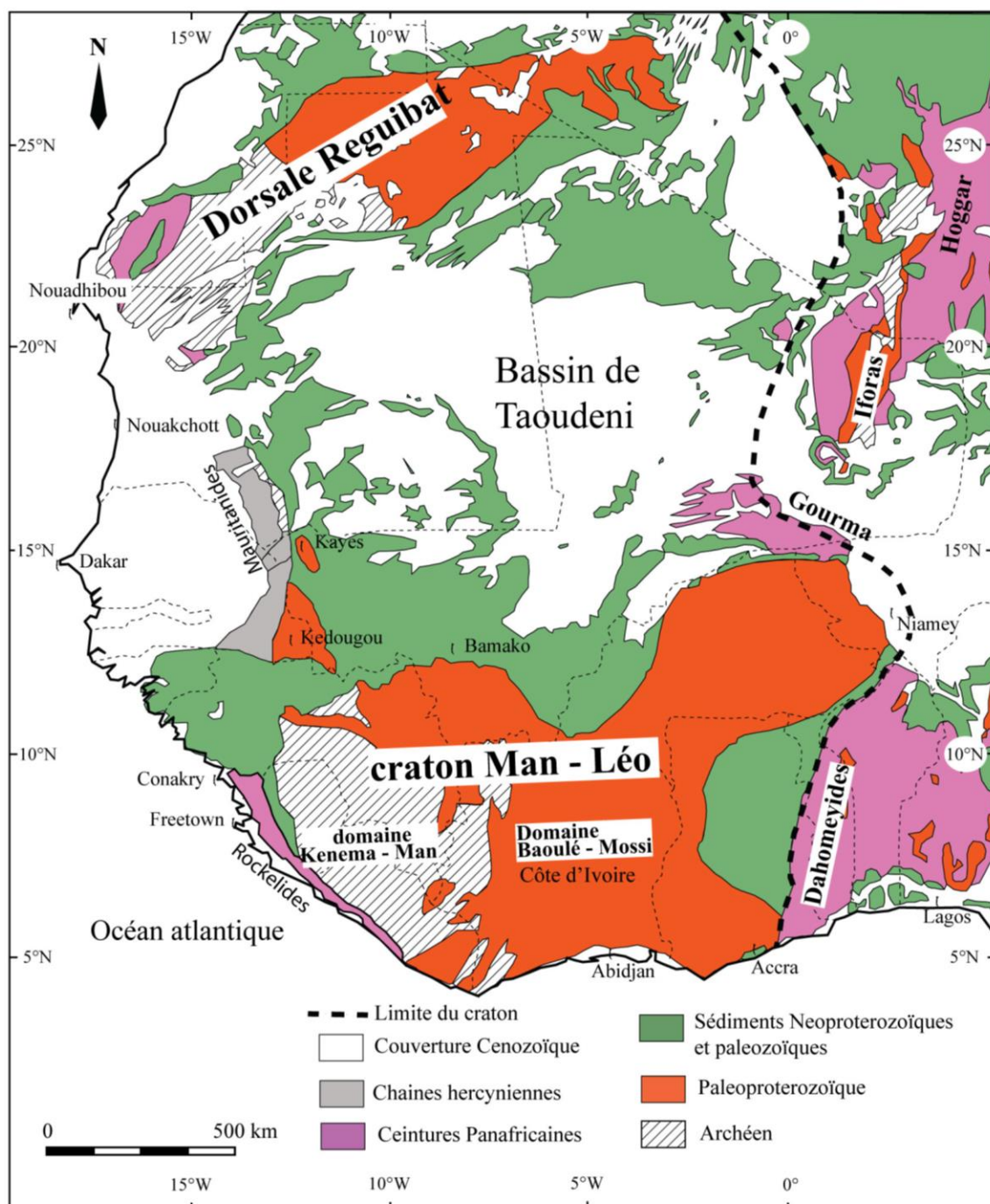


Fig. 1. Carte du craton ouest-africain modifiée d'après [10]

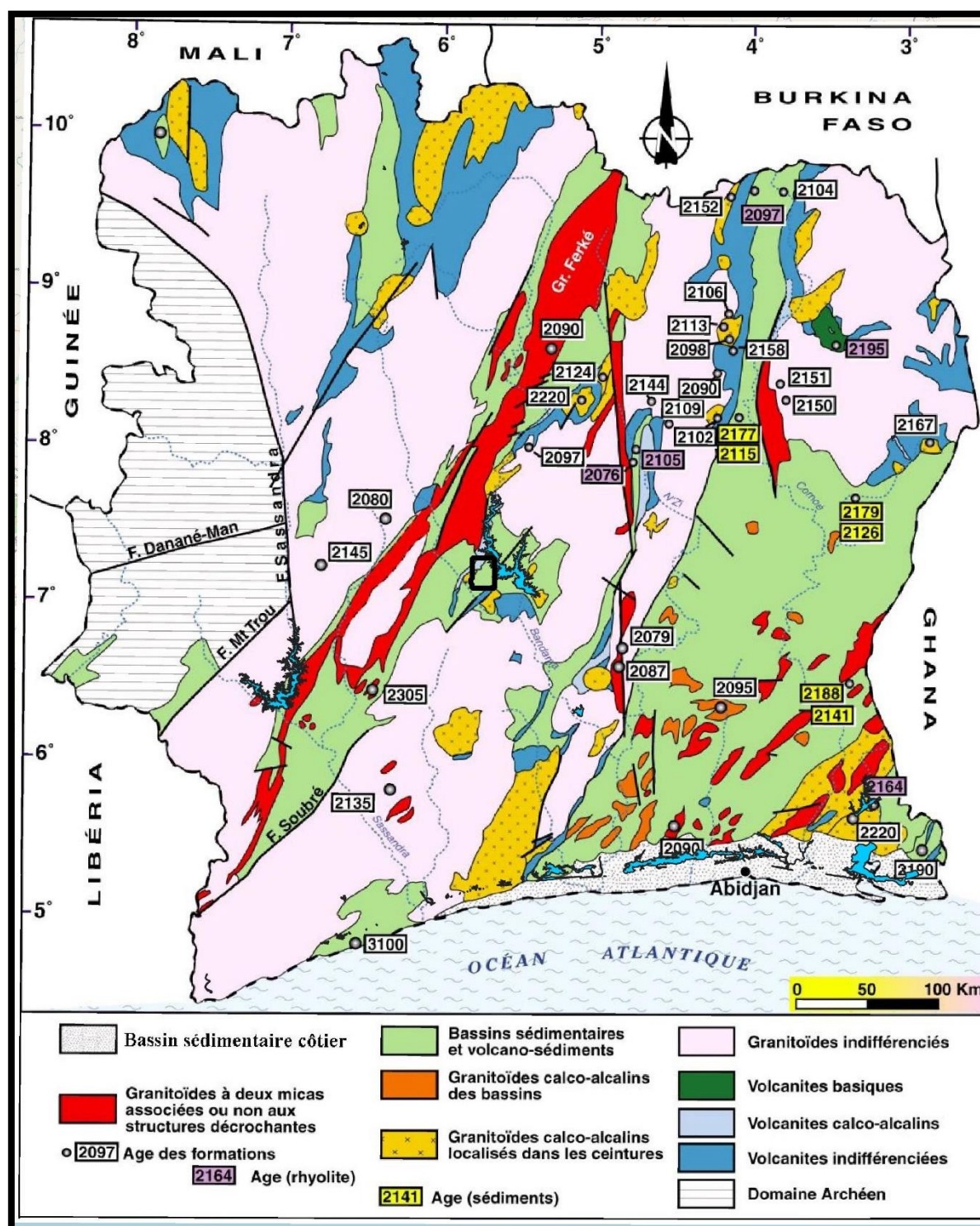


Fig. 2. Carte géologique simplifiée de la Côte d'Ivoire [11-12]

Elle est constituée de roches variées, peu ou moyennement métamorphisées (quartzites, micaschistes, para-amphibolites et schistes amphiboliques). On note également la présence de métapyroxénolites, de métagabbros, d'orthoschistes ou calcoschistes dérivant de laves andésitiques à basaltiques, de dolérites, de tufs, de métarhyolites, de métadacites et des conglomérats associés. Le métamorphisme a atteint le faciès des schistes verts partout, sauf dans les volcanites où se manifeste également le faciès amphibolite; auquel s'ajoute le faciès à cornéennes (à amphiboles), induit par le métamorphisme de contact lié à la mise en place des plutons de granitoïdes. On y rencontre également quelques massifs de granitoïdes de toute

petite taille et de granitoïdes gneissifiés [9]. Selon [13], les basaltes seraient issus d'un taux de fusion partiel de 10 à 20% d'une source composée de lherzolite à spinelle d'un manteau appauvri de type MORB (DDM). Ce sillon est bordé des granitoïdes gneissifiés correspondant au socle dans lequel des granodiorites, des diorites et des granites se retrouvent en intrusion. A l'est, nous avons les granitoïdes du Kan (complexe trondhjémitique), qui se mettent en place dans un couloir de cisaillement [9] et la granodiorite de Toumodi. A l'ouest du sillon, nous avons les granitoïdes de la région de Yamoussoukro. Ces granitoïdes sont de nature variée et hétérogène (granites à biotite, granodiorites, monzogranites, granites aplitiques, etc.) [14].

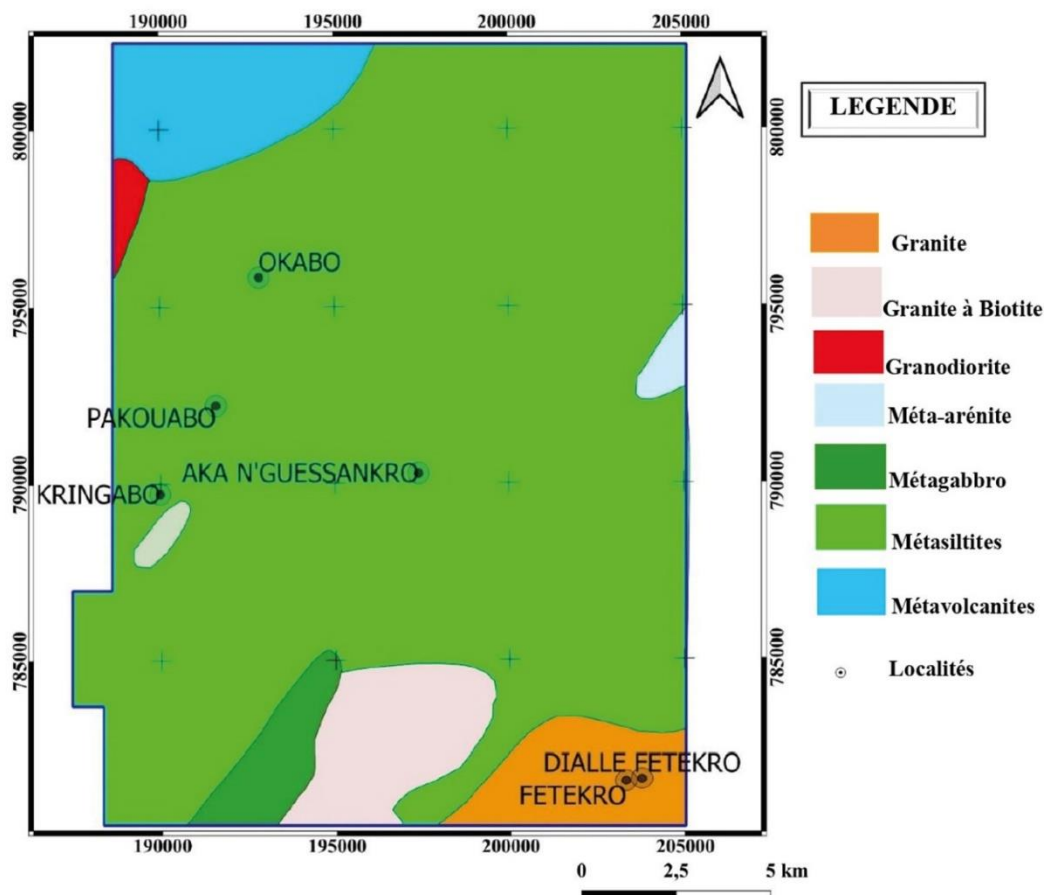


Fig. 3. Carte géologique de la zone nord de Bouaflé (Extraite de la carte au 1/200000 de la région de Bouaflé [15])

3 METHODOLOGIE

La méthodologie employée dans le cadre de ce travail a commencé par une approche globale puis elle a continué par une approche spécifique donc détaillée et plus ciblée. L'élaboration de la carte du régolithe implique la collecte, l'interpolation et la compilation de données. La collecte de données consiste en une analyse d'images de télédétection et un travail de terrain.

• Télédétection

Dans cette étude, le Modèle digitale de terrain (DTM) a été utilisé. Ces données ont été traitées et interprétées à l'aide des logiciels Global mapper 21.0 et Qgis 3.22.11. Le relief issu du DTM a été utilisé comme substitut du régolithe dans cette cartographie car les limites du relief y sont généralement plus nettes (Fig. 4). Les caractéristiques du paysage représentant le haut et bas-relief ont été compilées et interpolées à partir du DTM. Les paysages à haut relief ont été assignés à une classe de polygones pour représenter les environnements résiduels. Les paysages de bas-relief ont été assignés à une classe de polygones pour représenter les environnements de dépôt.

• Travaux de terrain

Il s'agit d'une enquête de suivi sur le terrain afin de valider la compilation et les interpolations effectuées lors de l'analyse des images. Les travaux de validation menés sur le terrain ont permis de discriminer les différentes unités du régolithe mises en évidence par le modèle digital de terrain. Une carte non-génétique dérivée des données de vérité au sol basées sur les distributions spatiales des différentes unités de cartographie du régolithe enregistrées a été élaborée pour un bon échantillonnage (Fig. 5). Aussi, une grille 400*400 a été élaborée pour un échantillonnage l'échelle de tout le permis (Fig. 6). Par la suite, 13 forages AC (Aire Core), (Fig. 7). En effet, ces données de sondages AC effectués ont été utilisées pour mieux mettre en évidence l'épaisseur moyenne du régolithe.

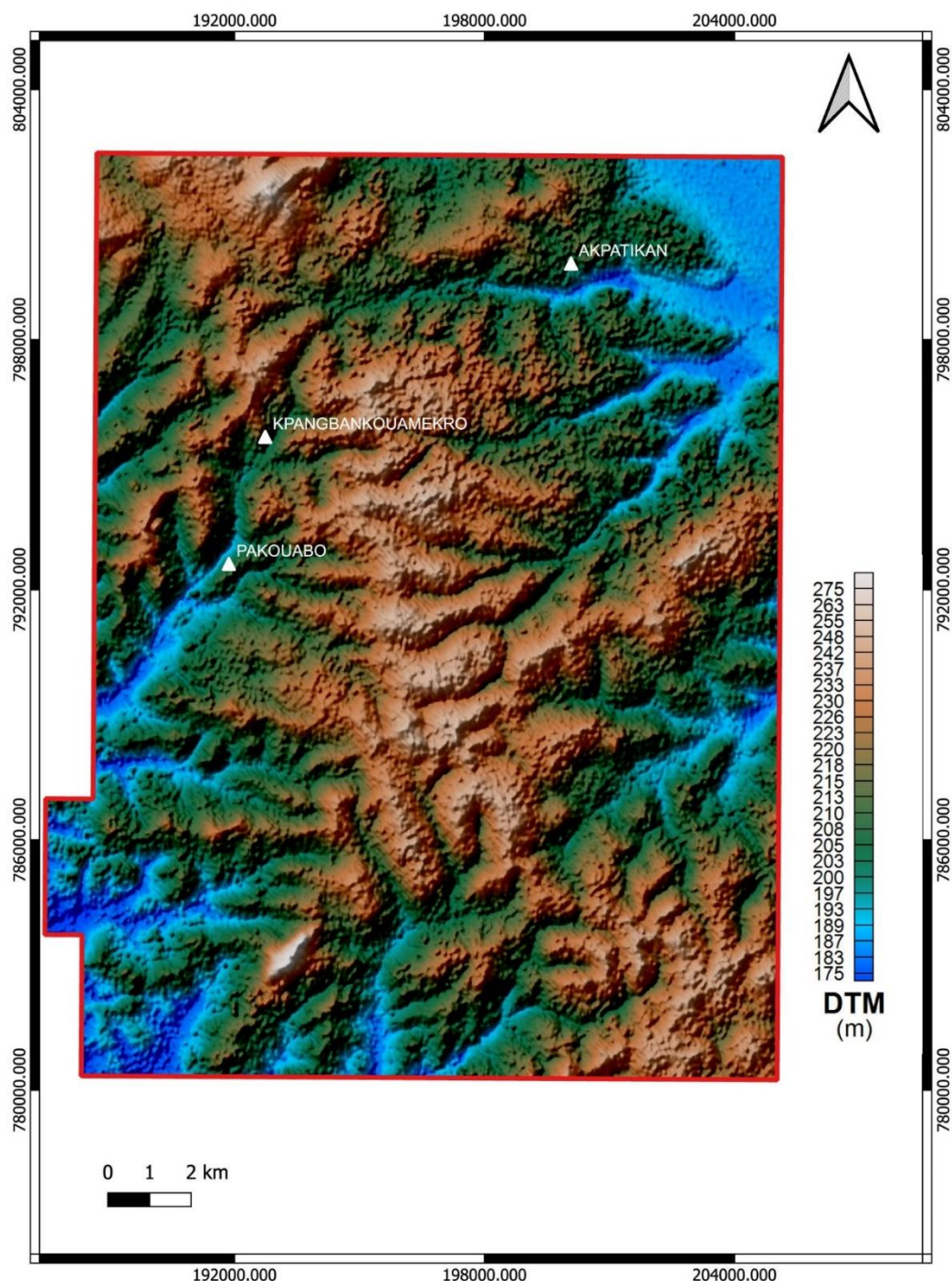


Fig. 4. Modèle Digitale de Terrain de la zone d'étude

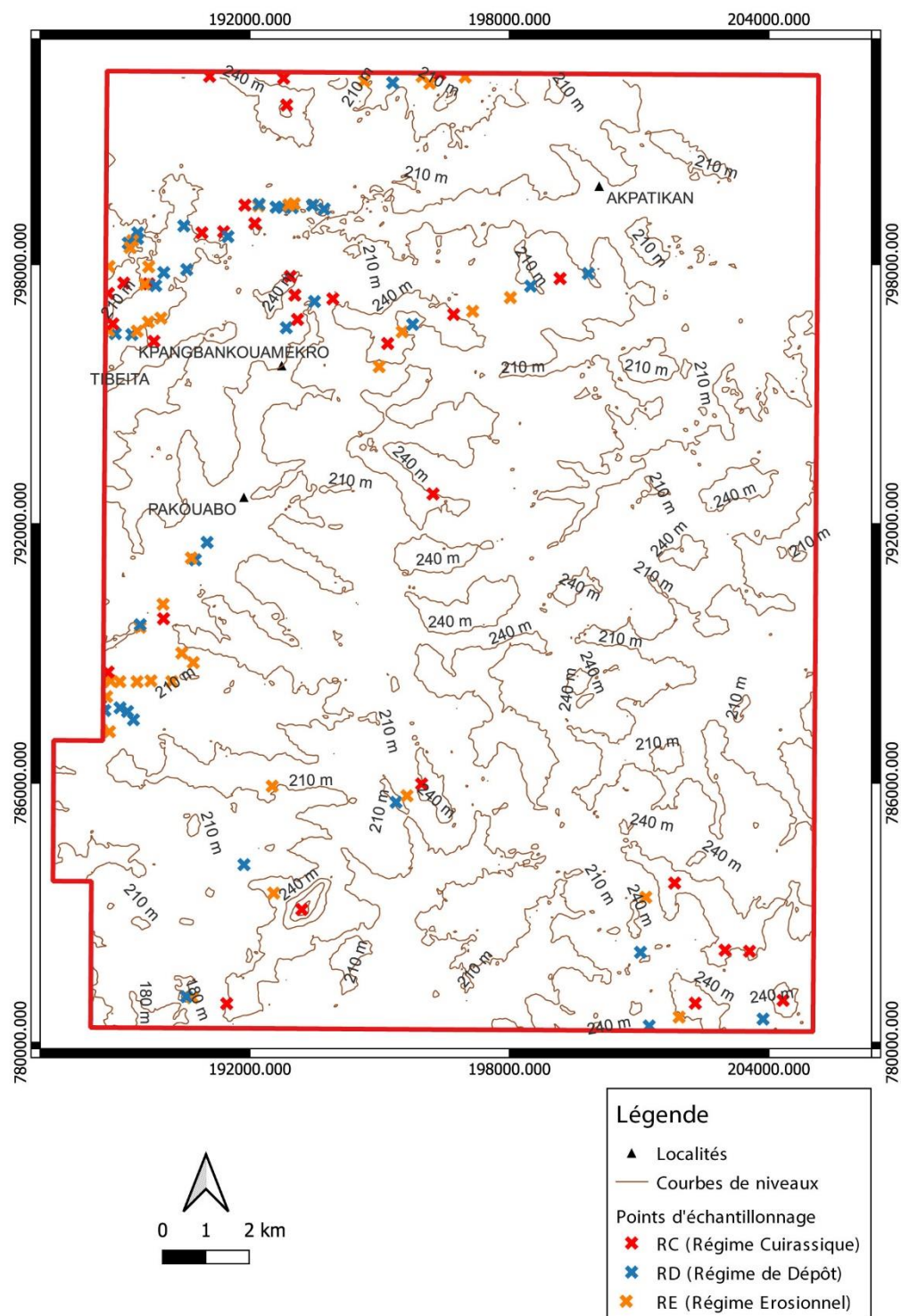


Fig. 5. Carte d'échantillonnage montrant les différents régimes du régolithe

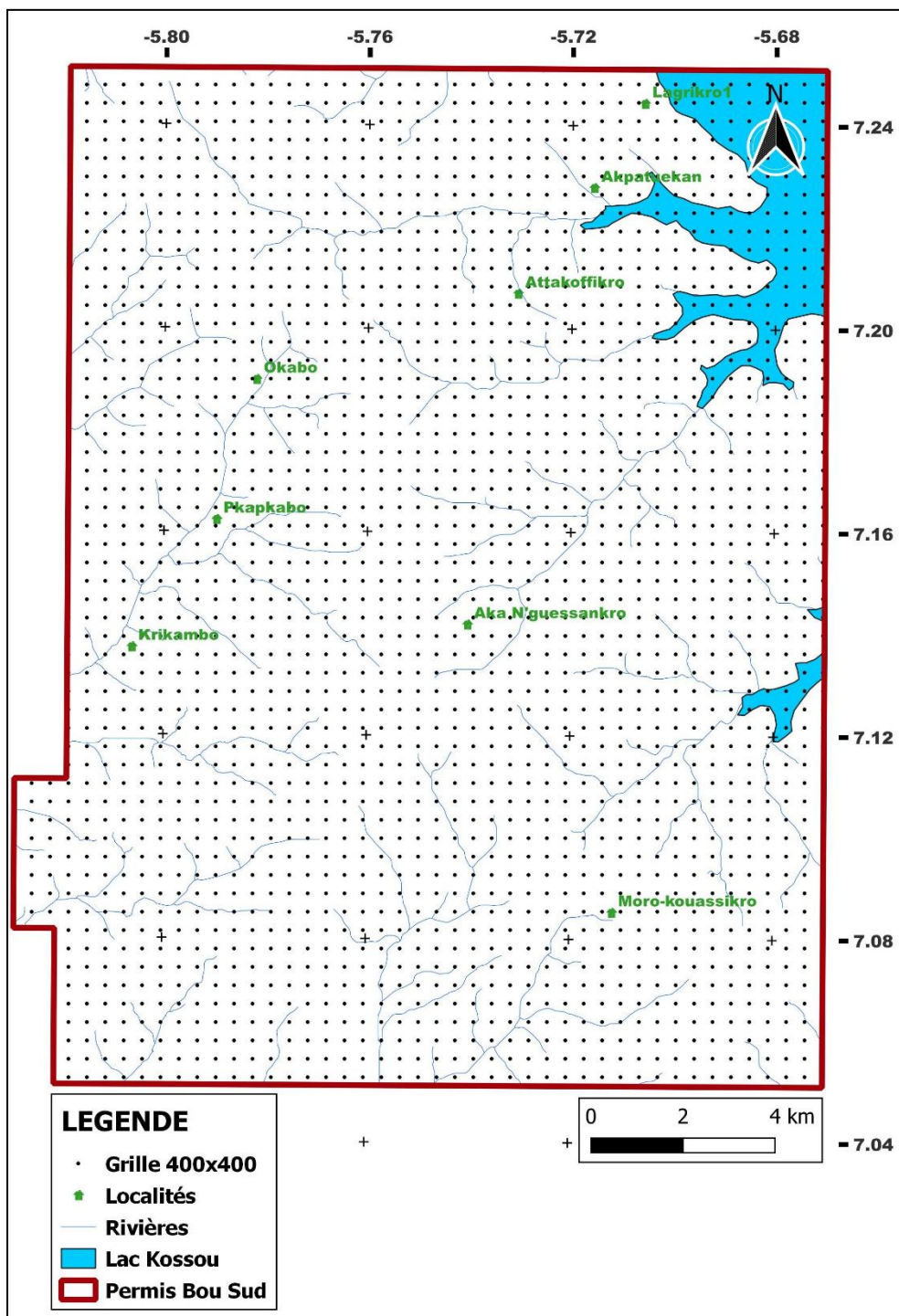


Fig. 6. Grille d'échantillonnage à maille 400x400

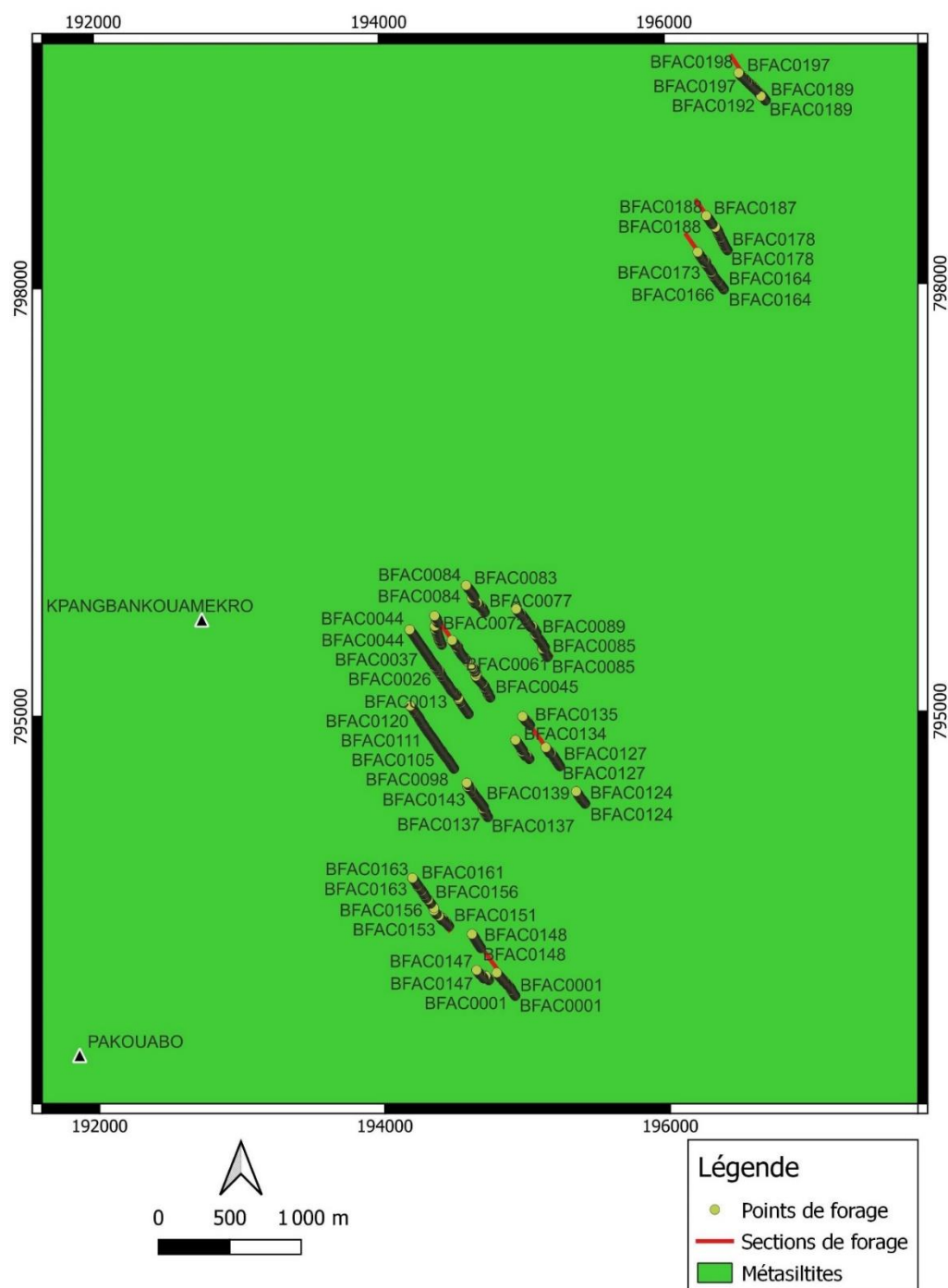


Fig. 7. Carte géologique montrant les sections de forages

4 RESULTATS

4.1 CARTOGRAPHIE DE REGOLITHE

Un modèle de terrain numérique (DTM) augmente généralement les caractéristiques de la surface nue en incluant des caractéristiques vectorielles du terrain naturel, comme les rivières et les crêtes. Ces caractéristiques ont permis d'avoir des informations sur les formations superficielles et la distribution spatiale des différentes unités du régolithe. Les travaux de validation menés sur le terrain ont permis de discriminer les différentes unités du régolithe mises en évidence par les caractéristiques vectorielles. Ainsi, plusieurs types de régolithe ont été mis en évidence dans la zone d'étude.

- **Régime cuirassique**

Les cuirasses latéritiques que nous avons remarquées au cours de cette étude sont les cuirasses latéritiques ferrugineuses et les cuirasses latéritiques alumino-ferrugineuses. Les cuirasses ferrugineuses reliques dominant sur les cuirasses alumino-ferrugineuses sont riches en hématites et goethite.

Dans certains endroits, ces cuirasses présentent sous forme de plateau cuirassique. Il y a aussi des fragments de quartz dans certaines cuirasses (**Fig. 8A**).

Le faciès dominant sur toute l'étendue du permis est le faciès ferrugineux. Les couleurs rougeâtres et brunâtres caractérisent ces cuirasses avec une teneur très élevée en oxyde de fer.

- **Régime de dépôt**

Le régime de dépôt de la zone d'étude est matérialisé par des dépôts alluviaux/fluviaux. Ce sont des matériaux transportés par les eaux de ruissellement, les ruisseaux ou les rivières. Les sols se développent mal au-dessus des dépôts alluviaux sableux et les échantillons prélevés sur ces sols peuvent masquer toute minéralisation sous-jacente.

Ce régime marqué dans les plaines et les zones basses de la zone d'étude, est caractérisé par des matériaux régolithiques variables (**Fig. 8C**) composés de sables friables de silt et d'argiles. Le sable est en effet, le dépôt le plus dominant de ces zones avec la présence de gravillons de taille variable et de formes sub-arrondies à arrondies.

- **Régime érosionnel**

Le régime érosionnel est caractérisé par les matériaux colluviaux qui sont transportés par gravité (**Fig. 8B**). Ces matériaux proviennent de glissements de terrain et se trouvent généralement à la base des pentes, recouvrant le régolithe latéritique. Les colluvions sont mal triées, non consolidées et contiennent des galets anguleux et des fragments lithiques de la taille d'un gravier dans une matrice mal triée. Les échantillons prélevés dans les horizons pédologiques au-dessus des colluvions qui présentent une anomalie géochimique peuvent trouver leur origine plus haute sur la pente. Un certain nombre d'affleurements qui proviendraient de l'action de l'érosion a été observée. Les flancs des collines ont été sujets d'intenses activités de l'érosion fracturant les blocs de cuirasses en colluvions.

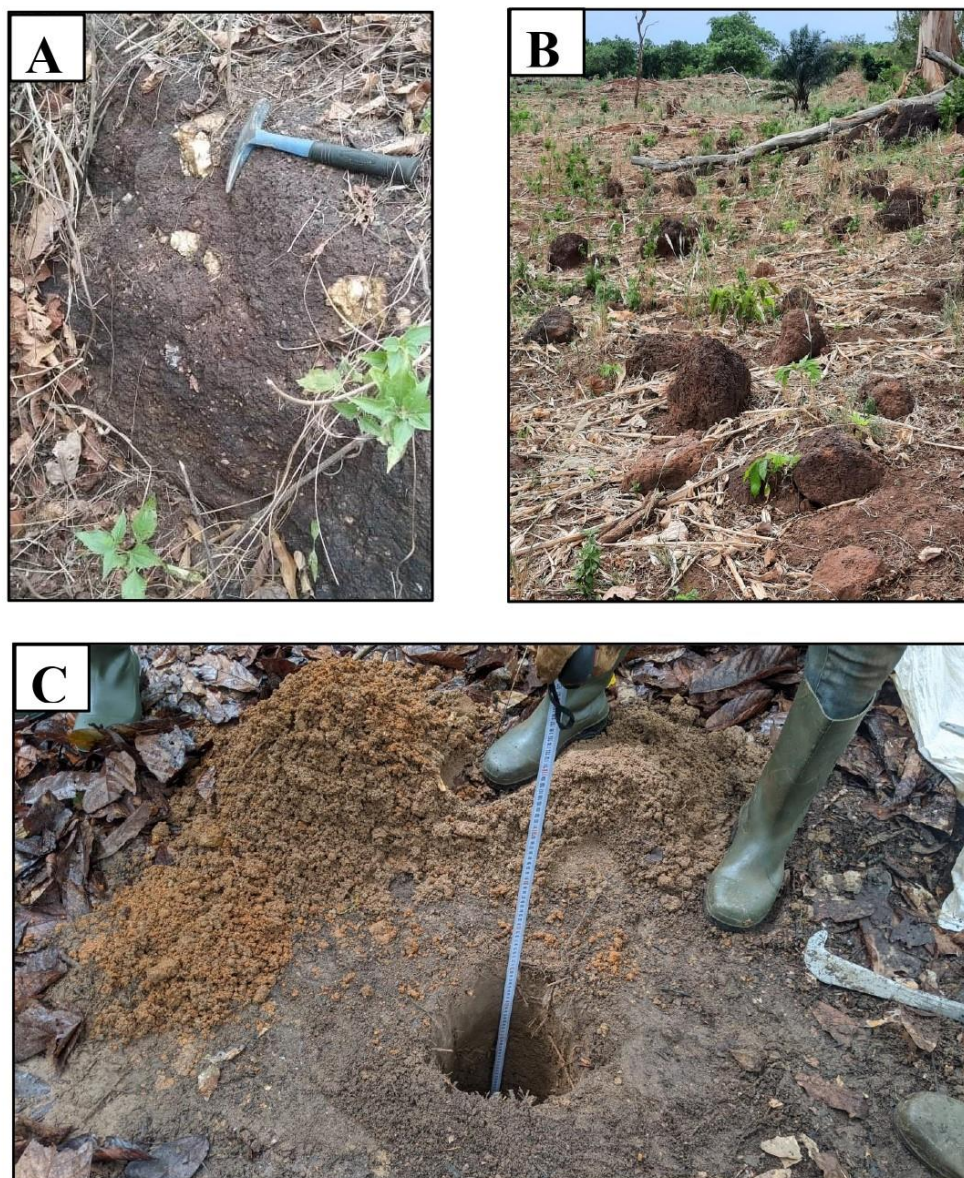


Fig. 8. Image des différents régimes du régolithe
A: régime cuirassique; B: régime érosionnel; C: régime de dépôt

4.2 DONNÉES DE SONDAGE

La compilation des données de forage effectué dans la partie centre de la zone étude, précisément à l'est de Pkagbankouamekro, a permis de mettre en évidence l'épaisseur moyenne du régolithe. Les forages effectués dans ces zones montrent que l'épaisseur du régolithe est en moyenne d'environ 30 m. Néanmoins par endroits, dans les environnements de dépôt, on retrouve des épaisseurs avoisinant les 40 m.

La section de forage de huit (8) points réalisée sur la ligne 6 a permis à partir des correspondances lithologiques des sondages de mettre en évidence un ensemble de lithologies que sont: les latérites, les dépôts alluvionnaires, la et la saprock.

L'épaisseur du régolithe sur cette section de forage L6 est entre 28m (la plus faible) et 38m (la plus forte). La moyenne est donc de 30,62m (**Fig. 9**).

Cette variation des épaisseurs du régolithe le long de la ligne témoigne de la géomorphologie du terrain de ce permis. En effet, le phénomène d'érosion décape les formations géologiques situées dans les positions topographiques élevées par l'agent d'érosion qu'est l'eau pour les déposer vers les bas versants expliquant cette variation des épaisseurs par endroits.

La nature des profils d'altérations qui résultent de l'altération dépend du type de roche, du climat et du drainage. Aussi, ces différentes épaisseurs des formations observées dans la zone d'étude peuvent être expliquées par les différences entre les roches fraîches rencontrées d'une part et d'autre part la géomorphologie.

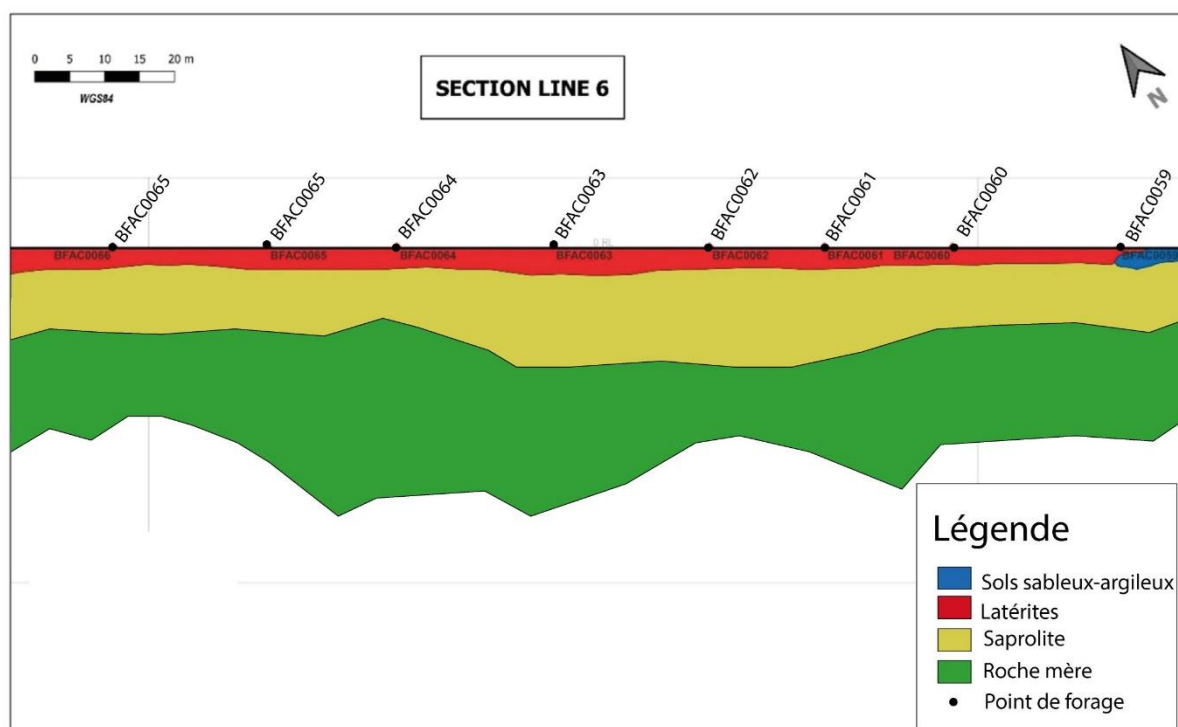


Fig. 9. Section de sondage du layon L6

4.3 CARTE DU RÉGOLITHE

Les résultats des travaux de validation menés sur le terrain couplés aux résultats de télédétection ont permis la réalisation de la carte du régolithe. La compilation de ces données a été possible grâce au logiciel QGIS 3.10. Le régolithe de la zone d'étude se caractérise par un profond profil d'altération, atteignant souvent quarante mètre dans les environnements de dépôt avec une distribution spatiale de régolithe relique, d'érosion, de dépôt ainsi que des surfaces affectées par une latéritisation généralisée (Fig. 10). Dans la zone d'étude, la plupart des parties du paysage s'élèvent entre cent (175) et deux cent cinquante (275) mètres au-dessus du niveau moyen de la mer. Dans ces endroits, on retrouve généralement le régolithe de cuirasse. Les zones de basse altitude sont caractérisées par un dépôt issu du démantèlement des paysages de haut relief, sur les pentes douces on retrouve des couvertures de fines couches de colluvions qui sont entrecoupées d'alluvions, souvent au bas versant, à la base des pentes.

La zone d'étude est dominée par une topographie généralement basse, ondulée avec des collines isolées par endroit est de la zone d'étude. Des latérites formées à partir d'unités résiduelles de régolithe sont présentes sur les hautes terres isolées. Le régolithe de dépôt se trouve généralement dans les zones de basse altitude et autour des bassins versants.

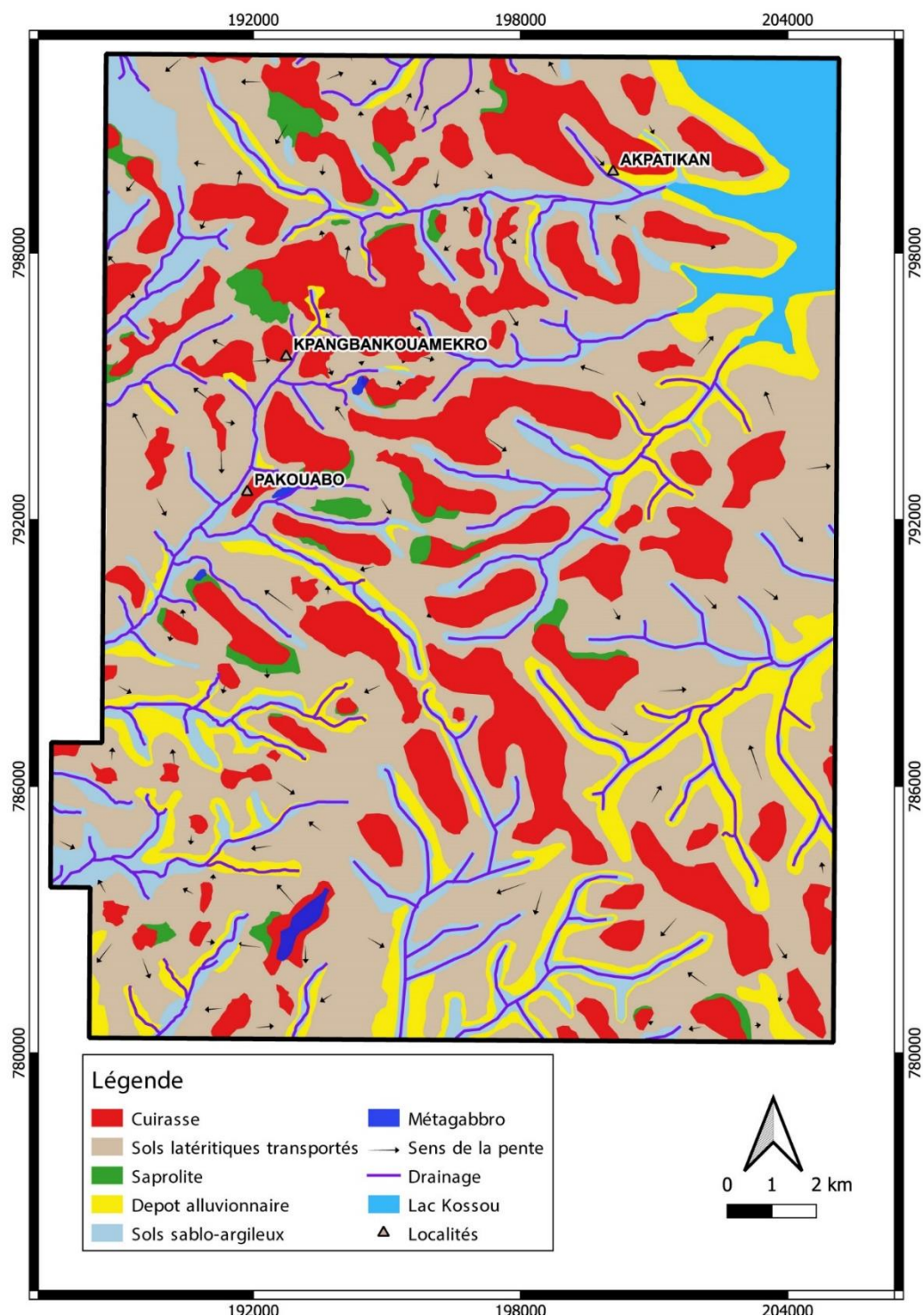


Fig. 10. Carte du régolithe de la zone d'étude

5 DISCUSSION

La cartographie du régolithe de la zone nord de Bouaflé par la méthode de la télédétection, précisément l'image DTM couplées aux travaux de validation effectués sur le terrain ont permis de mettre en évidence trois (3) régimes de régolithe, à savoir: le régolithe de dépôt, le régolithe de cuirasse et le régolithe d'érosion. La majeure partie de la zone d'étude est occupée par le régolithe d'érosion. [16], lors de leur travaux de cartographie du régolithe dans la zone de toumodi (Côte d'Ivoire) ont obtenu les mêmes résultats. [17-18] ont observé des résultats similaires dans les ceintures de roches vertes du Birimien

Lawra (Ghana) puis au Burkina Faso. Des cuirasses ferrugineuses reliques riches en hématite et goethite appartenant au Haut glaciaire, des surfaces d'érosion représentées par des affleurements et des sous-affleurements rocheux ainsi que des sédiments alluviaux ont été les différentes unités cartographiées. Il convient de noter qu'une couverture végétale dense peut limiter l'application de la méthode utilisée et biaiser les résultats; ainsi les meilleurs résultats en matière de cartographie des diverses régions du monde nécessitent l'intégration de plusieurs ensembles de données (téléanalytique, terrain, etc.) pour caractériser les propriétés chimiques et morphologiques des différentes unités de relief du régolithe et de surmonter les effets de masquage de la végétation. Une telle intégration peut être facilitée par la simple superposition de différentes couches dans un Système d'Information Géographique (SIG), suivie d'une analyse des données de terrains [17]; [19]. Les cuirasses latéritiques observées au cours de cette étude sont les cuirasses latéritiques ferrugineuses et les cuirasses latéritiques aluminoferrugineuses. Ces deux cuirasses sont similaires à celles décrites par [20] lors de l'étude de descriptions morphoscopiques, géochimiques et minéralogiques des faciès cuirassés des principaux niveaux géomorphologiques de Côte d'Ivoire. Les données de sondage ont montré que les formations ont des épaisseurs différentes. Ainsi selon [21], la nature des profils d'altération dépend du type de roche, du climat et du drainage.

Aussi, les différentes épaisseurs des formations observées dans la zone d'étude peuvent être dues aux différences entre les roches mères rencontrées d'une part, et d'autre part, la géomorphologie. Toutefois, les travaux menés ont permis de mettre en évidence une épaisseur moyenne du régolithe d'environ trente m (30m), permettant ainsi d'avoir une connaissance du profil d'altération dans la zone nord de Bouaflé alors que [16] relève une épaisseur de 18m dans la zone de Toumodi. Selon [22], la cartographie du relief et du régolithe, et l'établissement d'une chronologie des paysages de glaciaire sont nécessaires autour des sites d'échantillonnage afin de connaître le contexte géomorphologique de l'anomalie pour localiser sa source potentielle à distance ou d'identifier la couverture de glaciaire qui masque une ou plusieurs ressources potentielles du socle rocheux. En effet, la compréhension de la variation de l'environnement du régolithe est importante et peut constituer un guide pour la planification des études géochimiques de surface, et informer les planificateurs des levés d'exploration à connaître la distribution relative des différents régimes de régolithe; ce qui leur donnera des indices sur la profondeur à laquelle échantillonner, que ce soit à la même profondeur ou à une profondeur différente. Les anomalies minérales faciles à trouver ont toutes été découvertes dans des terrains régolithiques moins complexes [23]. Aussi, les rapports de [24] et [25] suggèrent que la production d'une carte du régolithe bien développée, peut aider à définir les anomalies déplacées non liées à la minéralisation du substratum rocheux et contribuer ainsi à réduire les enquêtes de suivi des fausses anomalies. De ce fait, cette étude permettra ainsi une meilleure campagne d'échantillonnage et d'interprétation d'éventuelles anomalies géochimiques, afin de mieux explorer les minéralisations.

6 CONCLUSION

La cartographie des régolithes dans la zone d'étude a été réalisée à l'aide de méthodes analytiques à distance liées aux activités de validation, permettant de bien comprendre la distribution spatiale des différents régimes de régolithe à l'œuvre. Trois régimes de régolithe ont été observés au cours de la cartographie, à savoir le régime de cuirasse, le régime d'érosion et le régime de dépôt. Différentes activités de forage Aircore sur le permis mettent en évidence l'épaisseur moyenne de ce régolithe. Ce régolithe démontre une activité météorique significative sur l'ensemble du permis, en particulier dans les climats tropicaux humides.

Cette étude contribuera à l'amélioration des connaissances, plus détaillées du régolithe et de la géologie de la zone nord de Bouaflé, et sera même un guide dans les travaux d'exploration minière en Côte d'Ivoire.

REFERENCES

- [1] Milesi J. P., Feybesse J. L., Ledru P., Dommanget A., Ouedraogo M. F., Marcoux E., Prost A., Vinchon C., Sylvain J. P., Johan V., Teghey M., Calvez J. Y., Lagny P. (1989). Les minéralisations aurifères de l'Afrique de l'Ouest: leurs relations avec l'évolution lithostructurale du protérozoïque inférieur. *Chron. Rech. Min.* 497, pp. 3-98.
- [2] Le Mignot E. (2014). Les prospectifs d'or comme témoins de l'histoire géologique du craton ouest-africain- Apports de la datation. Doctorat, Univ. Lorraine, 322p.
- [3] Yace I. (2002). Initiation à la géologie. L'exemple de la Côte d'Ivoire et de l'Afrique de l'ouest. Edition CEDA, Abidjan, Côte d'Ivoire, 183p.
- [4] Bessoles B. (1977). Géologie de l'Afrique. Le Craton Ouest-Africain. *Mém. B.R.G.M.*, n°88, 402p.
- [5] Yace I. (1982). Etude du volcanisme éburnéen dans les parties centrale et méridionale de la chaîne Précambrienne de Fêtékro. Direction de la Géologie. Abidjan. 156 p.

- [6] Lemoine S. (1988). Evolution géologique de la région de Dabakala (Nord-Est de la Côte d'Ivoire) au Protérozoïque inférieur; possibilité d'extension au reste de la Côte d'Ivoire et du Burkina Faso. Thèse doct. ès-sci Nat. Univ. Clermont-Ferrand 2, 334 p.
- [7] Mortimer J. (2016). Paleoproterozoic geology of the Toumodi area, Ivory Coast, 1: 100,000. Journal of Maps, DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/17445647.2016.1227732>.
- [8] Leake M.H. (1992). The petrogenesis and structural history of the northern sector of the Fettekro Greenstone belt, Dabakala region, NE Côte d'Ivoire. Ph.D. Thesis, Uni. Portsmouth, U.K., 315 p.
- [9] Daouda Y. B. (1998). Lithostratigraphie et pétrologie des formations birimiennes de Toumodi-Fêtékro (Côte d'Ivoire). Implication pour l'évolution crustale du paléoprotérozoïque du craton-africain. Thèse de Doctorat, Université d'Orléans. Mémoire BRGM n°737, 191p.
- [10] Berger J., Diot H., Khalidou L., Ohnenstetter D., Femenias O., Pivin M., Demaiffe D., Bernard A. Et Charlier B. (2013). Petrogenesis of Archean PGM-bearing chromitites and associated ultramafic–mafic–anorthositic rocks from the Guelb el Azib layered complex (West African craton. Mauritania). Precambrian Research Vol 224. pp. 612– 628.
- [11] Tagini B. (1971). Esquisse structurale de la Côte d'Ivoire; essai de géotectonique régionale. Doctorat, Univ. Lausanne, Côte d'Ivoire (SODEMI), Bull. n°5, 302p.
- [12] Kouamelan A. N. (1996). Géochronologie et géochimie des formations archéennes et protérozoïques de la dorsale de Man en Côte d'Ivoire, implication pour la transition Archéen Protérozoïque. Mém. Géosciences Rennes, 73, 289p.
- [13] Coulibaly I. (2018). Pétrographie des volcanites et plutonites de la partie Sud du sillon volcanosédimentaire de Toumodi-Fêtékro. Doctorat Univ. Félix HOUPHOUET-BOIGNY d'Abidjan. 221p.
- [14] Tagini B. (1972). Carte géologique de la Côte d'Ivoire à l'échelle 1/2 000 000. SODEMI-ORSTOM-Université d'Abidjan.
- [15] Delor C., Yao B. D., Okou A., Koné Y. et Diaby I. (1995). Carte géologique de la Côte d'Ivoire à 1/200000, feuille Gagnoa 4b. FAC, Vol. 92, N° 73, 01 p.
- [16] Allou G., Lionel-Dimitri B.T.K., Inza C., Anicet K.N., Yacouba C. (2022). Apport de la Cartographie du Régolithe dans la Connaissance de la Géologie de la Zone Nord de Toumodi (Centre de la Côte d'Ivoire). European Scientific Journal, ESJ, 18 (33) 243. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n33p243>.
- [17] Arhin E. (2015). Regolith mapping of deeply weathered terrain in savannah regions of the Birimian Lawra Greenstone Belt, Ghana Earth Sciences, 49, 3-164.
- [18] Metelka V., Baratoux L., Mark W. (2017). Automated regolith landform mapping using airborne geophysics and remote sensing data, Burkina Faso, West Africa. Remote Sensing of Environment, 4, 6-15.
- [19] Grimaud J.L., Chardon D., Metelka V., Beauvais A., Bamba O. (2015). Neogene cratonic erosion fluxes and landform evolution processes from regional regolith mapping (Burkina Faso, West Africa). Geomorphology 241, 315–330.
- [20] Grandin G. (1965). Les cuirasses de la région birimienne volcano-sédimentaire de Toumodi: jalons de l'histoire morphologique de la Côte-d'Ivoire C. R. Acad. Se. Paris, t. 269, pp.1474-1477.
- [21] Lawrance L.M. (1997). Supergene Geochemistry. Short course Notes, 88 p.
- [22] Bamba O. (2009). Morphopédologie et anomalie géochimique. Can. J. Earth Sci. 46, 939–948.
- [23] Butt C.R.M., Zeegers H. (1992). Regolith exploration in tropical and subtropical terrains. Handbook of Exploration Geochemistry 4. Elsevier, Amsterdam (607 pp.).
- [24] Bolster S.J.S. (2007). Regolith mapping, landscape evolution and geochemical applications. Exploration International Conference on Mineral Exploration, Workshop 2, pp. 19–21.
- [25] Arhin E., Nute P.M. (2009). Significance of regolith mapping and its implication for gold exploration in northern Ghana: a case study at Tinga and Kunche. Geochem. Explor. Environ. Anal. 9, 63–69.

Effets de la pré-exposition au soleil et du pré-traitement au froid sur les différents stades de développement de *Callosobruchus Maculatus* (Coleoptera-Chrysomelidae)

[Effects of sun pre-exposure and cold pre-treatment on the different development stages of *Callosobruchus Maculatus* (Coleoptera-Chrysomelidae)]

Mahamadou Amadou NAFISSATOU, Toufique MARIAMA, Chaibou Rabi, and DOUMMA Ali

Département de la Biologie, Faculté des Sciences et Techniques de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, BP 10662
Niamey, Niger

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

ABSTRACT: Cowpea, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (Fabaceae) is a legume that plays an important role in the dietary balance of tropical populations. These seeds are an important source of protein that can make up for the lack of animal protein in food rations in sub-Saharan countries. The Bruchidae family (*Bruchidius atrolineatus*, and *Callosobruchus maculatus*) occupies first place in the diversity of insects that have adapted to cowpea stocks. Bruchidius adults colonize cowpea crops from the start of flowering. Females lay eggs on the pods as soon as they begin to form. Larvae and pupae are therefore already present in the harvested products, which are stored in granaries. The larvae penetrate the seeds, at the expense of which they carry out their embryonic post-development. The damage caused by this insect pest can be considerable if no protective measures are taken. To prevent damage caused by *C. maculatus* during cowpea storage, farmers generally expose seeds and pods to sunlight for several days before storing them. The aim of this work was to study the impact of sun pre-exposure and cold pre-treatment on the different development stages of *C. maculatus*. The results obtained show that *C. maculatus* adults are more sensitive to solar radiation than to cold conservation; in the case of pre-exposure to the sun, a 100% mortality rate is observed from 1 h onwards, whereas the same result is obtained at 2h30 min in the case of cold pre-treatment. On the other hand, cold had a greater effect on eggs, L2 larvae and L4 larvae than sunlight. For eggs, a 30 minutes cold pre-treatment gives a 100% mortality rate, whereas pre-exposure to the sun requires 45 minutes. L2 larvae and L4 larvae gave respectively 100% mortality from 2h and 2h30mn cold; while for sun pre-exposure respective durations of 2h30 min and 3h were recorded.

KEYWORDS: impact, cold, development, *C. maculatus*, Niger.

RESUME: Le niébé, *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (Fabaceae) est une légumineuse qui joue un rôle important dans l'équilibre alimentaire des populations des régions tropicales. Ces graines constituent une importante source de protéines pouvant combler les insuffisances en protéines animales des rations alimentaires dans les pays subsahariens. La famille des Bruchidae (*Bruchidius atrolineatus*, et *Callosobruchus maculatus*) occupe la première place de la diversité des insectes qui se sont adaptés aux stocks de niébé. Les adultes de bruches colonisent les cultures de niébé dès le début de la floraison. Les femelles pondent sur les gousses dès que celles-ci commencent à se former. Les larves et les nymphes sont donc déjà présentes dans les produits de la récolte qui seront entreposés dans les greniers. Les larves pénètrent dans les graines aux dépens desquelles elles assurent leur développement poste embryonnaire. Le dommage causé par cet insecte nuisible peut être important si aucune mesure de protection n'est prise. Afin de prévenir les dommages causés par *C. maculatus* lors du stockage du niébé, les agriculteurs exposent généralement les graines et les gousses aux radiations du soleil pendant plusieurs jours avant de les stocker. L'objectif de ce travail est d'étudier l'impact de la pré-exposition au soleil et du prétraitement au froid sur les différents stades de développement de *C. maculatus*. Les résultats obtenus montrent que, les adultes de *C. maculatus* sont plus sensibles aux radiations solaires qu'à la conservation au froid; au niveau de la pré-exposition au soleil un taux de mortalité de 100% est observé à partir de 1h; alors que ce même résultat est obtenu à 2h30mn au niveau du prétraitement au froid. Par contre le

froid agit plus sur: les œufs; les larves L2 et les larves L4 que le soleil. En effet pour les œufs un prétraitement au froid de 30mn donne un taux de mortalité de 100% alors que pour la pré-exposition au soleil il faut une durée de 45mn. Les larves L2 et les larves L4 donnent respectivement 100% de mortalité à partir de 2h et 2h30mn au froid; tandis que pour la pré-exposition au soleil les durées respectives de 2h30 mn et 3h sont enregistrées.

MOTS-CLEFS: impact, froid, soleil, développements, *C. maculatus*, Niger.

1 INTRODUCTION

Les bruches occupent la première place de la diversité des insectes qui se sont adaptés aux stocks de niébé. Les adultes colonisent les cultures de niébé dès le début de la floraison. Les femelles pondent sur les gousses dès que celles-ci commencent à se former. Les gousses et les graines sont déjà infestées au champ avant d'être entreposées dans les greniers. Les larves pénètrent dans les graines aux dépens desquelles elles assurent leur développement post-embryonnaire. Les dommages causés par ces insectes nuisibles, notamment *C. maculatus*, peuvent être importants si aucune mesure de protection n'est prise. Afin de prévenir les dommages causés par *C. maculatus*, lors du stockage du niébé, les agriculteurs exposent généralement les graines et les gousses aux radiations du soleil pendant plusieurs jours avant de les stocker.

La pré exposition au soleil et le prétraitement au froid limitent considérables l'évolution des populations de *C. maculatus* au cours du stockage. Il s'avère donc important d'expliquer ces résultats en précisant les stades développement de *C. maculatus* sur lesquels ces deux méthodes agissaient.

Les effets de ces deux méthodes sur les insectes seraient liés essentiellement à leur activité insecticide sur les adultes en raison de leur capacité physiologique limitée à thermo-réguler Selon [5], [6], [10], [11]. Ces deux facteurs peuvent également avoir des effets insecticides assez poussés en agissant sur les stades de développement précoces de ces insectes notamment les œufs et les larves moins âgées.

Ainsi, la présente étude vise à expliquer les mécanismes d'action de l'exposition solaire et du froid sur les populations des bruches au cours du stockage en déterminant leurs effets sur les différents stades de développement de *C. maculatus*, espèce se maintenant dans les stocks toute l'année.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 SITE D'ÉTUDE

Le site expérimental est situé au sein de l'Université Abdou Moumouni de Niamey/Niger, précisément dans le laboratoire d'entomologie agricole, dont les coordonnées géographiques sont: Latitude: 13°30'N; longitude: 02°08'E et Altitude: 216m (Figure 1).

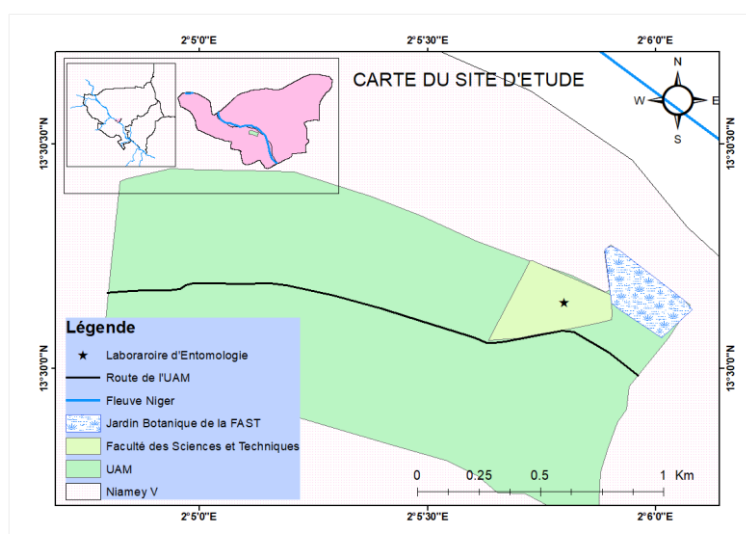


Fig. 1. Zone d'étude (Nafissatou, 2023)

2.2 LA SOUCHE DE NIÉBÉ

Toutes les expériences ont été conduites avec les graines d'une variété locale de niébé. Il s'agit de graines infestées naturellement aux champs qui ont été achetées auprès des producteurs de la commune de Balayera, localité située à 100 Km au Nord-Est de Niamey, capitale du Niger. Ces graines contiennent à priori tous les différents stades de développement des bruches.

2.3 LA SOUCHE DE *C. MACULATUS*

Les adultes de *C. maculatus* (Fig. 2), utilisés au cours des expériences, proviennent de graines infestées naturellement aux champs qui ont été achetées auprès des producteurs de la commune de Balayera.

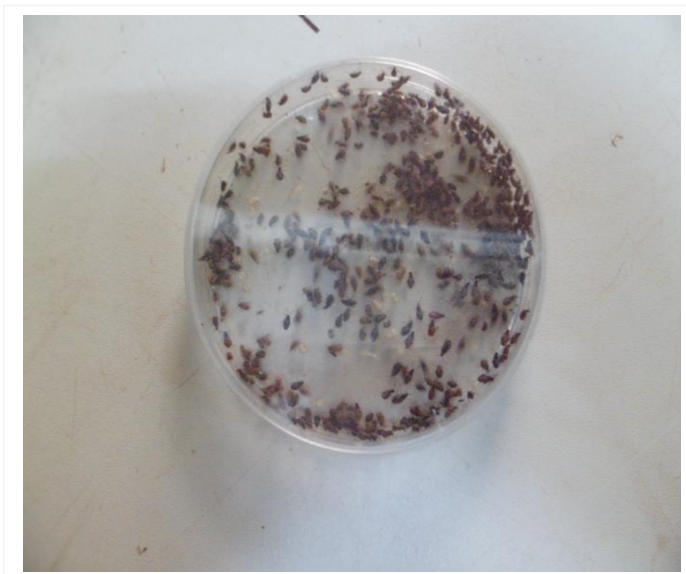


Fig. 2. La souche de *C. maculatus* (Nafissatou, 2023)

2.4 MÉTHODOLOGIE

2.4.1 LES CONDITIONS D'ÉTUDE AU LABORATOIRE

Toutes les expérimentations se sont déroulées dans les conditions climatiques naturelles au laboratoire d'entomologie de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université Abdou Moumouni de Niamey. Durant la période d'étude, les températures ont varié de 24,3°C à 36,7°C et les taux d'humidité relative de l'air ont varié 12,3% à 54%.

2.4.2 L'ÉLEVAGE DES CALLOSOBRUCHUS MACULATUS

L'élevage a été conduit à partir d'une souche de *C. maculatus* maintenue au laboratoire d'entomologie appliquée de la FAST. Pour ce faire, 50 couples de *C. maculatus* sont introduits dans une boîte parallélépipède en plexiglas (L = 17 cm; l = 11 cm; h = 4 cm) contenant environ 100 g à 150 g de graines saines de niébé de la variété locale (Fig. 3).

Quarante-huit heures après, les insectes sont retirés par tamisage, les graines ainsi infestées expériences de travaux.



Fig. 3. Dispositif d'élevage de *C. maculatus* au laboratoire (Nafissatou, 2023)

2.4.3 DESCRIPTION DES DIFFERENTS STADES DES LARVAIRES DE *C. MACULATUS*

Le cycle de développement de *C. maculatus* dans les conditions de laboratoire se présente comme suit selon les travaux de Patoin 1978:

2.4.3.1 LE STADE ŒUF

L'œuf de *C. maculatus* de la forme non voilière est asymétrique, arrondi à la base, subconique à l'extrémité. Il mesure de 0,4 à 0,7 mm de long sur 0,3 à 0,4 mm de large. Lorsque la femelle le dépose sur la surface du haricot, il s'aplatit légèrement sur ce substratum auquel il adhère grâce à un liquide expulsé par la femelle en même temps que l'œuf. L'œuf est déposé de préférence sur la face cachée du haricot. Celui-ci peut en porter jusqu'à 37.

2.4.3.2 L'INCUBATION

La durée de l'incubation varie avec la température ambiante. À 20° elle est de 5 jours; à 29°C, elle n'est plus que de 3 jours.

2.4.3.3 LES LARVES

2.4.3.3.1 LA LARVE DE 1ER STADE OU (L1)

La larve 1 apparaît invariablement à l'endroit de dépôt de l'œuf; ce n'est pas une larve libre. Elle reste à l'intérieur de l'œuf, protégée par le chorion pendant 24 à 48 heures puis elle commence à perforer le tégument de la graine pour y pénétrer. C'est une larve de type Chrysomélien. Son corps est blanchâtre et elle possède 3 fines paires de pattes non fonctionnelles. Chez la larve de *C. maculatus*, nous n'observons qu'une seule plaque, la plaque prothoracique. Cette plaque ainsi que la tête et les pièces buccales sont sclérifiées. La larve 1 creuse activement une galerie rectiligne dans l'épaisseur du cotylédon et dès qu'elle y a totalement pénétré, elle mue. Celle-ci intervient vers les 10 e -11 e jours à 20°C et vers les 5 e- 6 e jours à 29°C. La capsule céphalique de la larve 1 de *C. maculatus* a dans les 2 cas une longueur moyenne égale à 0,12 ± 0,01 mm et une largeur moyenne égale à 0,13 ± 0,01 mm

2.4.3.3.2 LA LARVE DE 2E STADE OU (L2)

Différente de la première, elle n'a plus de plaque prothoracique, ni de pattes. Elle est blanchâtre à l'exception de la tête sclérifiée qui est marron-jaunâtre. Elle est de type rhynchophorien. Elle possède une paire d'antennes articulées à 3 articles. Elle continue à creuser le haricot et à se nourrir des réserves qui y sont contenues. Elle grossit et élargit au fur et à mesure la galerie en une première logette. La larve 2 est presque toujours localisée dans le cotylédon de pénétration. La mue intervient vers le 17e et 18e jour après la ponte à 20°C, vers les 8e- 9e jours à 29°C. Les dimensions de la capsule céphalique de la larve 2 sont les suivantes: longueur moyenne: 0,33 ± 0,01mm; largeur moyenne: 0,25 ± 0,01mm.

2.4.3.3.3 LA LARVE DE 3E STADE OU (L3)

Elle est du même type apode que la précédente. Elle continue à creuser et à agrandir la galerie. Elle grossit considérablement dans la 2e logette qu'elle a confectionnée progressivement et mue vers le 24e jour à 20°C et le 14e jour à 29°C. La capsule céphalique de la L3 a aussi augmenté de taille. Sa longueur atteint une moyenne de: $0,50 \pm 0,01$ mm et sa largeur moyenne de: $0,41 \pm 0,02$ mm.

2.4.3.3.4 LA LARVE DE 4E STADE OU (L4)

Elle est de même type que L2 et L3. Elle creuse une 3e logette au fur et à mesure qu'elle grossit. La larve 4 peut atteindre 4 mm. La 3e logette à laquelle elle donne une taille définitive est arcquée et n'est plus séparée de l'extérieur que par la fine membrane tégumentaire de la graine. C'est là que s'effectue la nymphose vers le 28e jour après la ponte à 20°C ou vers le 19e jour après la ponte à 29°C. La capsule céphalique de L4 a une longueur moyenne de: $0,77 \pm 0,01$ mm et une largeur moyenne de: $0,57 \pm 0,02$ mm.

2.4.3.3.5 LA NYMPHOSE

Comme chez tous les holométaboles, des transformations importantes vont s'opérer pendant la nymphose. La nymphe est au départ blanchâtre et porte encore sur sa face ventrale l'exuvie de la larve de 4e stade. La nymphose a lieu dans la logette n°3, aménagée par la larve 4. Sa paroi est formée par le tégument de la graine. Son pourtour est tapissé par la coque de nymphose. Celui-ci signale que la larve de dernier stade régurgite un fluide habituellement mousseux et laiteux appliquée sur la paroi de la logette. Ce liquide contiendrait des sphérocristaux (composés d'urate) d'après [2], et proviendrait des tubes de Malpighi pour [7], la coque de nymphose est bien fabriquée à l'aide de la substance blanche observée dans les tubes de Malpighi mais après transit par l'intestin et régurgitation. La phase d'accumulation principale de cette substance est au 4e stade larvaire. Elle est cependant visible dès le 3e stade. Chez *C. maculatus* l'état actuel de nos observations ne vous permettent pas d'envisager une hypothèse différente sur l'origine de la coque de nymphose. Nous y observons les mêmes sécrétions blanchâtres. Chez la nymphe les organes se sclérifient grosso mode dans l'ordre suivant: les yeux d'abord, les pièces buccales et les antennes, les pattes, les élytres puis le corps tout entier.

2.4.3.3.6 L'IMAGO

L'imago émerge de la graine en découpant la membrane tégumentaire à l'aide de ses mandibules. C'est un insecte mur, prêt à s'accoupler dans les minutes qui suivent s'il est de la forme non voilière. Dans le cas des imagos de la forme voilière, les organes génitaux sont immatures et on n'observe aucun accouplement dans les 4 ou 5 jours suivant l'émergence. Dans tous les cas, l'âge de l'insecte est déterminé à partir de l'instant où il émerge du haricot et mène une vie libre.

2.5 PROCÉDURES EXPÉRIMENTALES

2.5.1 EFFET DE L'EXPOSITION AU SOLEIL SUR LES DIFFERENTS STADES DE DEVELOPPEMENT DE CALLOSOBRUCHUS MACULATUS

Toutes les expériences se sont déroulées entre 12h et 15h au mois d'Avril.

2.5.1.1 EFFETS SUR DES ADULTES DE C. MACULATUS:

L'expérience a consisté à introduire vingt couples de *C. maculatus* âgés d'au plus 24 h dans un bocal en verre de 350ml contenant 100g de graines saines de niébé. Chaque bocal est fermé avec un couvercle portant des trous d'aération équidistants, puis exposé au soleil durant: 0; 15; 30; 45 et 60 mn; au terme de chaque durée d'exposition, les bocaux sont ramenés au laboratoire où il a été procédé au dénombrement des insectes morts 24h après. Pour chacun des traitements, l'expérience est répétée quatre fois. La mortalité est évaluée selon la formule:

$$\text{Mortalité observée} = \frac{(\text{Le nombre total d'insectes morts})}{(\text{Le nombre total d'insectes testés})} \times 100$$

Si la mortalité des Témoins est supérieure à 5 %, il est nécessaire de corriger la mortalité observée au niveau des lots traités par la formule d'Abbott:

$$\% \text{ Mortalité corrigée} = \frac{(\% \text{ mort. observée} - \% \text{ mort. témoin})}{(100 - \% \text{ mort. témoin})} \times 100$$

2.5.1.2 EFFET SUR LES ŒUFS FRAIS

50 graines portant chacune un œuf frais de *C. maculatus* sont introduites dans un bocal en verre de 350ml puis exposées au soleil. Les durées d'exposition au soleil appliquées sont les suivantes: 0 (témoin); 10; 20; 30; 40; 45mn. Pour chacune de ces durées d'exposition, l'expérience est réalisée quatre fois. Au bout de la durée d'exposition, les graines sont transférées dans des boîtes rectangulaires en plexiglass. Dix jours après, le nombre d'œufs éclos et stériles est dénombré dans chaque bocal. Les œufs stériles se distinguent des œufs fertiles par leur aspect translucide. A la fin de l'expérience, le taux de mortalité des œufs est déterminé par le rapport numérique entre le nombre d'œufs non éclos et le nombre total d'œufs.

$$\% \text{ Mortalité des œufs} = \frac{(\text{Nombre d'œufs non éclos})}{(\text{Nombre total d'œufs})} \times 100$$

2.5.1.3 EFFET SUR LES LARVES

L'expérience a porté sur les larves de stades 2 (L2) et 4 (L4) qui selon [12] sont obtenues respectivement à 10 et 12 jours après infestation pour la L2 et 14 à 16 jours après infestation pour la L4. Les durées d'exposition suivantes sont testées: 0, 30 mn, 1h, 1h30, 2h, et 2h30 pour les larves L2; et 0; 30 mn; 1h30; 2h; et 2h30 et 3h pour les larves L4.

Pour chaque durée d'exposition et pour chaque stade larvaire, un bocal contenant 50 graines renfermant chacune une larve est constituée. Au bout de chaque durée d'exposition, les graines sont transférées dans des boîtes rectangulaires en plexiglass puis maintenues au laboratoire jusqu'à l'émergence des adultes qui ont été quotidiennement dénombrés. Le suivi des émergences a duré 10 jours. Pour chaque traitement, l'expérience est répétée quatre fois.

Pour chaque situation, des bocaux préparés dans les mêmes conditions que celles décrites précédemment sont conservées au laboratoire pour servir de témoins.

Aux termes du suivi des émergences, le taux de mortalité larvaire est déterminé, par le rapport numérique entre le nombre total d'individus émergés et le nombre total de larves.

$$\% \text{ Mortalité larvaire} = \frac{(\text{Nombre total d'individus})}{(\text{Nombre total de larves})} \times 100$$

2.5.2 EFFET DU FROID SUR LES DIFFERENTS STADES DE DEVELOPPEMENT DE *C. MACULATUS*

Toutes les expériences ont été réalisées avec un congélateur de marque Sharp réglé à -6°C; les procédures expérimentales sont identiques à celles utilisées au niveau de l'exposition au soleil. Pour les différents stades imaginaires et pré-imaginaires, les durées d'exposition au froid suivantes sont appliquées:

- **Adultes:** 0, 15 mn, 30 mn, 45 mn, 1h, 1h30, 2h, et 2h30,
- **Œufs frais:** 0, 5 mn, 10 mn, 15 mn, 20 mn, 25 mn, et 30mn,
- **Larves L2:** 0, 30mn, 1h, 1h30, et 2h,
- **Larves L4:** 0, 30mn, 1h, 1h30, 2h et 2h30.

2.6 CHOIX DES TESTS STATISTIQUES

A la fin de l'expérience, les moyennes des effectifs obtenues dans les différents lots ont été comparées en fonction du traitement par une analyse de variance (ANOVA) par le logiciel Genstat 17^e édition. Lorsque l'ANOVA indiquait des différences significatives le test de Student Newman Keuls a été utilisé pour la séparation des moyennes au seuil de probabilité de 5%.

3 RÉSULTATS

3.1 EFFET DE L'EXPOSITION AU SOLEIL ET DU FROID SUR LES ADULTES DE CALLOSOBRUCHUS MACULATUS

Le taux de mortalité au niveau du témoin est resté nul durant toute la période d'exposition (Tableau 1). Par contre, cette mortalité varie lorsque les adultes sont exposés au soleil ou au froid. En effet, dans les deux situations expérimentales, un taux de mortalité de 100% est observé respectivement au bout d'une heure d'exposition pour les insectes exposés au soleil et 2h30 d'exposition pour ceux exposés au froid. Cependant, l'exposition au soleil semble avoir plus d'impact que le froid. Lorsque les insectes sont exposés au soleil, près de 90% des adultes sont tués au bout d'une heure d'exposition. Ce taux n'est observé au niveau du froid qu'au bout de 2h.

Tableau 1. Taux de mortalité des adultes de *C. maculatus* observés dans les différents traitements

	Témoin		Froid		Soleil	
	Nombre d'adultes morts	Taux de mortalité	Nombre d'adultes morts	Taux de mortalité	Nombre d'adultes morts	Taux de mortalité
15mn	0	0%	7±2,004 ^e	17,5%	6 ±1,941de	15%
30mn	0	0%	28±2,004e	70%	18±1,753d	45%
1	0	0%	30±1,884de	75%	27±1,533c	67,5%
1h	0	0%	31±1,891de	77,5%	40±2,004 e	100%
1h30mn	0	0%	32±1,908 de	80%	-	-
2h	0	0%	35±1,944de	87,5%	-	-
2h30mn	0	0%	40±2,004 ^e	100%	-	-

Les valeurs d'une même colonne suivies des différentes lettres alphabétiques présentent de différence significative selon le test de Student Newman Keuls au seuil de probabilité de 5%.

3.2 EFFET DE L'EXPOSITION AU SOLEIL ET AU FROID SUR LES ŒUFS DE CALLOSOBRUCHUS MACULATUS

Les résultats obtenus montrent que les radiations solaires et le froid influencent significativement le développement des œufs de *C. maculatus* (Tableau 2). Au bout de 15 min d'exposition, le taux d'éclosion des œufs est de 67% pour le lot exposé au froid et 82 % pour le lot exposé au soleil. Cependant, le froid semble avoir plus d'effet sur les œufs que les radiations solaires. En effet, au bout de 30 min d'exposition, le taux de mortalité des œufs est de 100% lorsqu'ils sont exposés au froid contre 50 % lorsqu'ils sont exposés au soleil. Pour les œufs exposés au soleil, le taux de 100% n'est observé qu'au bout de 45 min d'exposition.

Quel que soit la durée d'exposition des œufs, le taux d'éclosion enregistré au niveau du lot témoin maintenu au laboratoire (96 à 97 %) est significativement plus important que celui enregistré dans les lots expérimentaux.

Tableau 2. Taux de mortalité des œufs de *C. maculatus* observés dans les différents traitements

	Froid		Soleil	
	Nombres œufs éclos	Taux de fertilité	Nombres œufs éclos	Taux de fertilité
Témoin	96±0,9575e	96%	97± 0,9725f	97%
15mn	67±0,9400c	67%	82± 0,9475d	82%
30mn	0±0,0000 a	0%	50± 0,5025b	50%
45mn	-	-	0± 0,0000a	0%

Les valeurs d'une même colonne suivies des différentes lettres alphabétiques présentent de différence significative selon le test de Student Newman Keuls au seuil de probabilité de 5%.

3.3 EFFET DE L'EXPOSITION AU SOLEIL ET AU FROID SUR LE DEVELOPPEMENT DES LARVES DE CALLOSOBRUCHUS MACULATUS

Le taux de survie larvaire varie de 95 à 86% dans le lot témoin maintenu dans les conditions du laboratoire. Ce taux chute significativement en fonction du stade larvaire et de la durée d'exposition au niveau des lots expérimentaux. Pour les larves L2 (Tableau 3), le taux de survie larvaire devient nul au bout de 2h et 2h30 d'exposition respectivement pour les larves exposées au froid et celles exposées aux radiations solaires. Par contre pour les larves L4 (Tableau 4), le taux de survie larvaire ne s'annule qu'au bout de 3h d'exposition pour les larves exposées au soleil et 2h30 d'exposition pour les larves exposées au froid.

Tableau 3. Le taux de survie des larves L2 de *C. maculatus* enregistrés dans les différents traitements

	Froid		Soleil	
	Nombres de larves L2 mortes	Taux de survie larvaire	Nombres de larves L2 mortes	Taux de survie larvaire
Témoin	5± 0,0500 a	95%	4± 0,0425 a	96%
30mn	12 ±0,1175 b	88%	8± 0,0775 ab	92%
1h	38± 0,3725 d	62%	22± 0,2275 c	78%
1h30mn	59± 0,5825 e	41%	46 ±0,4100 d	54%
2h	100± 1,0000 f	0%	56± 0,5550 e	44%
2h30mn	-	-	100± 1,0000 f	0%

Les valeurs d'une même colonne suivies des différentes lettres alphabétiques présentent de différence significative selon le test de Student Newman Keuls au seuil de probabilité de 5%.

Tableau 4. Taux de survie des larves L4 de *C. maculatus* enregistrés dans les différents traitements

	Froid		Soleil	
	Nombre de larves L4 mortes	Taux de survie larvaire	Nombre de larves L4 mortes	Taux de survie Larvaire
Témoin	3±0,0325 a	97%	6±0,0575b	94%
30mn	8±0,0775c	92%	12± 0,1125d	88%
1h	11± 0,1075d	89%	36±0,3575 e	64%
1h30mn	55±0,5550 f	45%	55±0,5550f	45%
2h	68±0,6775 h	32%	61±0,6075g	39%
2h30mn	100±1,0000j	0%	82±0,8175i	18%
3h	-	-	100±1,0000j	0%

Les valeurs d'une même colonne suivies des différentes lettres alphabétiques présentent de différence significative selon le test de Student Newman Keuls au seuil de probabilité de 5%.

4 DISCUSSION

L'analyse des résultats obtenus au cours de cette étude montre que l'exposition au soleil et le traitement au froid ont des effets sur les différents stades de développement de *C. maculatus*. En effet, quel que soit le stade considéré, on constate que la survie de ces différents stades varie en fonction de la durée d'exposition à ces deux facteurs environnementaux. Les deux traitements appliqués semblent avoir également un effet sur la survie des adultes et le développement larvaire. En effet, dans les situations expérimentales, le taux de survie des adultes, le taux de survie larvaire et le taux d'émergence des adultes sont relativement plus importants dans le témoin que dans les lots traités. Cependant, pour les adultes, l'exposition au soleil semble avoir plus d'impact que l'exposition au froid. En effet, lorsque les insectes sont exposés au soleil, près de 90% des adultes sont tués au bout d'une heure d'exposition au soleil. Ce taux n'est observé au niveau du froid qu'au bout de 2h.

De manière générale, les adultes sont plus sensibles à l'élévation de la température que les larves. Ainsi, il ressort de l'examen de ces résultats, que l'exposition au soleil et le traitement au froid semblent affecter considérablement les différents stades de développement de *C. maculatus* comme l'ont déjà montré ([1], [10], [13]). En effet, ces auteurs ont montré que pour une température supérieure à 50°C tous les stades de développement de ce ravageur sont éliminés au bout de quelques minutes d'exposition. Selon [3], une élimination totale des insectes est observée pendant un temps d'exposition des graines d'au moins d'une heure pour une température comprise entre -16 et -22 °C. Des résultats similaires ont été également observés par [8], pendant un temps court de - 10°C à - 30°C.

L'étude des effets des traitements sur les œufs de *C. maculatus* fait ressortir une augmentation du taux de fertilité des œufs en fonction de la durée d'exposition. Cependant le froid semble avoir plus d'impact sur les œufs que les radiations solaires. En effet, au bout de 30 min d'exposition au soleil, le taux de fertilité des œufs est de 50% alors que, pour cette durée d'exposition, aucun œuf n'a éclos au niveau des œufs exposés au froid. Ces résultats sont en accord avec ceux de [9], qui ont montré que l'exposition des œufs de *C. maculatus* à -10° C pendant 8 h a permis d'obtenir une mortalité de 100%. Dans le même ordre d'idée [4], ont montré une mortalité des œufs de *C. maculatus* de 100% après 14 jours d'entreposage au froid à -18 °C.

Par contre, pour les larves, les résultats obtenus ont montré que, contrairement à ce qui est observé chez les adultes le froid semble avoir plus d'impact que le soleil. Toutefois, quel que soit le traitement considéré, les stades larvaires les moins âgés semblent être les plus sensibles.

5 CONCLUSION

Les résultats obtenus au cours de cette étude montrent que les deux méthodes testées, à savoir le traitement au froid et l'exposition au soleil des graines, limitent considérablement la survie des différents stades de développement de *C. maculatus*. En effet, pour chacun des traitements, le taux de mortalité des stades cible a été plus important dans les lots exposés qu'au niveau du témoin. Parmi les méthodes testées, le traitement au froid semble être plus efficace que la pré-exposition au soleil. Les adultes de *C. maculatus* sont plus sensibles à la pré-exposition au soleil alors que les œufs et les larves semblent être plus sensibles au froid.

REFERENCES

- [1] Begum, S., and A., Mannan, Effect of sunning on different pulse seeds infested by the pulse beetle *Callosobruchus chinensis* (L.). *Bangladesh J. Zool.* 19: pp. 262-5, 1991.
- [2] Canzanelli, Studio sul Tonchio del fagiol. Boll. Zool. Agr. Bachic. 2. pp. 47, 1938.
- [3] Fields P. G., The control of stored-product insects and mites with extreme temperatures, *J. Stored Prod. Res.*, vol. 28, no 2, pp. 89 - 118, 1992.
- [4] Johnson, J.A., and K.A., Valero, 2003. Use of commercial freezers to control cowpea weevil, *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae), in organic garbanzo beans. [Online] Available: <http://hdl.handle.net/10113/11316>.
- [5] Kitch, L.W., Ntoukam, G., Shade, R.E., Wolfson, J.L. and L.L. Murdock, A solar heater for disinfecting stored cowpeas on subsistence farms. *Journal of Stored Products Research*, 28: pp. 261-267, 1992.
- [6] Lale, N., and A. A., Kolo, Susceptibility of eight genetically improved local cultivars of cowpea to *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) in Nigeria. *Int J Pest Manage* 44: pp. 25-7, 1998.
- [7] Lerin J., Aspects et conséquences de la compétition larvaire lors de surpeuplement chez *Acanthocelides obtectus* say. (Coleoptère Bruchidae), Thèse de 3e cycle Univ. F. Rabelais – Tours, pp.1975.
- [8] Leroi B., Pichard B., Bonet A., and J., Montes, Les stocks familiaux de haricots au hlesique et la lutte contre les bruches. In Proceeding 5th International \Fi'orking Conference on Stored Product Protection. ED. Fleur - Lessard et P. Ducom September 9-14. Bordeaux. (3), pp. 1639- 1647, 1990.
- [9] Loganathan M., Jayas D. S., Fields P. G. and N. D. G., White, Low and high temperatures for the control of cowpea beetle *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae) in chickpeas. *Journal of Stored products Research* 47: pp. 244-248, 2011.
- [10] Murdock L.L. and R.E., Shade, Eradication of cowpea weevil (Coleoptera: Bruchidae) in cowpeas by solar heating. *American Entomol*, 37: 228-231, 1991.
- [11] Murdock, L.L., Shade, R.E., Kitch, L.W., Noar, W., Chambliss, O.L., Endondo, C. and J. L. Wolfson, Postharvest storage of cowpea in sub-Saharan Africa. In: Singh, B.B., Mohan Raj, D.R., Dashiell, K.E. & Jackai, L.E.N. (Eds), *Advances in Cowpea Research*, pp. 302-312. Ibadan, Nigeria: IITA and JIRCAS. Pp. 375, 1997.
- [12] Toufique B. M., Contribution à la lutte contre les insectes ravageurs des stocks alimentaires par l'utilisation des produits d'origine végétale. Thèse de Doctorat 3e cycle. Université Abdou Moumouni de Niamey, pp. 134, 2001.

Evaluation of coccidiosis impact on the productivity of *Numida meleagris* guinea fowl farms in northern Côte d'Ivoire

Jean Noel Yapi¹, Ouation Souleymane Soro², Assetou Ya Coulibaly¹, Wadjé Jérôme N'Glouan², and Yahaya Karamoko¹

¹Université NANGUI ABROGOUA, Unité de Formation et de Recherches des Sciences de la Nature, Laboratoire de Biologie et Cytologie Animales, 02 BP 801 Abidjan, Côte d'Ivoire

²Université PELEFORO GON COULIBALY, Unité de Formation et de Recherches Sciences de la Nature, Département de Biologie Animale, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: The aim of this study is to determine the share of coccidiosis in the mortality of young guinea fowl (keets) on farms in northern Côte d'Ivoire. Thus, a study was carried out on 192 one-day-old guinea fowl, divided into two (2) batches. The control batch did not receive treatment. The experimental batch was treated with an anticoccidial. Then, the zootechnical parameters and the degree of infestation were measured in each of the batches. The control batch recorded EPG values of 600; 7371.43 and 5442.86 respectively for age groups 0-21d; 22-48d and 49-90d. these values are significantly and respectively 8.6 times; 81.7 times and 63.19 times higher ($p < 0.001$) than those of the experimental group for the same age groups. As for mortality, it is 75% in the Control batch, three times higher than that of the experimental batch. Also, keets subjected to anticoccidial treatment recorded the best growth performance. Coccidiosis is therefore one of the main causes of the high mortality observed in guinea fowl farms in northern Côte d'Ivoire. Thus, the prevention of coccidiosis could help improve the profitability of guinea fowl farms in Côte d'Ivoire. However, the use of biological solutions as an alternative to synthetic antibiotics would be an avenue to explore in order to prevent the solution to this problem from being the start of another problem, in particular that of the resistance of germs to antibiotics.

KEYWORDS: Coccidiosis, Keets, Mortality, Guinea fowl farms, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Coccidia are protozoa that develop in animal digestive tract. They are responsible for dysentery, enteritis and generally bloody diarrhea, often leading to high mortality in infested animals [1]. They are known to affect various animal species, namely mammals, birds and particularly poultry [2]. It is responsible for huge economic losses across the world [3], [4]. Indeed, by extrapolating the economic impacts of eight countries based on health expenditure devoted to the treatment and control of coccidiosis, [5] estimated losses between 9.62 and 15.75 billion euros for 2016 alone. Also, other work has shown that in addition to losses linked to the reduction in egg and meat production, morbidity and mortality, coccidiosis also generates expenses linked to the treatment and prevention of the disease. ([6], [7]). Four species of the genus *Eimeria* have been described in guinea fowl, notably, *Eimeria grenieri*; *Eimeria numidae*; *Eimeria gorakhpuri* and *Eimeria khobahensis* [8]. Several studies around the world and particularly in West Africa have shown that the main constraint linked to guinea fowl breeding remains the high mortality of keets ([9], [10], [11], [12]). Indeed, according to several authors, guinea fowl, although resistant in adulthood to most diseases (Gumboro, Newcastle) which are prevalent among chickens, seem vulnerable from a very young age [13]. The same observation is made in guinea fowl farms in northern Côte d'Ivoire [14]. However, although coccidiosis is suspected, to our knowledge, no confirmatory study has been carried out on the responsibility of coccidiosis in keet mortality. The objective of this study is therefore to determine the share of coccidiosis in the mortality observed among young guinea fowl on farms in the north of the country.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 CHOICE OF STUDY LOCATION

This study was carried out in the north of Côte d'Ivoire, precisely in the locality of Korhogo. This area is characterized by a tropical Sudanese climate marked by two main seasons, including a rainy season which extends from May to October and a dry season from November to April. The choice of this locality lies in the fact that it's not only a guinea fowl breeding area but, also that it records very high young guinea fowl mortality. Additionally, this region is known for its high prevalence of gastrointestinal parasites, including coccidiosis [14].

2.2 EGG COLLECTION AND PRODUCTION OF DAY-OLD GUINEA FOWL

To carry out this study, 297 guinea fowl eggs were collected from breeders in the localities of Korhogo, Sinématiali, Niakaramadougou and Dikodougou. The collection principle was based on obtaining eggs laid and transported to the Korhogo hatchery in less than two days in order to have a good hatching rate for these eggs.

2.3 BATCHES CONSTITUTION

At hatching, after sorting, 192 keets were retained and divided into two batches of 96 individuals. Each batch was divided into sub-batches of 32 keets in order to better evaluate the effect of the treatment on the zootechnical parameters of the animals. The management of the keets took place in a building subdivided into two compartments. Each compartment was subdivided into three galvanized mesh parks according to the sublots. The batches constitution first required individual weighing of all subjects in order to have a substantially identical average weight per batch. Among the two batches, one served as a control (T) and the second was identified as an experimental batch (E).

2.4 KEETS MANAGEMENT

The trial lasted three months during which water was served ad libitum. Also, all animals were fed ad libitum with industrial feed and subjected to the same dewormer, in particular Levasol 20%. During this phase, the control batch (T) did not receive any anticoccidial unlike the experimental batch which was treated with an anticoccidial in particular VETACOX to 1 g for 5 liters of water every 15 days from the 15th day of the trial. In fact, each anticoccidial treatment lasted three (3) successive days with a renewal of the treatment every morning. After three days of treatment, simple water is given to the animals until the next treatment, 15 days later. Random samples of 10 g of droppings were taken twice a week from the first treatment and outside treatment days. Thus, 12 samples per sub-batch were taken in 7 weeks, for a total of 72 samples in all batches combined. After each collection, the samples are immediately sent to the laboratory for coprological analyses, by flotation and the Mac Master method.

2.5 FEEDING AND GROWTH CONTROL

Intake was monitored daily in each batch by the difference between the amount of food fed and the food remaining in the feeders at the end of the day. The ingested is given by the formula (1):

$$\text{Food consumed} = \text{quantity of food distributed} - \text{quantity of food remaining} \quad (1)$$

To evaluate growth performance, weekly weighings were carried out throughout the duration of the experiment. In fact, once a week, 10 young guinea fowl from each batch taken at random were weighed. These weighings made it possible to determine the average weight per animal within each batch according to formula (2):

$$\text{Average Body Weight} = \frac{\sum(\text{Body weight of each individual})}{\text{Number of individuals weighed}} \quad (2)$$

In addition, the Feed Conversion Ratio (FCR) was determined from weight gain and the quantity of food consumed according to the formula (3).

$$\text{FCR} = \frac{\text{Total Feed Consumed (g)}}{\text{Total Weight Gain (g)}} \quad (3)$$

2.6 YOUNG GUINEA FOWL HEALTH CONTROL

Health monitoring was carried out twice a day, morning and evening. The dead are evacuated while the sick are isolated until they recover or die. The mortality rate was determined by the number of deaths on the initial workforce multiplied by 100 as indicated in formula (4):

$$\text{Mortality (\%)} = \frac{\text{Number of deaths during test}}{\text{Number present at start}} \times 100 \quad (4)$$

2.7 YOUNG GUINEA FOWL DROPPINGS ANALYSIS

The qualitative analysis of the droppings consisted of determining the presence or absence of parasitic elements using the flotation technique. Indeed, for each sample, 3 g of feces were homogenized in 42 ml of sodium chloride (NaCl) solution with a density of 1.2. After sieving, the resulting mixture was transferred into a test tube until a convergent meniscus was obtained. Then, a coverslip is applied to the top of the tube, thus promoting contact between the coverslip and the liquid. Ce contact permet l'adhésion des oocystes à la lamelle. This coverslip is removed 10 minutes later and placed on an object slide. Then, the observation is carried out for the whole at x10 magnification and the identification of the parasitic elements at x40 magnification. The quantitative analysis consisted of determining the number of parasitic elements contained in one gram of feces for each sample. To do this, the same process as the qualitative analysis was carried out until the liquid was obtained. The mixture obtained after filtration is poured onto a MacMaster slide. Thus, after 10 minutes the parasitic elements rise towards the upper part of the slide and can be observed under a microscope at x10 magnification. The number of oocysts per gram of fecal matter (EPG) was determined by multiplying the total parasitic elements of both compartments by 50 or by 100 when it comes to the elements of a single compartment of the Mac Master slide.

2.8 STATISTICAL ANALYZES

The parameter values obtained in the two batches were subject to statistical analysis. Indeed, the data presented in proportion were subject to a Chi square test while a Student test was applied to the data presented as an average. The software used is R software version 3.5.1. The significance Threshold for each test was 5%.

3 RESULTS

3.1 WEEKLY FOOD CONSUMPTION

Figure 1 shows the food consumption in grams per subject from both batches during the different weeks of age. statistically, animals in both groups recorded similar food consumption between 0 and 2 weeks. ($p > 0,05$). Consumption per animal reaches 18 g per day at the end of the second week. However, from the start of the third week (W3), the group treated with the anticoccidial recorded significantly higher food consumption than the control group. Indeed, the experimental batch (E) recorded a food consumption per individual of 18g, 25g and 55g per day respectively at the 2nd, 3rd and 4th week compared to only 15g, 18g and 20g per day in young guinea fowl in the control group (T) respectively during the same weeks. From the 4th to the 9th week, food consumption remained statistically higher in batch E ($p < 0,05$). Indeed, consumption per subject increased from 55g per day in the 4th week to 75g per day in the 9th week in animals from batch E. compared to a food consumption per animal in the control batch of 35 g per day at the 4th week which increased to 61 g per day at the 9th week. From the 9th to the 12th week, food consumption evolved statistically in a similar manner in both batches ($p > 0,05$). Indeed, while the subjects treated with the anticoccidial (lot E) show a consumption of 80g/day/animal, those in lot T untreated, are at 67 g/day/animal at the 12th week. Over the entire duration of the experiment, the animals treated with the anticoccidial recorded a significantly higher daily food consumption than that of the control group. ($p < 0,05$).

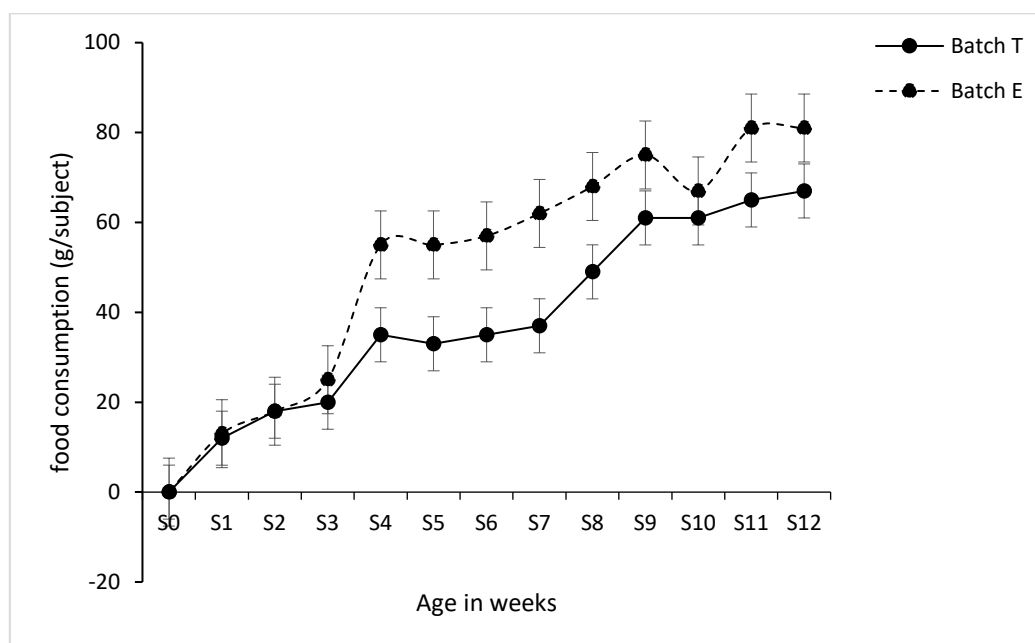


Fig. 1. Evolution of weekly food consumption per keet in each batch (control batch and experimental batch)

3.2 GROWTH OF SUBJECTS

Treated (group E) and untreated (group T) guinea fowl showed statistically similar growth during the first two weeks of age, with a mean weight gain of 67 ± 2.5 g ($p > 0.05$). However, between weeks 3 and 7, treated subjects experienced significantly higher weight gain than untreated subjects ($p < 0.05$). Indeed, at the age of seven weeks, the subjects of batch T recorded an average weight of 201 ± 9.3 g. at the same time, those from batch E recorded an average weight of 303.5 ± 13.32 g. However, from the eighth week, the average weight of guinea fowl in batch T improved to approach that of batch E. During this period, no statistical difference was recorded between the weights of the two batches ($p > 0.05$). During the remainder of the test period, notably from week 9 to week 12, the average weight of the guinea fowl in the control group T remained statistically lower than that of the experimental group E ($p < 0.05$). Indeed, for this period, the weight of the untreated control batch varied from 381.5g to 546.4g compared to 427.3g to 622.8g for the experimental batch having received the anticoccidial treatment. Figure 2 shows the evolution of the average weight of the two batches.

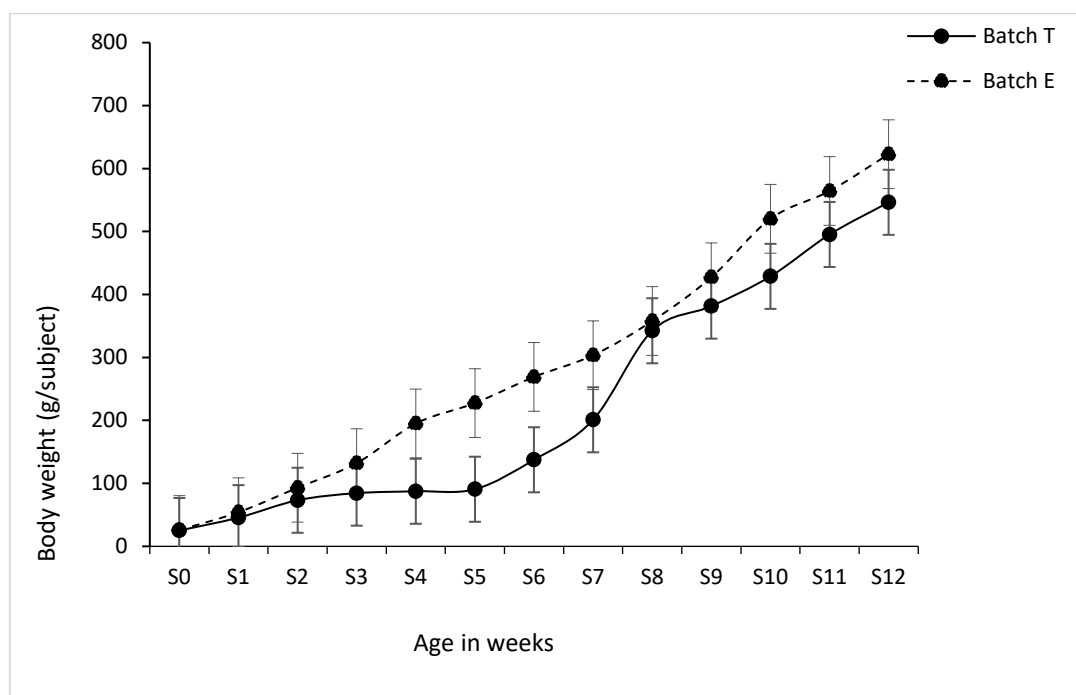


Fig. 2. Evolution of the body weight of keets from the control group and the experimental group during the 12 weeks of the trial

3.3 INFESTATION BY EIMERIA SPP. AND MORTALITY OF BATCHES

Table 1 presents the level of infestation by *Eimeria* spp of guinea fowl in the two batches. The number of eggs per gram of feces (EPG) in the treated batch was significantly lower than that in the untreated batch over the entire trial period. In batch E, the number of eggs per gram of feces ranged from 70 for the 0-21 day period to 90.18 for the 22-48 day period. That of the untreated batch T varied from 600 from 0-21 days to 7371.43 from 22-48 days. Additionally, among untreated subjects, the number of EPG was significantly higher in the period from 22 to 48 days than in the other two periods, including 0 to 21 days and 49 to 90 days. In the experimental group, the number of EPG experienced its highest values during the age groups of 22 to 48 days and 49 to 90 days, however, no significant difference was recorded between the number of EPG for these two periods. Mortality was highest between the first and 7th weeks of age in both groups. However, over this period, the cumulative mortality rate of batch T was significantly higher than that of the experimental batch ($p < 0.05$). Cumulative mortality peak of batch T for this period was 34.4%, approximately three times that of batch E for the same period. Furthermore, between the 7th and 12th weeks of rearing, the cumulative mortality recorded in the subjects of the two batches was 3% and 1% respectively in the batch T and batch E. For this period, no significant difference was recorded between the cumulative mortality rates of the two batches. Taken over the entire trial period, batch T recorded a mortality of 37.5%, three times statistically higher than that of batch E. The figure 3 shows the mortality of each batch.

Table 1. EPG of the control batch and the experimental batch by age

Batches	EPG by age group			G-test	P-value
	0-21 day	22-48 day	49-90 day		
Batch T	600 ^a	7371,43 ^b	5442,86 ^c	7369,5	< 0,001
Batch E	70 ^a	90,18 ^b	86,14 ^{ab}	7,79	< 0,001
P-value	< 0,001	< 0,001	< 0,001		

The superscripts a, b and c indicate whether there is a significant difference ($p < 0.05$) or not ($p > 0.05$) in the number of eggs per gram of feces analyzed in the two batches.

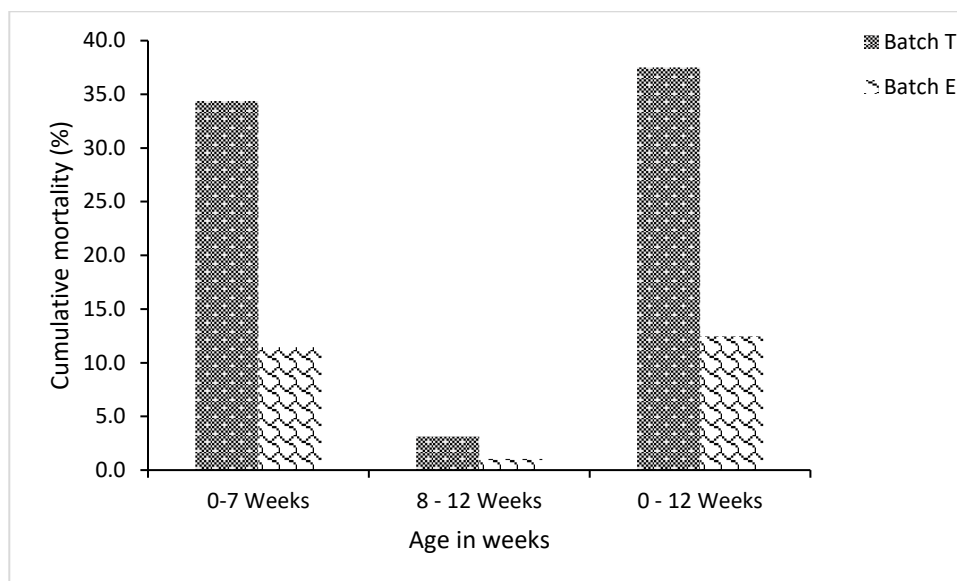


Fig. 3. Evolution of cumulative mortality in the two batches (control batch and experimental batch) of young guinea fowl

4 DISCUSSION

In poultry, the protein and energy requirements necessary for maintenance and growth have a direct impact on the live weight of the animals. In terms of food intake, our results are similar to those obtained by [15] during a study carried out in Botswana on the diet of guinea fowl. Indeed, these authors observed that food consumption increased with age in the different batches despite the level of substitution of fish meal by that of *Imbrasia belina* larva meal. However, the drop in food consumption observed in our work between the fourth and seventh week in untreated subjects could be attributed to coccidia given the high value of the number of EPG. [16] showed that the multiplication of sporozoites in the intestinal tract of poultry leads to damage to the epithelial tissue, thus inducing the interruption of nutrition. The similar growth of guinea fowl from the two groups between 0 and 2 weeks of age could be explained by the fact that at this age, the animals are not yet infested or at least that the degree of infestation is still low. However, the low growth observed between the 3rd and 8th weeks in the control group (T) could be attributed to the coccidian load. Similar results were reported by [17] in chickens. According to this author, the clinical manifestations of coccidiosis appear in the fourth week. These manifestations are marked by the destruction of epithelial cells by coccidia, leading to a reduction in food consumption and a slowdown in growth. At the 8th week, the young guinea fowl had similar growth in all batches. The resumption of growth observed in young guinea fowl, particularly those in batch T, would probably be due to the immunity acquired by the animals. Indeed, according to [18], poultry become immunized over time against the pathogen depending on the degree and duration of the infestation. These authors report that infested individuals develop immunity against the pathogen, but sometimes succumb. Work by other authors has also shown that disease resistance in poultry increases with age ([19], [20]). Additionally, similar studies conducted by [21] on the prevalence of coccidiosis in poultry farms in western Ethiopia revealed a higher prevalence of coccidiosis in subjects aged 2 to 8 weeks. In chickens, coccidiosis generally occurs between the 5th and 7th week ([22], [23]). Still according to [22] beyond the 7th week, subjects develop immunity and therefore increase their resistance to the disease. From the 9th week until the end of the trial, a significant growth delay was recorded in guinea fowl in the control batch compared to the experimental batch. This could be due to the low level of food consumption of this batch compared to the experimental batch. This low consumption would result in a protein and energy intake lower than the guinea fowl's needs. The presence of coccidia in young guinea fowl treated with anticoccidials and in those not treated could be due to a continuous infestation of the subjects. Indeed, in poultry farming, litter constitutes the support and the first channel of contamination between the host and the parasites. The condition of the litter could constitute a favorable reservoir for the development of coccidia. The confinement of poultry in the same enclosure for long periods would be a factor favoring the proliferation of coccidia due to contact over a very small area. In addition, climatic conditions (hot and humid season) are favorable for oocyst sporulation. Thus, guinea fowl become infected by ingesting the oocysts contained in droppings, litter, water and contaminated food. These same observations have been made in Nigeria in most poultry farms. ([24], [25]) In his work, [26] recorded a permanent presence of coccidia in the various poultry farms surveyed in Nigeria. According to this author, heavy rains contribute to raising the humidity level, thus promoting the sporulation of oocysts. However, the low infestation rate observed in young treated guinea fowl could be attributed to the effect of the anticoccidial. In fact, anticoccidial treatment made it possible to reduce the number of

oocysts per gram of stool in treated subjects by approximately 77%. Similar results were obtained by [27] in Ethiopia and by [28] in Uganda. These authors showed that the use of anticoccidial drugs such as Sulfonamide and Diclazuril significantly reduced the number of oocysts per gram of feces in naturally infested poultry. Thus, the administration of anticoccidial drugs could considerably reduce the level of infestation and improve the health status of young guinea fowl. The mortalities observed in all batches during the first weeks of rearing could be linked to the fragility of the guinea fowl and/or insufficient heating. Indeed, during their work on the effects of prophylactic measures on the productivity of local guinea fowl in Burkina Faso, [29] noted that the mortalities recorded during the first weeks mainly concerned guinea fowl with low hatching weight. However, the cumulative mortality rate of 37.5% recorded in the batch not treated with the anticoccidial could be attributed to coccidiosis. Indeed, coccidia during their multiplication cause the destruction of epithelial cells. In most cases, this results in anorexia, anemia, diarrhea, weakening and death of infested subjects. These observations were made by ([29], [30]) during similar studies in Burkina Faso. The mortalities could be due to the deterioration of the animals' immune systems by coccidiosis, making them vulnerable to other pathogens such as *Salmonella* spp. and *E. coli* as shown in the work of [31]. Reducing the mortality rate through the use of anticoccidials or other control methods constitutes an avenue to explore with a view to reducing the losses suffered in traditional guinea fowl breeding which is the primary source of guinea fowl supply in the African countries.

5 CONCLUSION

This study showed that one of the causes of the high mortality of the young guinea fowl recorded on farms in northern Côte d'Ivoire is coccidia parasitism. Indeed, the highest mortality rates were recorded in the control group which did not receive any anticoccidial. Also, the lowest feed consumption and bad zootechnical performances were recorded in this batch. The results of this work show that the implementation of a prophylaxis plan in guinea fowl farms in the north of the country would be an ideal way to considerably reduce the mortality of young guinea fowl. This preventive measure would make it possible to improve the zootechnical performance of the subjects therefore, increase the income of breeders. However, given the growing resistance of germs to synthetic antibiotics, would it not be interesting to turn to biological inputs with antiparasitic properties to effectively reduce the mortality of young guinea fowl linked to coccidia.

ACKNOWLEDGMENT

I thank all co-authors for their participation in the development of this article. this participation concerns fieldwork, data analysis, writing the article, revising the article and its supervision.

REFERENCES

- [1] S. A. Mtshali and M. A. Adeleke, A review of adaptive immune responses to *Eimeria tenella* and *Eimeria maxima* challenge in chickens. *World's Poultry Science Journal*, vol. 76, no. 4, pp. 827-841, 2020.
- [2] O. C. Komoin, J. Zinsstag, V. Pandey, F. Fofana, and A. N'Depo, Epidémiologie des parasites des ovins de la zone Sud forestière de la Côte d'Ivoire. *Revue d'élevage Et De médecine vétérinaire Des Pays Tropicaux* vol. 52, no. 1, pp. 39-46, 1999.
- [3] R. Avi, J-M. Réperant, F. Bussière, A. Silvestre, and J-F. Le Roux., La coccidiose chez les poulets domestiques: revue sur les stratégies de prévention et de contrôle. *INRAE Productions Animales*, vol. 36, no. 4, p. 7558, 2023.
- [4] S. Noack, H. D. Chapman, and P. M. Selzer, Anticoccidial drugs of the livestock industry. *Parasitology Research* vol. 118, no. 7, pp. 2009-2026, 2019.
- [5] D. P. Blake, J. Knox, B. Dehaeck, B. Huntington, T. Rathinam, V. Ravipati, and F. M. Tomley, Re-calculating the cost of coccidiosis in chickens, *Veterinary Research*, 51, Article 115. 2020.
- [6] H. D. Chapman, J. R. Barta, D. Blake, A. Gruber M. Jenkins, N. C. Smith, X. Suo, and F. M. Tomley, A selective review of advances in coccidiosis research, *Advances in Parasitology*, vol. 83, pp. 93-171, 2013.
- [7] E. Abebe and G. Gugsu, A review on poultry coccidiosis. *Abyss. Journal of Science and Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 1-12, 2018.
- [8] T. Mareei and W. G. L. Carlos, *Eimeria grenieri* Yvove & Aycardi, 1967 (Apicomplexa: Eimeriidae) em galinhas-d'angola (*Numida meleagris*) no Brasil. *Revista Brasileira de Ciência Veterinária* vol. 8, no. 3, pp. 182-183, 2001.
- [9] R. Bessin, A. M. G. Belem, H. Boussini, Z. Comparoré, Y. Kaboret, and M. A. Dembele, Enquête sur les causes de mortalité des pintadeaux au Burkina Faso. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, vol. 51, no. 1, pp. 87-93, 1998.

- [10] Yao L, Balabadi DB, Sodjinin EK, 2011. Elaboration d'un itinéraire technique d'élevage de pintadeaux adapté en élevage familial au Togo. Neuvième Journée de la Recherche Avicole, Tours, 29 et 30 mars 2011, 5 p.
- [11] S. Sanfo, S. O. Ima, I. Salissou, and H. H. Tamboura, Survie et performances de croissance des pintadeaux en milieu contrôlé au nord du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 9, no. 2. pp. 703-709, 2015.
- [12] B. Mariko, I. N. Sanogo, A. H. Haïdara, and M. Konaté, Effet du fonio sur la mortalité et les performances de production des pintadeaux locaux à Ségou, Mali. *Revue Scientifique Biannuelle de l'Université de Ségou*, hal-03328281, 2020.
- [13] J.C. Moreki and D. Seabo, Guinea fowl production in Botswana. *Journal of World's Poultry Research*, vol. 2, no. 1, pp. 01-04. 2012.
- [14] O. S. Soro, Y. Karamoko, S. I. Traoré, and J. N. Yapi, Assessing *Eimeria* spp and other parasites in the digestive track of guinea fowls (*Numida meleagris*) farmed in northern Côte d'Ivoire. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, vol. 6, no. 2, pp. 90-97, 2019.
- [15] S. J. Nsoso, G. Nobo, and J. C. Moreki, Growth and Carcass Characteristics of Helmeted Guinea Fowl (*Numida meleagris*) Fed Varying levels of Phane Meal (*Imbrasia belina*) as Replacement of fishmeal Under Intensive System, *International Journal for Agro Veterinary and Medical Sciences*, vol. 6, no. 4, pp. 296-306, 2012.
- [16] McDougald LR. 2003. Coccidiosis. Diseases of Poultry (11th edn). Iowa State University Press: Ames, IA, USA.
- [17] O. M. Majero, New house syndrome: Investigation into the possible role of house fly (*Musca domestica*) in the epizootiology of coccidiosis in chickens. *Tropical Veterinary Medicine* no. 19, pp. 237-242. 2001.
- [18] I. W. Musa, L. Sa'idu I. D. Jatau, J. Adamou, M. O. Otu, and P. A. Abdou, Outbreak of Coccidiosis in 5-day Old Commercial Broiler Breeder Flock in Zaria, Nigeria. *International Journal of Poultry Sciences* vol. 9, no. 12, pp. 1112-1115, 2010.
- [19] H. D. Chapman, Biochemical, genetic and applied aspects of drug resistance in *Eimeria* parasite of fowl. *Avian Pathology* no. 26, pp. 221-224. 1997.
- [20] D. V. Uza, S. A. S. Olarunju, and J. M. T. Orkpeh, An assessment of the disease and production status of indigenous poultry in Benue and Nassarawa states of Nigeria. Proceedings of the 26th Annual Conference of Nigerian Society of *Animal Production*, Zaria, Nigeria, pp. 73-75, 2001.
- [21] O. Diriba, M. Achenef, and B. Basaznew, Prevalence and Risk Factors of Coccidiosis in Poultry Farms in and Around Ambo Town, Western Ethiopia. *American-Eurasian Journal of Scientific Research* vol. 7, no. 4, pp. 146-149, 2012.
- [22] M. A. Taylor, R. L. Coop, and R. L. Wall, Veterinary parasitology. 3rd ed. UK: *Black well Science*, pp. 475-484, 2007.
- [23] D. D. Bowman, Georgis' parasitology for Veterinarians. 9th ed. India: *Saunders Elsevier*, pp. 2-94, 2009.
- [24] U. O. Patrick and G. Mgbere, Effects of Components of *Melia azadirachta* on Coccidia infections in Broilers in Calabar, Nigeria. *International Journal of Poultry Science*, vol 9, no. 10, pp. 931-934, 2010.
- [25] P. U. Owai and M. Gloria, Effects of components of *Melia azadirachta* on coccidia infections in broilers in Calabar, Nigeria. *International Journal of Poultry Science*, vol. 9, no. 10, pp. 931-934, 2010.
- [26] D. O. F. Shola, Investigations on the Occurrence and Associated Risk Factors of Avian Coccidiosis in Osun State, Southwestern Nigeria. *Journal of parasitology research*, vol. 2017, 2017.
- [27] H. Abdisa and K. Bedaso, Comparative study on the efficacy of amprolium and sulfamidine in coccidian infected chickens in Debre-Zeit Agricultural research center poultry Farm, Bishoftu, Ethiopia. *SOJ Veterinary sciences*, no. 2, pp. 1-5, 2016.
- [28] G. Mukiibi-Muka, M. O. Otim, G. Musisi, J. Lango, T. Galiwango, and W. Olaho-Mukani, Comparative study on the efficacy of diclazuril and amprolium in naturally infected broilers in Uganda. *Revue-d'Elevage et de Medecine Veterinaire des Pays-Tropicaux*, vol. 54, no. 1, pp. 33-35, 2001.
- [29] O. C. Hien, H. Boly, J. P. Brillard, B. Diarra, and L. Sawadogo, Effets des mesures prophylactiques sur la productivité de la pintade locale (*Numida meleagris*) en zone sub-humide du Burkina Faso. *TROPICULTURA*, vol. 20, no. 1, pp. 23-28, 2002.
- [30] H. Ali, F. Naqvi and N. Tariq, Prevalence of coccidiosis and its association with risk factors in poultry of Quetta, Pakistan, *Asian Journal of Applied Sciences* vol. 2, no. 4, pp. 554-558. 2014.
- [31] C. Bostvironnois and C. Zadjian 2011. Coccidiose sub-cliniques en production de poulet de chair: Bilan et prospectives. Neuvième Journée de Recherche Avicole, Tours, p. 585-588.

La représentation du travail comme peine dans le cinéma de Hakim Belabbes

[The representation of work as suffering in the cinema of Hakim Belabbes]

Khalid HAKIM

Laboratoire: Langues, Cultures et Communication, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Université Mohammed Premier, Oujda, Morocco

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

ABSTRACT: This article aims to analyze the representation of work in Moroccan cinema, particularly that of the director Hakim Belabbes. While the Moroccan filmmaker is known for his strong commitment to capturing the various sociocultural and psychological aspects of his hometown, Béjaâd, and particularly for showcasing the misery and simplicity of its inhabitants, the article seeks to examine the extent to which work is also represented as suffering and pain within the framework of a «Cinema of the Poor.».

The study focuses on the thematic analysis of certain films by Belabbes; a diverse corpus in terms of film genres, including documentaries, short films, and feature films, as well as the nature of the corpus, which encompasses text, sound, and image.

KEYWORDS: cinema, pain, representation, work.

RESUME: Cet article vise à analyser la représentation du travail dans le cinéma marocain et notamment celui du réalisateur Hakim Belabbes. Si le cinéaste marocain est connu par son fort engagement à filmer les différentes composantes socioculturelles et psychologiques de sa ville natale de Béjaâd, et à montrer surtout la misère et la simplicité de ses habitants, l'article a donc pour but de vérifier à quel point le travail serait également représenté comme peines et douleurs dans le cadre d'un « Cinéma du pauvre ».

L'étude porte sur l'analyse thématique de certains films de Belabbes; un corpus varié en genres filmiques entre documentaires, courts-métrages et longs-métrages, et également en nature du corpus entre texte, son et image.

MOTS-CLEFS: cinéma, douleurs, représentation, travail.

1 INTRODUCTION

La représentation du travail dans le cinéma est un sujet riche et varié qui reflète souvent les réalités sociales, économiques et culturelles d'une époque et dans une région précise. La représentation du travail peut aborder plusieurs aspects comme les Classes sociales: Par exemple, le contraste entre les travailleurs de classe ouvrière et les travailleurs des classes supérieures peut être utilisé pour commenter les inégalités économiques dans un pays. D'un autre côté, ces représentations peuvent également aborder les conditions de travail, que ce soit le travail d'équipe, le harcèlement au travail, les luttes syndicales ou le travail des femmes et des enfants, etc.

Depuis l'apparition du septième art, le travail était l'une des thématiques centrales et les plus représentées. En 1936 par exemple, Charlie Chaplin a fait l'un des grands films-critiques "Les Temps modernes" mettant en lumière l'aliénation et l'exploitation des travailleurs, une comédie noire montrant à quel point la révolution industrielle en Amérique et en Europe avait écrasé les travailleurs. Les images des troupeaux de moutons, puis des flots d'ouvriers sortant d'une usine, ou les scènes

montrant Charlot sur un tapis roulant avant d'être « avalé » par une « machine à manger » représentaient une étape importante dans les débuts du cinéma engagé.

D'un volet psychologique par exemple, le travail est aussi présenté comme une vocation ou une passion où les personnages luttent pour réaliser leurs rêves, tels que "The Pursuit of Happyness" ou autres. Parfois, cette idée n'est qu'une expression sincère et subjective de l'auteur du cinéma, une projection sur sa propre vie à travers son film comme nous allons voir dans cet article.

Le travail est aussi représenté autour de son impact sur la vie personnelle: La façon dont le travail affecte la vie personnelle et les relations est également un thème récurrent. Des films montrent souvent comment les exigences professionnelles peuvent créer des tensions dans les relations familiales ou amoureuses.

Enfin, le cinéma peut offrir une critique sociale du monde du travail, soulevant des questions sur les valeurs, l'éthique, la dignité des travailleurs et les effets de la mondialisation.

Dans cet article, le travail sera développé selon la vision du cinéma marocain à travers le réalisateur Hakim Belabbes qui essaie souvent de filmer sa ville natale de Béjaâd dans le but de représenter le réel et préserver la mémoire contre la mort et l'oubli. Pourtant, cette représentation est accusée d'être surtout sombre et où le travail n'est que soumission et aliénation.

2 LE TRAVAIL: SYNONYME DE DOULEURS

Pour plusieurs chercheurs et philosophes, comme Heigel, Marx, Kant et autres, le travail est, en plus de ses diverses définitions comme nécessité, plaisir ou devoir, il est également considéré comme source de douleurs, d'aliénation et de servitude. L'existence de l'être humain se trouve comme assimilée à une condamnation ou à une « *malédiction originelle* » [1].

Dans son ouvrage « *La condition ouvrière* », la philosophe Simone Weil considère que tout travail manuel est une servitude: « *il y a dans le travail des mains et en général dans le travail d'exécution, qui est le travail proprement dit, un élément irréductible de servitude que même une parfaite équité sociale n'effacerait pas* » [1].

Le travailleur est en état de servitude car il est associé à la privation de liberté et à la soumission à une puissance extérieure. Le travail est également considéré comme « *aliénation* » dans la mesure où les travailleurs pratiquent des métiers dans un acte qui consiste à « *se plier à la nécessité* » et au besoin et non pour un bien: « *Faire effort par nécessité et non pour un bien - poussé, non attiré – pour maintenir son existence telle qu'elle est – c'est toujours servitude* » [1].

Si les critiques du cinéma classent le cinéma de Hakim BELABBES comme un « cinéma du pauvre » consistant toujours à représenter la misère des gens, il s'agit du même constat de souffrances lors de la représentation du travail. Les ouvriers, premiers objets de cette représentation, à la quête de leur bonheur, se trouvent souvent exposés à divers obstacles mettant leur vie en danger. Pour mieux nous transmettre sa vision du « cinéma du pauvre », Belabbes nous livre à travers sa filmographie une multitude d'exemples autour des métiers et les douleurs qui les accompagnent.

En relation avec le *cinéma du pauvre*, le cinéma de Belabbes peut adhérer au courant Américo-Latin du Cinéma Novo avec l'esthétique de la faim de Rocha: « *Là, réside la tragique originalité du Cinema Novo par rapport au cinéma mondial: Notre originalité est notre faim* » [2].

Dans « *Vaine tentatives de définir l'amour* », le film évoque la légende de Tislit et Isli; c'est l'histoire d'un couple amoureux: un berger qui demande la main d'une fille du même *Douar*, un rêve d'alliance qui devient menacé par le refus dû au métier de berger souvent lié à une classe sociale pauvre et mal vue au Maroc. Pour remédier à cette situation, le jeune amoureux se trouve contraint à quitter son village natal, son métier, sa zone de confort pour aller s'aventurer en ville à la recherche d'un autre travail honorable selon la condition imposée par la fille et sa famille.

Pour Belabbes, le choix du métier de berger est une représentation fidèle au vécu des marocains puisque le métier est souvent lié à une forme d'insulte et de médiocrité. Loin du réalisme cinématographique, l'idéal était donc d'accepter la demande du berger et se révolter ainsi contre les stéréotypes où le matérialisme l'emporte sur l'amour. Un amour incapable de résister à la vision pragmatique et économique de la vie dans une société en évolution permanente. Dans une représentation réaliste de la société marocaine, l'amour seul s'avère incapable de sauver la vie d'un couple.

3 LE TRAVAIL ENTRE HERITAGE ET CONFLIT DE GENERATIONS

En nous projetant sur la vie du cinéaste marocain, le travail était toujours présent dans les différentes étapes de sa vie. Jeune, il commença à fréquenter la salle de cinéma dirigée par son père, et donc découvrir ce monde qui devient, plus tard, source d'inspiration pour la détermination de sa carrière professionnelle: partir étudier le cinéma à l'étranger et retourner au

Maroc comme cinéaste dont le premier projet cinématographique était de rendre hommage à sa ville natale en la filmant dans ses diverses particularités et capter le temps perdu de son enfance. Le choix de Béjaâd dans ses différents films est dû à ce qu'un tel choix offre au cinéaste marocain dans la mesure où il la connaît parfaitement et l'exploite comme un vaste studio où tout est décor naturel sans aucun besoin d'y intervenir.

En plus de sa fonction vitale comme source de subsistance pour les gens, le travail est également héritage identitaire et culturel transmis de père en fils. Si le père était gestionnaire d'une salle de cinéma, Hakim forge lui aussi son chemin dans le même domaine et devient cinéaste. L'appartenance à un milieu socio-culturel et économique bien précis s'avère déterminante dans les choix professionnels. Cette appartenance à la ville de Béjaâd fera par la suite la seule et unique occupation du cinéaste marocain qui essaie de la filmer selon plusieurs angles et en traitant diverses thématiques dans ses différents films.

Le travail comme héritage transmis de père en fils est abordé en deux exemples opposés: Dans certains cas, les parents imposent à leurs fils de suivre le même cheminement en exerçant le même métier qu'eux. En ce sens, dans « *Fibre de l'âme* » nous avons l'exemple d'un père qui ne cesse de répéter à son fils Karim de falloir continuer à exercer le même métier de poterie. Le film nous révèle ici le clivage existant entre pères et fils et qui nous met devant la problématique du conflit de générations que Belabbès a choisi de montrer sur ses films.

Le film se termine par la manifestation d'un constat bien remarqué de nos jours dans la société marocaine. Karim a choisi de se révolter contre la proposition de son père où il a décidé de partir en ville, abandonner le métier-héritage du père pour un avenir meilleur pour lui et avec plus d'indépendance.

En effet, la décision de révolte et de désobéissance prise par Karim est un passage du travail sous la contrainte vers un travail comme échappatoire vers la liberté à travers la ville comme adjuvant, une issue de secours, une fenêtre donnant accès à la paix et à l'évolution.

Au niveau des images filmiques, le conflit entre le père et le fils est une manifestation de la révolte contre l'espace qui se voit restreint, étroit, étouffant, un espace représenté souvent par l'image de la four traditionnelle et souterraine ressemblant métaphoriquement à un cachot, un feu brûlant et repoussant. Au niveau du portrait de Karim, l'oppression se voit sur ses traits de visage et à travers ses paroles (Fig1).



Fig. 1. Images montrant Karim dans son lieu de travail

Dans la figure2, c'est le grand moment du film où Karim décide finalement et irrévocablement d'annoncer son départ à son père. C'est l'aube, on le voit attendre son père finir ses ablutions pour faire sa prière d'*AlFajr*. Etant lourde et indésirable pour le père, et même le rendant furieux, cette déclaration ne l'a pas empêché de remplir la fonction sacrée d'un père envers son enfant en lui offrant de l'argent avant de partir s'aventurer en ville.



Fig. 2. Karim annonçant son départ définitif à son père

Le travail est vu comme source de conflits entre parents et leurs fils dans plusieurs autres exemples:

En rapport avec la vie du cinéaste, son retour au Maroc dans « Un nid dans la chaleur » révèle plusieurs secrets sur la relation entre lui et son père et notamment sa décision du départ pour faire sa vie loin de Béjaâd. Ce conflit se concrétise à travers le dialogue entre les deux en mode autoportrait (Fig.3) où le père s'informe sur l'état d'avancement du projet cinématographique de son fils et de sa rentabilité. La conclusion était inquiétante: un départ mal pensé qui a causé l'abandon d'un père qui vieillit et d'un frère qui a sacrifié ses études approfondies pour s'occuper des affaires familiales.

Si la vision du père s'avère plus pragmatique, un devoir servant à répondre au besoin de nécessité, pour son fils, il s'agit surtout d'une passion visant à concrétiser un rêve avant tout intérêt matériel. Plus tard, c'est la détermination de réussite qui va sauver Hakim et le mettre tel qu'il est aujourd'hui parmi les grands cinéastes au Maroc et en Afrique.

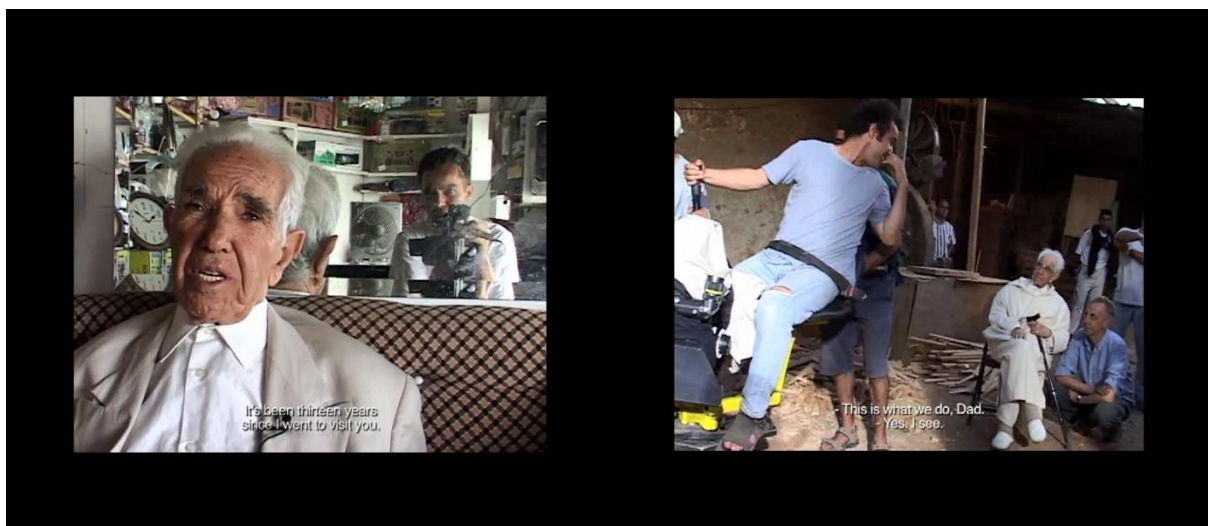


Fig. 3. Images de Hakim Belabbes et de son père dans le documentaire "Fragments"

4 LE TRAVAIL COMME SOURCE DE CONFLITS DANS LA VIE DES COUPLES

Dans son documentaire « Expressions d'amour », Belabbes choisit d'évoquer la question du travail comme source de conflit entre hommes et femmes à travers un chapitre consacré au groupe musical des Rmas (l'un des groupes célèbres de la région de Béjaâd). D'un angle à la fois économique et socioculturel, le travail est représenté comme source principale agissant et provoquant le conflit entre hommes et femmes de la région de Béjaâd.

L'exemple des « femmes de fraise » souligne l'inversement de rôles où ce sont les femmes qui partent travailler dans la cueillette des fruits dans les exploitations agricoles en Espagne. Les hommes en autorisant le départ de leurs femmes, deviennent la risée de leur communauté connue généralement par son aspect conservateur qui voit le travail comme responsabilité masculine. Les paroles des chansons traduisent cette vision et aussi le sentiment de regret et de culpabilité des hommes, vus comme réduits, inaptes et incompetents, perdant de leur virilité liée à la responsabilité, la protection et l'autorité qui caractérise les hommes selon les commandements islamiques comme c'est exprimé dans La Sourate d'*Annisae* (les femmes) où Dieu déclare que les hommes sont protecteurs, gardiens et mainteneurs des femmes puisqu'ils sont responsables de chercher du travail et de dépenser de l'argent pour accomplir les charges familiales.

Voici quelques extraits de la chanson produite par le groupe:

كَأَنَّهُ لِمَقْدَمِينَ جَابُوا لَخَبَارٍ وَعِلْمُكَاعِ الدَّوَارِ، غِيَالَاتِ الرَّجَالَةِ تُشَارِجُوا فَالطَّيَّارَةَ

(les Mouquaddems ont réuni les villageois, et la nouvelle ont annoncée)

Leurs épouses, dans des avions, ont été chargées

مُشَاتِ الْغَدَارَةِ وَخَلَّاتِ لِيكَ لِيَتَامَةَ وَمَشَاتِ الصَّبْغَةِ وَخَلَّاتِ لِيكَ الْكُصْبَةِ

(la traîtresse est partie, et des orphelins elle t'a confiés)

كَأَنَّكَ صَبَفْتَهَا وَتَعَدَّ مَا تَفَكَّرَهَا حَتَّى بَغَا يَرْكُدُ

(il l'a envoyé et s'est reposé. Il s'en est souvenu le soir, au lit.)

كَأَنَّكَ لِيهِ مَرَاتُوا يَا رَاجِلِي سَمَحَلِي رَاهِ أَنْتَ أَلِي سَنِيَتِي لِي

(excuse-moi cher mari, mais c'est toi qui a signé pour que je parte)

رَاكَ دَرْتِي مَعَايَا التَّزَامِ بِأَشْ نَغِيْبَ 12 عَام

(et tu étais d'accord pour que je m'absente pendant douze ans)

Dans la première lecture de la chanson, nous pouvons remarquer comment la femme subit toutes sortes de reproches, elle est chosifiée dans « غِيَالَاتِ الرَّجَالَةِ تُشَارِجُوا فَالطَّيَّارَةَ », rechargée comme objet ou marchandise tout en évoquant les maris pour montrer l'anomalie. Normalement, l'expression « غِيَالَاتِ الرَّجَالَةِ » enlève la qualité d'aptitude et de virilité à ces hommes, c'est une ironie adressée contre ces hommes laissant leurs femmes devenir de vrais hommes !

La femme est « *infidèle / الغدّارة* » **puisque'elle a osé abandonner son mari avec leurs enfants** « لِيَتَامَةَ », représentés comme orphelins car leur mère est comme si elle est morte et donc son retour s'avère déjà difficile à envisager. Dans « *ما تفكرها حتى بغا* », la femme objet de désir sexuel ou la femme n'est que corps pour son mari, et donc la question de l'amour dans un couple s'impose bien ici, et réoriente l'accusation que pourrait adresser l'un à l'autre.

Dans « *Pluie de sueur* », l'un des longs-métrages primés de Belabbes, le travail est encore une fois représenté dans son aspect de continuité de père en fils avec l'exemple d'Ayoub, un enfant autiste et son père Mbarek. Durant une grande partie du film, le jeune souffrait des propos violents de son père qui ne cesse de l'insulter; une situation confuse qui s'expliquerait par la révolte du père contre sa sensation d'infériorité puisqu'il n'a pas réussi à avoir un enfant normal. Après la mort du père, le jeune Ayoub continuait à cultiver la terre du père et à creuser le puits. Le triomphe se concrétise en trouvant de l'eau et en déclarant « أنا راجل » (Je suis homme).

La masculinité est ici liée au rôle fonctionnel de l'individu, ce dont il est capable, l'engagement et l'exécution des responsabilités pour remplir son rôle de l'homme protecteur, l'homme-pilier de son foyer. Pour Belabbes, le message transmis ainsi est également du fait qu'être autiste ne peut jamais être considéré comme handicap. Le travail est donc remède psychologique pour faire face à la vision discriminatoire des gens aux besoins spécifiques, une reconnaissance égalitaire.

5 DES HOMMES QUI HALLUCINENT

En deux chapitres différents du dernier film de Hakim Belabbes « Murs effondrés », l'impact du travail sur les gens se concrétise cette fois-ci sur la vie psychologique où on voit deux hommes qui ont perdu la raison et commencent à halluciner suite à des événements antérieurs que le film n'annonce pas explicitement:

- **Le peintre:** dans les scènes liées au peintre, on voit ce dernier en train de peindre le toit d'un hammam (bain maure) avant de descendre et continuer à tout peindre à l'entrée du hammam: plantes, vélo, etc.

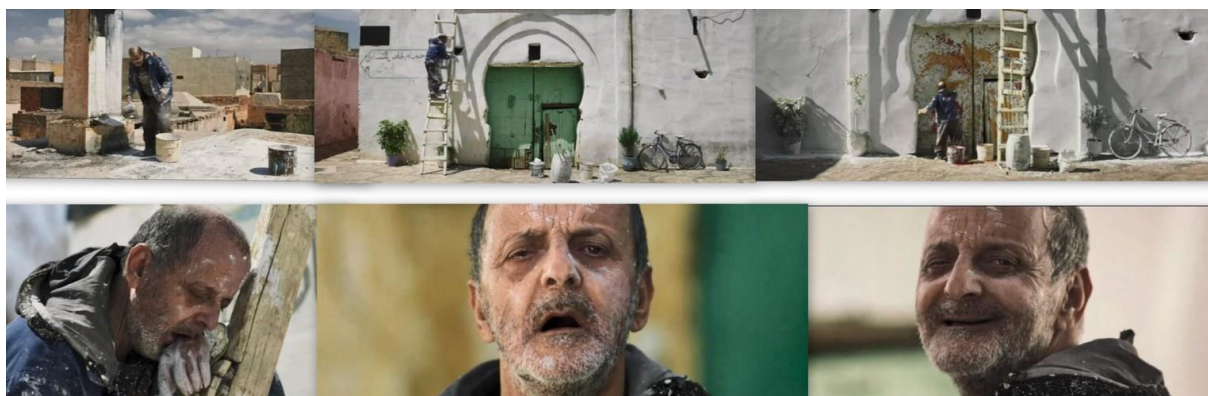


Fig. 4. Le peintre pris sous différents plans manifestant sa folie

- **Le combattant:** La collection d'images montre un défi de course entre un vieux et des enfants suite aux scènes qui précèdent, où on voit le vieux se réveiller sur le bruit des frappes du ballon sur le mur provoquant le son de bombes. Pour Belabbes, en plus de l'idée du conflit de générations, il nous livre également les conséquences psychologiques sur l'état mental des combattants. De vieux retraités qui souffrent seuls et en silence.



Fig. 5. L'ancien combattant défiant les enfants du quartier avant de mourir

Dans les deux exemples cités, et en plus de la représentation d'un présent douloureux des deux hommes, le cinéma propose ici plusieurs pistes d'interprétations sur un passé à imaginer. Et c'est d'ailleurs ce non-dit qui donne au cinéma sa force attractive.

6 DES FEMMES QUI SOUFFRENT.

La représentation du travail dans le cinéma de Belabbes répond également à la question du genre même si le nombre de femmes travailleuses à l'extérieur de leurs foyers reste variable selon le genre filmique. Si dans les longs-métrages, les femmes sont souvent femmes au foyer, leur grande présence dans le marché du travail se traduit remarquablement dans les documentaires. Dans « *Ces mains-ci* », Belabbes donne la parole à plusieurs femmes qui exercent divers métiers et qui acceptent de raconter leur vie et montrer ce dont elles sont capables.

6.1 LA FEMME CONTRAINTÉ À TRAVAILLER CONTRE DOGMES RELIGIEUX

Dans l'un des chapitres du film « *Murs effondrés* » sorti en 2021, Belabbes choisit de raconter une histoire en écartant la parole, les images s'avèrent suffisantes pour dire et laisser interpréter.

On voit une femme en blanc dans un bar avec l'introduction de scènes comme forme de souvenirs ou de flash-back et qui laissent voir les traces d'un cadavre et de la supposition d'un crime. L'interprétation de la femme en blanc est qu'il s'agit bel et bien de son mari qui a perdu sa vie dans la scène indiquée et le blanc dans la culture marocaine est porté par la veuve depuis la mort de son mari jusqu'au quarantième jour comme une forme de deuil.

La dureté de la vie ici est représentée par le fait que la femme n'a même pas pu attendre l'achèvement des jours de deuil pour s'engager elle-même au travail. Ce qui accentue d'avantage l'idée de contrainte est le type de travail exercé: la femme fait le ménage à l'intérieur du bar fermant ses portes depuis la tragédie, une préparation à la réouverture d'un lieu classé comme illicite pour les musulmans.

Les trois images tirées des scènes indiquées se focalisent d'abord sur les traits du visage avec les yeux baissés à l'aide d'un gros plan psychologique montrant les traits d'un visage triste, les deux bouteilles telles qu'elles ont été abandonnées avec du popcorn, puis un plan plus élargi pour laisser voir la femme déjà engagée au travail avec plus de détails sur le lieu: « *Le gros plan, c'est l'âme visible des choses, la lumière philosophale, l'atmosphère gonflée d'amour* » [3].



Fig. 6. La veuve contrainte à travailler durant son deuil

Ce que les images ne montrent pas dans les scènes du chapitre sont tout un ensemble d'hypothèses sur la famille de la femme, ses enfants devenus orphelins après la mort de leur père, les attentes économiques, le niveau de pauvreté et de misère poussant une femme à sortir travailler en période de deuil, etc.

Les gens ainsi sont réellement aliénés et soumis au travail comme l'ultime solution capable de les sauver d'une vie écrasante.

6.2 LE HARCÈLEMENT SEXUEL

« *Rêves ardents* » est un long-métrage qui évoque la problématique d'émigration clandestine. La femme d'Ahmed était contrainte à travailler chez un épicier après le départ de son mari à la recherche d'une chance en Europe. Une expérience de courte durée, jusqu'à ce qu'elle soit victime du harcèlement sexuel de la part de son patron. Là, Belabbes a pu révéler l'une des grandes menaces dont souffrent les femmes dans le monde du travail, une représentation à laquelle s'identifient plusieurs femmes travailleuses au Maroc et même à l'étranger.



Fig. 7. Les conséquences du départ du père sur sa petite famille

La résistance de la femme à la tentative du harcèlement traduit l'engagement de Belabbes dans la défense de cette catégorie et sa lutte pour promouvoir la question morale et éthique dans la société marocaine.

6.3 LA FEMME COMME BONNE

Dans « *Fibre de l'âme* », c'est un autre exemple où Belabbes aborde une nouvelle fois le travail des femmes à travers l'exemple du père envoyant sa fille travailler comme bonne chez une famille en ville. Devant son état de pauvreté, le père réussit à convaincre sa fille à aller travailler comme bonne en ville en disant que « *ce sont des gens qui vont prendre soin de toi* » et « *tu verras enfin la mer* ». Ici, la mer est présentée en dualité comprenant à la fois beauté et mystère, une métaphore qui propose de voir la ville comme la mer du côté espace « infini » avec plusieurs difficultés mais aussi une occasion pour la liberté, l'indépendance et de nouvelles perspectives. « *Voir la ville* » est lié à « *voir la mer* », c'est tellement gigantesque, mystérieuse et inconnue. Pour bien clarifier cette idée, Belabbes profite déjà de l'autocar transportant la fille en ville et le temps de départ: c'est déjà la nuit, et pour une femme, le sentiment d'insécurité est clairement perçu surtout avec la scène montrant les passagers en forme fictive et fantomale. Cela montre évidemment une autre image du paradoxe de Belabbes: la fragilité de la femme devant la brutalité masculine et la ville a une image monstrueuse contre tout le luxe apparent.



Fig. 8. Les premiers moment de la femme-bonne en ville: entre passion et risques

L'idée de danger se concrétise rapidement avec l'arrivée de la femme en ville. Encore dans la gare, un inconnu s'approche d'elle et propose de l'aider, on le voit la transporter sur sa moto vers la mer, une fois la femme se dirige vers la plage, l'inconnu s'empare de son sac et disparaît.

Dans la collection d'images capturées du film, on trouve comment Belabbès a choisi d'abord d'annoncer l'idée du danger à travers la nuit et les voyageurs qui sont tous des hommes, leurs regards et grimaces. Puis, il y a également le père présenté comme complice puisqu'il accepte d'envoyer sa fille travailler en ville dans de telles circonstances. La confirmation de l'idée se concrétise dans la deuxième série d'images en bas où on voit un inconnu profitant de la naïveté de la femme pour l'emmener voir la mer et s'emparer de son sac. Ce sont des images où les regards sont à double intentions: si pour la femme il s'agit d'un rêve devenu réalité, pour l'inconnu c'est l'occasion d'appliquer son plan et s'emparer du sac de la femme. D'un autre côté, toute hypothèse proposant par exemple le début d'une relation d'amour entre les deux n'est qu'illusion dans un monde où les relations sociales s'organisent autour d'une vision purement pragmatique.

7 DES MÉTIERS ET DES PORTRAITS

7.1 MÉTIERS



Fig. 9. Images de métiers du documentaire « Wojouh / Portraits »

Four, feu, fer, fumée, pierres, chaleur, marteau, lessive par un homme, enfant, marteau à la main et des pierres, puis des vieux. Ce sont donc les différents ingrédients choisis par Belabbès dans sa série « Wojouh » pour exprimer l'idée d'un travail très physique et pour toutes les catégories d'âge, le travail est une peine dans une région déjà considérée par ses habitants comme oubliée et marginalisée malgré sa situation au centre du pays.

Pour transmettre une telle idée, « *L'utilisation de vrais paysans est, dans ce cas précis où ils ne jouent pas mais vivent leur vie habituelle, un apport indéniable d'authenticité* » [4], et c'est pourquoi le choix du genre de documentaire s'avère cruciale pour réussir cette authenticité.

En esthétique du cinéma, les métiers choisis, les divers plans et cadrages réussissent à exprimer la dureté du travail avant même de donner la parole aux ouvriers. Par exemple, Celui en bas et à gauche de la figure 4 déclare ne pas savoir si son fils est mort ou en vie après plusieurs mois de sa tentative d'émigrer clandestinement, les quatre hommes en haut ne sont pas prêts à encourager leurs enfants à exercer le même métier car ils ont tous les moyens pour réussir autrement et continuer leurs études, etc.

Les métiers traditionnels, et malgré leur dureté et faible rentabilité, représentent un patrimoine culturel, une identité à préserver pour chaque région du Maroc. Pour Belabbès, son engagement en ce sens était remarquable en plusieurs films et

déclarations. Dans son film « Ces mains-ci », il lui a choisi un deuxième titre en arabe: "حرفة بوك حيت غلبوك" qui signifie « *préserve le métier de ton père car t'es déjà vaincu, t'as déjà perdu* » comme une transgression du proverbe marocain disant: "حرفة بوك لا يغلبوك" signifiant: « *préserve le métier de ton père pour éviter de perdre, d'être vaincu, etc.* ». Cette transgression traduit une forte subjectivité de l'auteur du cinéma qui ne peut pas rester objectif quand il s'agit d'une inquiétude ou d'un malaise qui appellent à un engagement personnel pour rendre service à sa patrie par exemple.

7.2 PORTRAITS

Le cinéma documentaire focalisé sur la vie des gens fait souvent le noyau du cinéma de Belabbes; le choix d'une catégorie assez simple, pauvre, et vivant dans l'ombre était toujours une question primordiale pour Hakim. Son inspiration se doit à un grand nom dans le monde du documentaire:

Je me suis un peu inspiré de David Lynch, qui avait fait un projet qu'il avait nommé interview projets. Il avait envoyé ses étudiants parcourir les Etats-Unis sans aucun autre agenda que celui de rencontrer ceux qu'ils allaient trouver sur leur chemin, leur parler et les filmer. Ceux que tu rencontres n'ont rien à perdre; quand ils sentent la confiance, ils se livrent à toi, et ce qui en sort est tout simplement fabuleux [5].



Fig. 10. Portraits

Le projet de David Lynch inspire beaucoup Belabbes dans la mesure où l'imitation se concrétise à travers sa série documentaire « *Wojouh* ». Le travail consiste à parcourir plusieurs régions du Maroc à la recherche de profils spéciaux à montrer, des gens simples, des travailleurs modestes. Ils sont sincères dans l'expression de leurs sentiments, ils s'expriment avec beaucoup de modestie et de satisfaction à propos de leur destin, ils osent évoquer leurs malheurs mais avec beaucoup de bonne foi. Des images bien préparées pour toucher la sensibilité des récepteurs.

Pour Belabbes, filmer c'est aussi faire apparaître l'âme des gens interviewés; le documentaire s'est fait pour pénétrer le quotidien des gens et plonger au fond de leurs histoires; c'est donc filmer l'être humain dans ses diverses composantes à la fois sociales, culturelles, psychologiques, etc.

Jacques Aumont, dans « *Du visage au cinéma* » évoque la notion du *Visage-Temps* et pense que « *son règne est le gros plan* » avant d'ajouter que « *le visage-muet est un visage agrandi, mais aussi, plus profondément et plus immédiatement, un visage du temps, un visage-temps. Il ne s'agit pas, en effet, de voir le visage comme un livre, sur lequel s'écriraient les traces du passage du temps. Il s'agit bien de faire voir le temps lui-même* » [3].

Dans sa classification des documentaires, Antoine Vallet parle ici du *document humain* qui révèle l'âme profonde des hommes en les regardant vivre dans leur milieu géographique: « *Le réalisateur est obligé de faire autre chose qu'une suite*

d'images sur les travaux de la terre. Il doit nous éclairer la psychologie des paysans, attirer notre attention sur une certaine grandeur, sur d'humbles merveilles que nous ne voyons plus » [4].

En plus du caractère de la simplicité, la modestie, la misère, plusieurs autres sont des gens instruits, de vrais discoureurs qui disent des merveilles surprenantes sur plusieurs questions de la vie. Parmi ces gens, il y a par exemple le coiffeur poète, déjà c'est ainsi qu'il est appelé par les gens, lui aussi partage le trait de célibat dans les cinquantaines que le peintre *Mustapha Badi* et *Sokippi*. Durant son dialogue avec Belabbes, il ne parle que l'arabe standard et ne cesse d'évoquer des vers de poèmes soit écrits par lui-même ou par d'autres. Ce personnage sera réinvité après quelques années pour parler de l'amour dans « *Expressions d'amour* » mais filmé dans un cimetière, parlant de la même manière mais avec beaucoup de tristesse car il évoque l'amour en parlant de la perte de sa fille. Cette réapparition controversée de ce personnage représente, comme nous l'avons déjà cité, une dimension évolutive du même personnage, un procédé utilisé plusieurs fois dans le cinéma de Belabbes.

7.3 METIERS TRADITIONNELS: ENTRE FIERTE ET MENACES

Dans ce chapitre, l'analyse de représentation du travail dans les films de Belabbes sera approchée à travers la parole donnée aux premiers acteurs dans le domaine du travail: les travailleurs.

Dans l'un des épisodes de la série « *Wojouh / Figures* », Un autre profil s'ajoute aux choix de Belabbes et qui garde les mêmes traits de distinction par rapport aux autres est surtout celui d'un menuisier surnommé « *Radio des pauvres* », il ne s'exprime qu'en arabe standard avec beaucoup de philosophie et de poésie. Son témoignage et son discours autour de l'artisanat au Maroc reflètent sa richesse intellectuelle et sa vision professionnel de son métier ainsi que de l'artisanat en général. Concis et efficace, il parle avec beaucoup d'amour et de sincérité de son métier, il propose des actions efficaces pour promouvoir la menuiserie et l'artisanat au Maroc. Les métaphores employées dans son discours sont juste impressionnantes.



Fig. 11. Le menuisier Bensaid nommé "Radio des pauvres"

Le menuisier appelé Bensaid Ennajjar se présente au début avec les mots suivants:

« أنا النجار، أنا ابن الشجرة، أنا ابن الجسد الذي يُحرق ولا يغرق، ويتآلم المسمار بقدر ما يتآلم الخشب »

(Je suis le menuisier, fils de l'arbre, fils du corps qui se brûle et qui ne se noie pas. Et le clou souffre autant que le bois).

Le choix de ce menuisier par exemple est sûrement dû à son niveau intellectuel et comment il peut avoir une conscience globale sur son métier avec un discours tellement poétique. Sur les conditions de travail, de l'artisanat au Maroc et la menuiserie spécialement, il pense que le menuisier doit être également commerçant avant d'être artiste en le disant en français comme suit: « *je vais te dire une sagesse de Picasso en français et pardonne-moi. Avant d'être artiste, il faut d'abord être commerçant* ». Cela est dû au fait que Picasso avait vendu ses tableaux juste comme tableaux mais les acheteurs, souvent des sociétés, les ont exploités efficacement d'une manière plus rentable. Pour Benasaid, le menuisier ne peut pas attendre une bonne commercialisation de ses produits car il a toujours besoin d'argent et c'est pourquoi les prix ne sont pas bons. Il ajoute qu'en dialecte marocain, on dit:

« فُظّ وسَمَرُ باش يروح لثَرَاب مَعْمَر » **(Ponce et cloue et le porte-monnaie renfloue)**

Ici les deux premiers verbes à l'impératif représentent deux actions essentielles en menuiserie: frotter qui est déjà empreint du français et clouer. C'est un appel au travail pour avoir suffisamment de marchandise à vendre, faire vite pour gagner de l'argent; « لثَرَاب » sert à mettre de la marchandise dedans. Pour l'artiste marocain, c'est donc la question économique qui entrave le développement de son savoir-faire.

(l'artisanat est un édifice monumental) « الصنعة التقليدية مبنی شامخ، معلمة »

C'est ainsi sa définition de l'artisanat au Maroc qui demande, selon lui, l'union et la coordination entre tous les artistes pour mieux le développer et résister à l'impact de la modernité en citant l'arrivée des produits en plastiques aux marchés. C'est un constat répété par exemple dans le roman « Il était une fois un vieux couple heureux » de Mohammed Khair-Eddine dans le cas d'un certain *Amzil*: un forgeron qui a fermé sa forge et vit la misère à cause de la modernité qui a toujours une deuxième facette dangereuse pour certains métiers traditionnels. Le souci de l'auteur est le même de celui du cinéaste, il y a toujours reflet d'une idée qui préoccupe les gens.

أنا ما كرهتتش نشد المرأة البربرية التي كانت تنسج الحصير وخرجت عليها لميكا باش تطور ليها صنعتها ناخذ منها

« Les petits tapis » ونوظفهم فماريوات وبيوت النعاس

(J'aimerais prendre cette femme Amazighe qui tisse les tapis et qu'on a écartée en remplaçant ces œuvres par des tapis en plastique. J'aimerais reprendre ses motifs et les revaloriser en les incorporant aux armoires en bois, aux chambres à coucher et d'autres supports.)

Bensaid parle avec beaucoup d'inquiétude et de jalousie, ses grimaces reflètent son état de malaise devant le devenir de l'artisanat au Maroc. Plus tard, il va ajouter qu'en femme marocaine voit sa mère qui travaillait la laine pour subvenir aux besoins de ses enfants.

« Il faut attirer le client mais d'une manière scientifique, polie et spirituelle » dit-il. Dans son discours moraliste, il insiste beaucoup sur le retour au bois car il est un trésor au Maroc, et il faut bien l'exploiter. Le bois de cèdres ou de genévrier sont uniques et résistants

Belabbes choisit bien les personnages à présenter, des gens célèbres, connus, remarquables, instruits même exerçant de simples métiers, etc. tout cela est pour mettre en valeur les gens de Béjaâd, d'une part, et d'autre part, marquer la mémoire collective de la ville. C'est une autre forme de dualité qui traduit, d'un côté, la simplicité, la modestie, la pauvreté, la marge... et d'un autre côté, l'homme cultivé, fort d'esprit, qui a beaucoup de conscience de son travail, tout simplement, un artiste-critique.

Dans les films de Belabbes, ces profils sont une fierté pour toute la région qu'ils représentent et également pour les gens exerçant de pareils métiers simples. Ce sont des gens qui méritent, plus et qui contribuent sûrement au tableau d'images contradictoires que nous livre Belabbes sur la vie des gens. C'est une interpellation de notre enseignement au Maroc qui a dû laisser de telles personnes vivre dans la marge. Une marge que Belabbes essaie de défier en donnant la chance aux gens simples d'occuper le cadre filmique devant sa caméra pour un cinéma des pauvres, un cinéma démocratique et représentatif, un cinéma de et pour la mémoire.

En effet, il est difficile de citer tous les exemples où Belabbes rencontre l'âme des gens à travers ses dialogues, mais ce qui est essentiel est qu'il y a toujours un point commun entre ces gens: c'est celui de la satisfaction malgré toutes les souffrances qu'ils vivent. Ce qu'ils disent sur la vie ce sont des perles, des leçons de morale, une philosophie sur le savoir-vivre loin de tout matérialisme ou luxe. Le cinéma arrive donc à laisser voir l'âme des gens à travers des images bien choisies, des personnages inscrits parfaitement dans le profil de l'homme pauvre, ou comme c'était déjà appelé dans un ouvrage parlant de l'expérience cinématographique de Belabbes par l'expression « سينما المغلوبين "cinéma des opprimés/des perdants/des battus." ».

Au cinéma, pour voir l'âme des gens, et comme nous l'avons déjà dit à propos du gros plan, Gennaine Dulac (1924) parle, de son côté du *plan psychologique* « le plan psychologique, le gros premier plan, comme nous l'appelons, c'est la pensée même du personnage projeté sur l'écran. C'est son âme, son émotion, ses désirs. Le gros plan, c'est aussi la note impressionniste, l'influence passagère des choses qui nous entourent » [3].

8 CONCLUSION

Le cinéma reste l'un des moyens les plus efficaces quand il s'agit de la représentation du réel; le choix des images et le montage réalisé ont tout un pouvoir de transmettre l'idée de leur auteur même subjectivement. Pour Hakim Belabbes, il est remarquable que son cinéma a déjà une identité repérable à travers « un cinéma du pauvre ». Le cinéma proposé continue de jouer son rôle comme arme de défense des opprimés et une voix parlant au nom de plusieurs minorités vivant en marge. « Le fait que le cinéma adhère au réel produit, dans ce cas, un effet directement révolutionnaire, plutôt qu'un effet didactique comme le voulait Rocha. La dénonciation sert d'information, de témoignage, de future arme de lutte pour ceux qui combattent » [6].

En plus de son rôle vital répondant aux besoins économiques des gens et représentant la première source de leur bonheur, le travail dans le cinéma de Belabbes est également lié à une connotation douloureuse capable de problématiser les différentes personnes à sa quête.

Les métiers traditionnels choisis, les lieux, les portraits des travailleurs et les intrigues filmiques accentuent la même idée du réalisme cinématographique où on voit la dualité de la vie dans ses deux facettes entre joies et douleurs et loin de tout stéréotype de l'idéal. Pour Belabbes, même s'il a déclaré en plusieurs occasions son engagement pour la préservation de la mémoire, du patrimoine et de la culture, il a également réussi à exprimer la hardiesse d'une telle tâche à travers l'idée du conflit entre jeunes et leurs pères.

REFERENCES

- [1] S. Weil, «*La condition ouvrière*», Ed. Gallimard, Paris, 1951.
- [2] E. Ethis, «*Sociologie du cinéma et de ses publics*». Ed: Armand Colin, Paris, 2018.
- [3] J. Aumont, «*L'image*», Paris, 2^{ème} Ed: Nathan-Université, 1991.
- [4] A. Vallet, «*Les genres du cinéma*». Ed: LIGEL, 3^{ème} Ed, Paris, 1963.
- [5] M. Aroussi, «Hakim Belabbes: Pour l'amour du 7^{ème} art», *Zamane*, PP.66-71, 2021.
- [6] F. Casetti, «*Les théories du cinéma depuis 1945*». Ed: ARMAND COLIN, Paris, 2015.

FILMOGRAPHIE

DOCUMENTAIRES

- [7] Un nid dans la chaleur (1992).
- [8] Expressions d'amour (2011).
- [9] Fragments (2009).
- [10] Ces mains-ci (2008).
- [11] Wojouh (2009).

LONGS-MÉTRAGES

- [12] Murs effondrés (2021).
- [13] Pluie de sueur (2017).
- [14] Vaine tentative de définir l'amour (2012).
- [15] Fibre de l'âme (2003).
- [16] Rêves ardents (2011).

Physico-mechanical characterisation of the composite of clay and grown typha fiber

Djiby COULIBALY, Oumar DIALLO, Youssou TRAORE, Mouhamed DIOUF, Harouna Mamadou BAL¹, and Salif GAYE

Laboratoire de Matériaux d'Énergétique, d'Electricité et d'Economie (LM3E), Institut Universitaire de Technologie de l'Université de Thiès, Senegal

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

ABSTRACT: This article looks at the use of local materials for sustainable construction, focusing on a composite combining Sebikotane clay and ground Typha australis fibers. The study aims to overcome the limitations of clay, such as swelling and shrinkage, by incorporating natural fibers as stabilizers.

Particle size analysis reveals that Sebikotane clay, the base material studied, is made up of 48% clay, 10% silt, and 42% fine sand. Atterberg limit tests confirm significant plasticity, while tests carried out on clay-Typha composites with fiber incorporation rates varying from 0 to 8% show a compressive strength of between 1.38 and 2.07 MPa.

The addition of fibers significantly reduces volume shrinkage (up to 88.88% with 8% fibers) but is accompanied by an increase in loss on ignition, reaching 17.6% with 8% Typha.

Analysis of the results shows that to ensure optimum performance in construction, particularly in terms of mechanical strength and dimensional stability, it is advisable to limit the incorporation of Typha fibers to a maximum of 4%.

KEYWORDS: clay, typha, resistance to compression, volumetric shrinkage, fire loss, water absorption.

1 INTRODUCTION

Promoting local materials in the construction sector is a major challenge from a sustainable development perspective. Because of its abundant availability and intrinsic properties, clay is a promising building material. However, its use is limited by its swelling and shrinkage characteristics, which compromise the stability and durability of structures. To overcome these limitations, mechanical stabilization is essential.

According to Danso et al [1], three main approaches to stabilizing materials have been identified: the use of natural fibers, the addition of minerals (cement or lime), or a combination of the two. In this context, Typha australis, a renewable natural resource, is being considered as a clay reinforcement to improve its performance while meeting environmental and economic requirements.

The aim of this work is to characterize the physical and mechanical properties of a clay-typha composite with a view to its use in construction. The study is based on an analysis of the properties of the raw materials (clay and Typha australis), followed by an assessment of the physical-mechanical performance of the composites. The results will be used to formulate recommendations for optimizing the applications of this material in the context of sustainability.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 PREPARATION OF RAW MATERIALS

The clay used in this manuscript comes from the town of Sébikotane, 24 km from Thiès. It was sifted using a 1mm mesh sieve.

The typha australis used was obtained from the town of Richard Toll in the Saint-Louis region. It was dried for a fortnight, then cut with a machete and ground by machine. A 10 mm mesh sieve was used to collect the bystanders. Figure 1 shows the crushed typha and the clay sieve using a 1 mm sieve.



Fig. 1. *Typha australis* and clay

2.2 GEOTECHNICAL IDENTIFICATION TESTS

2.2.1 NATURAL WATER CONTENT (W)

The natural water content is obtained by oven drying a quantity of soil at 105°C. It is the ratio of the mass of water evaporated to the mass of dry soil (solid grains).

Determination of the natural water content is based on the following formula [2]:

$$W(\%) = \frac{m_h - m_s}{m_s} \times 100$$

Where m_h : the mass of the soil sample in its natural state; m_s : the mass of this soil sample after oven drying at 105°C for 24 hours; $m_h - m_s$ = mass of water.

2.2.2 PARTICLE SIZE ANALYSIS

Granulometric analysis is a geotechnical test designed to determine the size and percentage of aggregates in a material to classify the soil. It is carried out by sieving if the diameter of the samples is greater than 0.08mm NF P94-060 [3] and by sedimentation if the dimensions of the samples are less than 0.08mm NF P94-057 [4]. For our clay material, we used both identification techniques.

2.2.3 ATTERBERG'S LIMIT

The Atterberg limit was used to determine the plasticity of our soil.

There are two types of Atterberg limit (the liquid limit WL and the plastic limit WP). The liquid limit corresponds to the water content of a reworked soil at the transition point between the liquid and plastic states.

The plasticity limit is the water content of a reworked soil at the point of transition between the plastic and solid states. These limits are determined on the fraction of soil passing through the 400µm sieve NF P94-051 [5].

The difference between the liquid limit and the plastic limit gives the plasticity index IP. This index defines the extent of the plastic domain. It is determined by the following equation:

$$IP = WL - WP$$

2.2.4 METHYLENE BLUE TEST

The blue test enables us to assess the quantity and quality of clays in our soil.

According to standard NF P94-068 [6] the principle consists of measuring the quantity of methylene blue that can be adsorbed by the material suspended in water.

VBS is expressed in grams of blue per 100 g of dry material.

For materials with a Dmax of less than 5 mm, the methylene blue value is calculated by:

$$VBS = \frac{m_{BM}}{m_0} \times 100$$

where m_{BM} is the mass of blue introduced (10 g/l solution).

$$m_{BM} = V \times 0,01$$

m_0 : dry mass of the test sample.

V: volume of blue introduced.

The specific surface area can be determined from the quantity of methylene blue injected into the clay minerals suspended in an aqueous solution until saturation by adsorption. It is calculated from the following equation [7]:

$$S_s = \frac{m_{BM}}{m_0} \times \frac{A_v}{319,86} \times A_{MB} \text{ in } (m^2/g)$$

where A_v : Avogadro number ($6,02 \times 10^{23}$ atoms/mol);

A_{MB} : area covered by a molecule of methylene blue ($130 \text{ \AA}^2$)

2.3 IS THE MOLECULAR WEIGHT OF THE DYE WITH THE CHEMICAL FORMULA

2.3.1 ABSOLUTE DENSITY OF SOLID GRAINS

This test aimed to determine the specific weight of our clay soil without its porosity.

In accordance with standard NF P 94-054 [8], this is determined using a water pycnometer.

The measurement procedures are as follows:

- The mass (m_1) of the pycnometer alone is weighed.
- The mass of the pycnometer containing the sample is m_2
- The pycnometer containing the sample is filled to the mark with distilled water. The whole mixture is shaken to obtain a homogeneous mixture and weighed, after allowing any air bubbles to escape (m_3);
- Finally, the pycnometer is emptied, cleaned, dried and filled with water up to the stopper mark, then weighed (m_4).

The absolute density is obtained from the following relationship:

$$\gamma_s = D \frac{m_2 - m_1}{m_4 + m_2 - m_1 - m_3}$$

where D: the relative density of distilled water at a given temperature.

Figure 2 shows the pycnometer filled with water.



Fig. 2. *pycnometer + water*

2.3.2 APPARENT DENSITY

The apparent densities of our raw materials clay and Typha fiber have been determined. The test consists of weighing the sample in a known volume and deducing the mass of the test tube. This test is carried out under standard NF EN 1097 – 3 [9]. The value of the apparent density is given by the relationship:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

2.3.3 WATER ABSORPTION

Typha is a biobased material with hydrophilic behaviour. To determine its water absorption kinetics, we dried some of its weight in an oven for 24 hours until it had a constant weight. We then took 20 g of typha and immersed it completely in water to evaluate its water absorption kinetics at different times.

2.4 PRODUCTION OF TEST SPECIMENS

The samples are made from a mix of raw materials (clay + ground typha fiber) to which water is added for mixing. The percentage of ground typha fiber incorporated varies from 0 to 8%, with steps of 2%. The raw materials are dry-mixed to obtain a homogeneous mixture. The quantity of water added for mixing was determined using the general formula: $E = 0.25 A + 0.27 B$ where A and B are the respective mass percentages of clay and typha fiber [10].

Cylindrical samples with a diameter of 11cm and a height of 22 cm and prismatic samples with a size of $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ were produced for compression and bending tests respectively. They were then dried in the open air and out of the sun until their mass had completely stabilized. Figures 3 and 4 show the various specimens obtained.



Fig. 3. *Cylindrical test tubes*



Fig. 4. Prismatic test tubes

2.5 PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISATION

Construction materials are often subjected to various mechanical and physical phenomena, such as tensile and compressive loads, as well as phenomena due to the instability of their volumes, such as shrinkage. Compression and tensile tests, as well as tests of the physical behaviour of our materials in the face of fire and shrinkage phenomena, are therefore necessary.

2.5.1 MECHANICAL COMPRESSION TEST

Compressive strength is measured by uniaxial compression of straight cylinders of revolution with a cross-section S and a height twice their diameter. In this test, our cylindrical specimens are placed between the platens of a press and the axial force is increased until the specimen breaks. The test set-up is illustrated in Figure 5.

The maximum value F of the force is used to calculate the axial compressive strength of the material according to the following relationship [11]:

$$R_c = \frac{F}{S}$$

R_c = Resistance in compression (in MPa)

S = Cross-section of specimen (in mm^2)



Fig. 5. Simple compression test device

2.5.2 FLEXION TENSILE TEST

The test is carried out on a compression press, using lower support rollers spaced three times the square cross-section of our prismatic specimens, and upper support rollers spaced once the prism. These apply the load from the press plate to the specimen. The experimental set-up is shown in Figure 6.

The three-point bending tensile strength of a prismatic concrete specimen with a square cross-section of side 'a' subjected to a breaking load would then be: $R_{fd} = \frac{1.8F}{a^2}$ [12].



Fig. 6. Testing device for 3-point bending

2.5.3 FIRE LOSS TEST

Loss on ignition was determined by measuring the mass loss of our prismatic samples between the drying and firing stages. Firing took place in a NABERTHERM electric oven with a maximum temperature of 3000°C (Figure 7). Our well-dried specimens were baked for 1 h 30 min. The maximum temperature reached was then 900°C. The oven was then switched off and allowed to cool to room temperature.



Fig. 7. NABERTHERM electric oven



Fig. 8. Internal view of the oven after the test tubes have been fired

2.5.4 VOLUMETRIC SHRINKAGE

A volumetric shrinkage study was carried out on our cylindrical specimens before and after drying for 21 days.

The volume shrinkage R_V expressed as a percentage is calculated according to the following formula [13]:

$$R_V = \frac{V_H - V_S}{V_H} \times 100$$

Where V_H : wet volume of the sample and V_S : dry volume of the sample.

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 NATURAL WATER CONTENT

The results of the natural water content of the clay sample are presented in Table 1.

These results are the average of the two tests.

Table 1. Natural water content of the clay sample

Tests	Wet mass in g	Dry mass in g	Water content in %
1	409,67	382,12	7,21
2	412,85	380,78	8,42
			Average of water content =7,81

3.2 PARTICLE SIZE ANALYSIS

The results of the particle size analysis on our clay material are shown in Figure 9.

They show that the soil used in this report is composed of 48% clay, 42% sand and 10% silt, and more than 65% of the grains by mass pass through the 80 μm sieve.

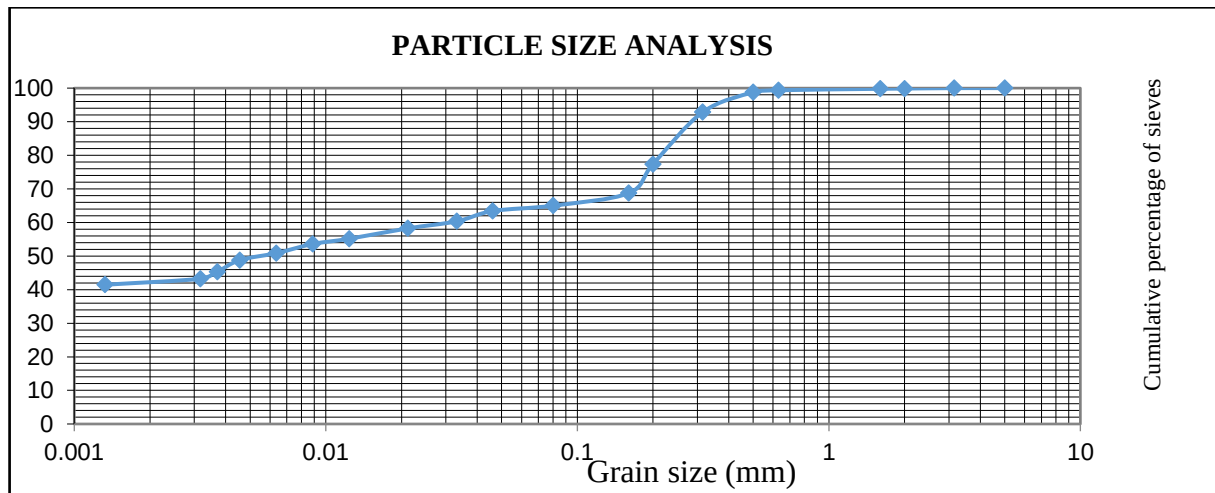


Fig. 9. Clay particle size distribution curve

3.3 ATTERBERG'S LIMIT

The liquid limit found for the clay is 39.71%, its plastic limit is 19.43%.

Its plasticity index is 20.28%. These results show that the clay used in this work is plastic [14].

3.4 TEST OF A SOIL WITH METHYLENE BLUE

The blue test on our soil material gives a value of 4.8. This result shows that our soil is silty clay [15].

Using the blue test result, we determined the specific surface area of our clay material which gives a value equal to $117\text{m}^2/\text{g}$. This specific surface result shows the presence of illite in the clay material [16]. Therefore, the clay used has a moderate swelling potential [17].

3.5 THE ABSOLUTE AND APPARENT DENSITY OF RAW MATERIALS

We carried out three tests to determine the absolute and apparent density of our materials. The results presented are the average of the three tests. The absolute density of the clay is $2,56\text{ g}/\text{Cm}^3$, its apparent density is $1,14\text{ g}/\text{Cm}^3$. The results show that clay is made up of light particles [18].

The apparent density of the typha obtained is $0,056\text{ g}/\text{Cm}^3$.

3.6 WATER ABSORPTION BY TYPHA FIBER

We used the formula below to determine the rate of absorption of typha fibre in different times. The procedure is as follows:

$$A(t)\% = \frac{m(t) - m_i}{m_i} \times 100$$

with $m(t)$ mass of the sample at time t , m_i mass of the initial sample.

The results of the water absorption kinetics are presented in Table 2.

Table 2. Absorption rate of typha fiber

Duration in (min)	mass (g)	absorption %)
0	20	0
5	55	175
30	73	265
1440	93	365

The results of the water absorption kinetics of our typha fiber are comparable to those of Ababacar Ali's work [8] on rice straw.

3.7 COMPRESSION AND FLEXURAL STRENGTH RESULTS

Table 3 shows the proportions of clay and typha fiber mixed for the compression and bending tests.

Table 3. Mix compositions (Clay + Typha)

Sample \ Component	Crushed fibers of typha in % of mass	Sebikotane clay in % of mass
E0	0	100
E2	2	98
E4	4	96
E6	6	94
E8	8	92

The results of the compressive strengths (R_C) are shown in Figure 10.

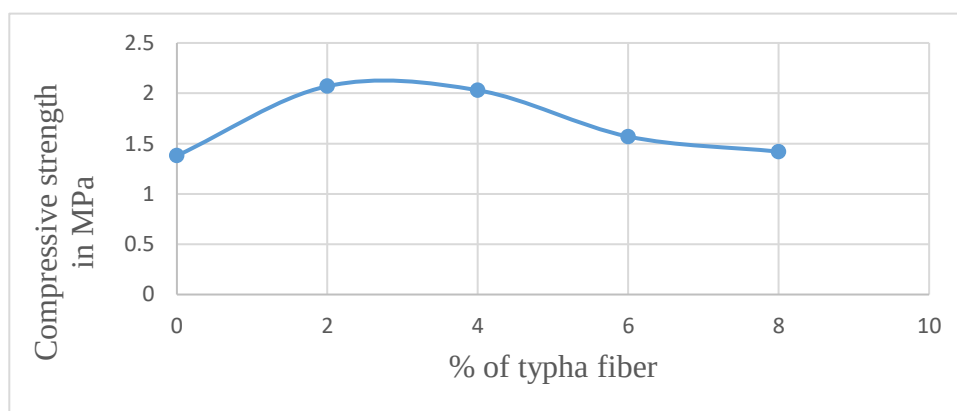


Fig. 10. Evolution of compressive strength as a function of % of typha fiber mixed with Sebikotane clay

The results in Figure 10 show an increase in compressive strength from 1.38 to 2.07 MPa when the percentage of typha fiber incorporation is increased from 0% to 2%. We then observe a progressive decrease in the compressive strength of the composite from 2.03 to 1.42 MPa when the addition of typha fiber to the clay is increased from 4% to 8%. The decrease in the compressive strength of the composite can be explained by the effect of a significant decrease in the density of the composite when the addition of the fiber reaches a certain quantity.

However, at 8% typha, despite a reduction in the compressive strength of the composite, it remains higher than that found for pure clay. This proves the good cohesion between the clay and the typha fiber.

In this case, the typha fiber is used to reinforce the pure clay. This prevents the appearance of cracks when the typha fiber clay composite dries.

Our compressive strength results are in the same range as those for the gum arabic clay composite produced by Ababacar Ali [19].

The bending tests carried out on the prismatic specimens gave weak results, so the machine did not display them.

These results are comparable to those of the typha clay powder composite produced by Younouss Dieye [20]. The results of the physical properties of clay show that its specific weight is low compared to other construction materials. This low value is because clay contains a high percentage of pores. This porosity harms mechanical properties, particularly flexural strength.

Several standards, such as the Australian standard, consider a zero tensile strength for clay due to a lack of testing. In New Zealand, the standard suggests a value of 0.1 MPa for tensile strength, or deducted from compressive strength in the absence of testing [21].

3.8 FIRE LOSS RESULTS

We determined the loss on ignition of our prismatic specimens for different typha fibers incorporated in unfired clay bricks using the following formula [13]:

$$\text{Fire loss \%} = \frac{m_{seche} - m_{cuite}}{m_{seche}} \times 100$$

The results obtained are summarised in Figure 11.

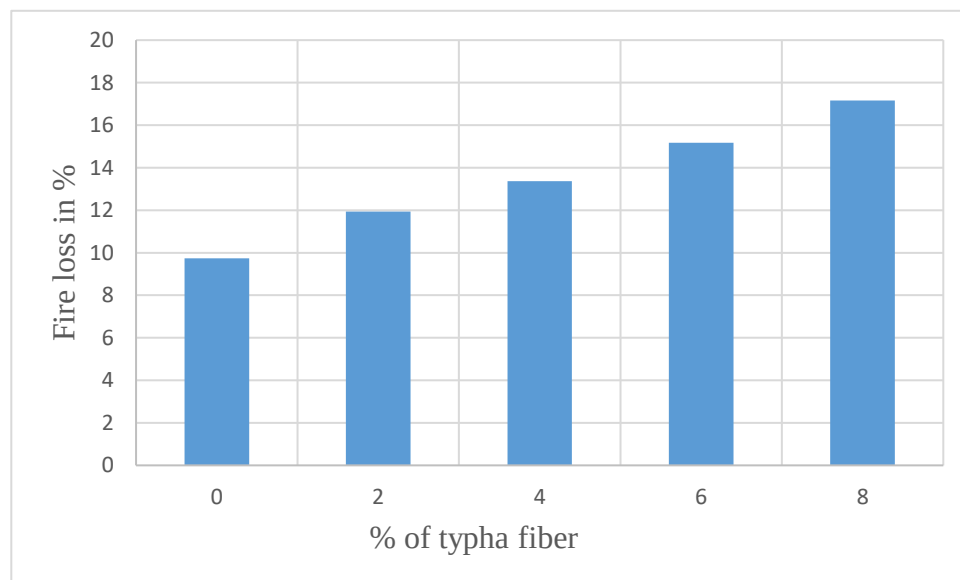


Fig. 11. Loss on ignition of samples manufactured with different percentages of typha

The results in Figure 11 show that the loss of ignition of our materials increases with the incorporation of the pore-forming agent referred to here as typha fiber. The respective values are 9.74; 11.94; 13.36; 15.17 and 17.6% when the percentage of incorporation of the fibre increases from 0 to 8%.

The addition of fiber to the clay mixture creates porosity in the system during the firing process through dehydroxylation and carbon decomposition. This void formation leads to a reduction in mass, as the air is lighter than the clay and fibers. Therefore, for the material to retain its good fire performance, its loss on ignition must be less than 15% [22]. In our study, the incorporation of 6% fiber in the clay material exceeds the standards.

3.9 VOLUMETRIC SHRINKAGE

Table 4 shows the volumes of cylindrical specimens measured in the dry state. These results are obtained by averaging the three measurements on each type of sample.

Table 4. Average volumes of samples measured after 21 days of drying

Sample	E0	E2	E4	E6	E8
Mass in kg	3,17	3,03	2,85	2,80	2,76
dry volume of samples in cm ³	1591,41	1697,38	1772,54	1865,45	2015,22
Volumes of wet samples in cm ³	2090,73	2090,73	2090,73	2090,73	2090,73

The data in Table 4 and the volume shrinkage formula have enabled us to plot the volume shrinkage curve as a function of our samples.

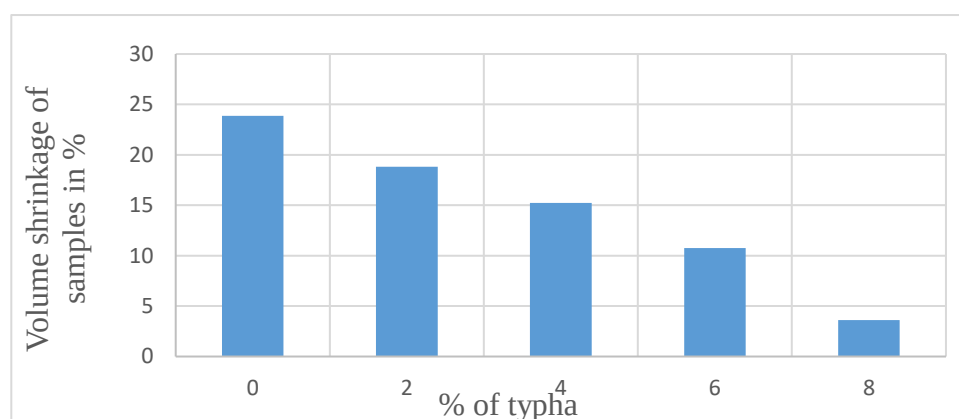


Fig. 12. Volume shrinkage on drying for different percentages of typha on unbaked clay material

The results in Figure 12 show that the shrinkage of the material during drying decreases with the incorporation of the quantity of ground typha fiber. At 0% fiber, the shrinkage is 23.88% and at 8% fiber, it is 3.61%.

When clay is mixed with water, because of its porosity, its internal pores are filled with water. This causes its volume to swell. During the drying process, the water evaporates from the pores and is replaced by air, giving rise to the phenomenon of drying shrinkage.

Secondly, typha fiber is hydrophilic, so it absorbs a certain amount of water during mixing. This water, which has become bound, does not take part in evaporation, which explains the reduction in volume shrinkage as a function of the percentage of fiber.

In this report, with 8% incorporation of typha fiber, we obtain a reduction in the rate of volume shrinkage of 88.88% compared with the rate of shrinkage of the pure clay material.

4 CONCLUSION

This study is part of an initiative to develop clay and Typha australis for use in sustainable construction. Analysis of the characteristics of Sebikotane clay confirmed its plasticity and favourable composition in terms of light particles. Tests on clay-typha composites have shown that the incorporation of fibers significantly improves certain mechanical properties, by reducing volume shrinkage by up to 88.88% with 8% fibers. However, fire performance decreases above 6% fiber addition.

For optimum application, it is recommended that Typha fiber incorporation be limited to a maximum of 4%, to ensure a compromise between mechanical strength and dimensional stability. Finally, further research into the thermal properties of composites is needed to refine their design and broaden their range of applications, while meeting sustainability and energy performance requirements.

REFERENCES

- [1] H. Danso, B. Martinson, M. Ali, et C. Mant, « Performance characteristics of enhanced soil blocks: a quantitative review », *Building Research & Information*, vol. 43, n° 2, p. 253-262, mars 2015, doi: 10.1080/09613218.2014.933293.
- [2] « [NFP94-50], Sols : reconnaissance et essais - Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux ». September 1995.

- [3] « [P18-560], Analyse granulométrique par tamisage ». AFNOR, septembre 1990.
- [4] « [NFP94-057], Sols : reconnaissance et essais- Analyse granulometrique des sols- Methode par sedimentation ». AFNOR, mai 1992.
- [5] « [NFP94-051], Sols : reconnaissance et essais- Determination des limites d'Atterberg ». AFNOR, mars 1993.
- [6] « [NFP94-068], Sols : Reconnaissance et essais Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux ». octobre 1998.
- [7] J. C. Santamarina, K. A. Klein, Y. H. Wang, et E. Prencke, « Specific surface: determination and relevance », *Can. Geotech. J.*, vol. 39, n° 1, p. 233-241, févr. 2002, doi: 10.1139/t01-077.
- [8] Abakar ALI, « Caractéristiques Mécaniques et Thermiques de l'Argile Stabilisée par la Gomme Arabique et Renforcée par la Paille de Riz », n° 101, p. 203, juin 2018.
- [9] D. Sow, « Caractérisation thermomécanique des mélanges de paille de riz et de matériaux à base d'argile en vue de leur utilisation dans l'habitat social », UNIVERSITÉ CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR, 2014.
- [10] S. OUATTARA, « RECHERCHE DE BRIQUES LÉGÈRES : CONCEPTION ET CARACTÉRISATION DE BRIQUES CRUES A BASE D'ARGILE ET DE SCIURE DE BOIS, STABILISÉES AU CIMENT PORTLAND », L'UNIVERSITÉ FELIX HOUPOUET BOIGNY D'ABIDJAN, 2013.
- [11] M. T. Diatta, S. Gaye, A. Thiam, et D. Azilinson, « Détermination des propriétés thermo-physique et mécanique du typha australis. ».
- [12] K. C. Kouadio et S. P. Kaho, « INFLUENCE DE LA TENEUR EN RÉSINE DE POLYSTYRÈNE EXPANSÉ SUR LES PROPRIÉTÉS THERMOMÉCANIQUES D'UN COMPOSITE DE COPEAUX DE BOIS STABILISÉ », 2020.
- [13] C. Bories, M.-E. Borredon, E. Vedrenne, et G. Vilarem, « Development of eco-friendly porous fired clay bricks using pore-forming agents: A review », *Journal of Environmental Management*, vol. 143, p. 186-196, oct. 2014. doi: 10.1016/j.jenvman.2014.05.006.
- [14] Y. Atlan, « CATALOGUE DES ESSAIS GÉOTECHNIQUES EXÉCUTÉS AU LABORATOIRE GÉOTECHNIQUE D'ORLÉANS », mars 1978.
- [15] S. Bodian, « Etude des propriétés mécaniques, thermophysiques et hygroscopiques d'un matériau en terre crue et d'un matériau en terre cuite à utiliser dans un bâtiment bioclimatique », UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR, 2019.
- [16] N. BAKHTAOUI, « Synthèse, caractérisations des composites à base d'argile et application à l'environnement », mai 2015.
- [17] J. Wakim, « Influence des solutions aqueuses sur le comportement mécanique des roches argileuses », 2005.
- [18] M. Fall, D. Sarr, E. M. Cissé, et D. Konaté, « Physico-Mechanical Characterization of Clay and Laterite Bricks Stabilized or Not with Cement », *OJCE*, vol. 11, n° 01, p. 60-69, 2021, doi: 10.4236/ojce.2021.111004.
- [19] A. Ali, R. Benelmir, et J.-L. Tanguier, « Caractéristiques mécaniques de l'argile de Ndjamenia stabilisée par la gomme arabique », 2017.
- [20] Y. Dieye, « Study of thermal and mechanical properties of typha leaf - clay panels », *J Sustain Construct Mater Technol*, 2021, doi: 10.14744/jscmt.2021.02.
- [21] M. Vasilios et W. Peter, « A Review of Rammed Earth Construction for DTi Partners in Innovation Project 'Developing Rammed Earth for UK Housing' », mai 2003.
- [22] C.-H. Weng, D.-F. Lin, et P.-C. Chiang, « Utilization of sludge as brick materials », *Advances in Environmental Research*, vol. 7, n° 3, p. 679-685, mai 2003, doi: 10.1016/S1093-0191 (02) 00037-0.

Utilisation des méthodes contraceptives modernes chez les étudiantes: Connaissances, attitudes, pratique et déterminants dans deux facultés de l'Université de Lubumbashi (RD Congo)

[Use of modern contraceptive methods among female students: Knowledge, attitudes, practice and determinants in two faculties of the University of Lubumbashi (DR Congo)]

Vinie Mwanza Numbi¹⁻²⁻³, Berthe Tshikala Kosa¹⁻²⁻³, Rosalie Mugoli Kalimira¹⁻²⁻³, and Didier Chuy Kalombola⁴, and Abdon Mukalay Wa Mukalay¹⁻²⁻³

¹Faculté de Médecine, Université Lubumbashi, RD Congo

²Département de Santé Publique, Faculté de Médecine, Université de Lubumbashi, RD Congo

³Unité d'épidémiologie clinique et des pathologies tropicales, Département de Santé Publique, Faculté de Médecine, Université de Lubumbashi, RD Congo

⁴Institut Supérieur des Techniques Médicales, RD Congo

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

ABSTRACT: The aim of this study was to identify contraceptive behavior and determinants of Modern Contraceptive Methods (MCM) use among female students at the University of Lubumbashi (UNILU) in DR Congo.

Methods: a cross-sectional analytic study, running from June 06, 2016 to March 21, 2017 among female students at two faculties of university of Lubumbashi (Faculty of Medicine and the Faculty of Letters and Humanities). An exhaustive sampling of 329 sexually active female students, secondary of 1341 female students present on the day of the survey. Socio-demographic variables, knowledge, attitudes and practices of MCM were analyzed, and logistic regression was performed.

Results: The average age of all sexually active female students was 22.9±3 years, 9 out of 10 students had heard of contraceptive methods (CM), and teachers were the main source of information, followed by friends and family. Condoms were the method most frequently cited and used by respondents. Determinants of MCM use among female students were: «hearing about MCM from friends/family», «knowledge of condoms», «having used an MCM at first intercourse», «having been pregnant in her life», «sharing information about MCM with sexual partner», and «knowing that MCM were available in pharmacies».

Conclusion: To increase the use of MCM among female students, it is necessary to take into account the various predictive factors.

KEYWORDS: use, contraception modern, knowledge, attitudes, practice, determinants, University of Lubumbashi.

RESUME: *Contexte:* L'objectif de cette étude était d'identifier le comportement contraceptif et les déterminants de l'utilisation des Méthodes Contraceptives Modernes (MCM) chez les étudiantes de l'Université de Lubumbashi (UNILU) en RD Congo.

Méthodes: L'étude transversale analytique, allant du 06 juin 2016 au 21 mars 2017 parmi les étudiantes de deux facultés de l'université de Lubumbashi (médecine et Lettres & Sciences Humaines). Un échantillonnage exhaustif de 329 étudiantes sexuellement actives, secondaire de 1341 étudiantes présentes le jour de l'enquête. Les variables sociodémographiques, de connaissance, d'attitudes et de pratiques des MCM étaient analysées et une régression logistique a été réalisée.

Résultats: L'âge moyen des enquêtées était de 22,9±3 ans, 9 étudiantes sur 10 avaient déjà entendu parler des Méthodes Contraceptives (MC) et les enseignants constituaient la première source d'informations, suivi du groupe des ami(e)s et la famille. Le préservatif était la méthode la plus citée et plus utilisée par les enquêtées. Les déterminants de l'utilisation des méthodes contraceptives modernes chez les étudiantes étaient: « entendre parler des MC des ami(e)s/famille », « la connaissance du préservatif », « avoir utilisé une MC lors des

premiers rapports sexuels», « avoir été enceinte dans sa vie », « partager l'information sur les MC avec le partenaire sexuel », et « connaître que les MC étaient procurées dans les pharmacies.

Conclusion: Pour augmenter l'utilisation des MCM parmi les étudiantes, il s'avère nécessaire de tenir compte des différents facteurs prédictifs.

MOTS-CLEFS: utilisation, contraception moderne, connaissance, attitude, pratique, déterminants, UNILU.

1 INTRODUCTION

L'utilisation des méthodes contraceptives modernes (MCM) prévient des millions des grossesses non désirées chaque année parmi les femmes en âge de procréer (15 à 49 ans) et par conséquent elle réduit ainsi le nombre de naissances non désirées, d'avortements, des cas de morbi-mortalité maternelle et néonatale [1] – [3]. Au-delà des avantages sur la santé des femmes et des enfants, l'utilisation des MCM permet aux femmes se rester longtemps aux études, l'amélioration des revenus des femmes et la réduction de la pauvreté [3]. Parmi les MCM, le port du préservatif prévient également le risque de contamination des certaines infections sexuellement transmissibles (IST) comme le virus d'immunodéficience acquise (VIH). Ainsi, les adolescents et jeunes sexuellement actifs n'usant d'aucune contraception s'exposent aux grossesses non désirées, précoces et dont le grand nombre de cas aboutissent aux avortements provoqués ainsi que toutes les complications y afférentes et aux IST. C'est la raison pour laquelle l'organisation mondiale de la santé (OMS) propose que le préservatif soit accessible à tous, même aux jeunes et aux adolescents sexuellement actifs [4].

Cependant les universités organisent les enseignements à l'intention des adolescents et jeunes adultes, certains d'entre eux y arrivent déjà sexuellement actifs ou encore ils le deviennent durant leur cursus académique [5].

Selon les études de Bjelica et Hailemariam et al. réalisées en Serbie et en Ethiopie, les déterminants de l'utilisation des MCM chez les étudiantes sont multiples, ils peuvent être socio-démographiques, de connaissance des MCM et d'attitude envers les MCM [6], [7]

Dans leur étude menée dans deux universités de la Tanzanie auprès des étudiantes du premier cycle, Somba et al. ont trouvé, en 2014, que 70,4% des participantes avaient déjà eu des rapports sexuels dont 15% ont eu de grossesses non désirées parmi lesquelles 27 % s'étaient soldés par des avortements provoqués [8]. Pour leur part, Mehra et al, ont trouvé à l'Université des sciences et technologie de Mbarara (MUST) en Ouganda que 30,6% des hommes et 14,2% des femmes avaient eu des rapports sexuels à l'âge inférieur ou égal à 16 ans [9]. Wasie et al. ont trouvé dans deux Universités d'Ethiopie que 16,5% des répondants avaient déjà eu les rapports sexuels, dont 61,1% avant l'âge de 20 ans et 38,5% avaient souffert une infection sexuellement transmise [10].

En République Démocratique du Congo (RDC), l'âge médian aux premiers rapports sexuels est antérieur à celui de la première union conjugale et plus d'une adolescente sur quatre a déjà enfanté [11]. Ces données démontrent que les adolescentes et les jeunes adultes à l'instar des étudiantes sont exposés au risque des grossesses non désirées, précoces et aux avortements dangereux en RDC. D'après l'enquête sur la santé de la reproduction menée auprès des étudiants de l'université de Kinshasa en 2004, a révélé que 85,3% des hommes avaient leur premier rapport sexuel avant d'arriver à l'université (aux humanités) contre 67,4% des filles, 47 % d'entre eux avaient avoué avoir au moins un rapport sexuel durant le trois derniers mois et près de huit sur dix n'avaient pas utilisé le préservatif [12].

La prévalence contraceptive reste faible chez les femmes en âge de procréer y compris parmi les étudiantes comparée à celle des pays voisins, notamment le Rwanda (58%) en 2020, le Kenya (61%) en 2020, la Zambie (48%) en 2018 chez les femmes mariées ou en union conjugale [13]. Selon l'enquête par grappe à indicateurs multiples (MICS), la prévalence contraceptive a été évaluée à 28,1 % dont 17,6 % modernes et 10,5% traditionnelles, chez les femmes mariées ou en union conjugale. Elle a cependant été de 42,9% dont 28,2% des modernes et 14,6 % des traditionnelles, chez les femmes non mariées ou non en union conjugale et sexuellement actives en 2018 [14].

Cette faible prévalence contraceptive peut expliquer des taux élevés de grossesses non désirées (174 pour 1000 femmes âgées de 15 à 49 ans) dans la population générale et d'avortement provoqué (56 pour 1000 femmes) qu'ont trouvés Chae et al. à Kinshasa en 2016, [15], de loin supérieur au taux mondial d'avortement provoqué (35 pour 1000 femmes) trouvé par Sedgh et al. en 2016 [16].

Il y a encore une carence d'informations récentes sur les déterminants de l'utilisation des MCM chez les étudiantes dans les universités de la RD Congo. La présente étude avait pour objectif d'identifier le comportement contraceptif et les déterminants de l'utilisation des MCM chez les étudiantes de l'Université de Lubumbashi (UNILU) en RD Congo.

2 METHODES

2.1 TYPE D'ÉTUDE

Nous avons mené une étude transversale analytique, sur la période allant du 06 juin 2016 au 21 mars 2017.

2.2 MILIEU D'ÉTUDE

L'étude a été réalisée dans la ville de Lubumbashi, la ville économique de la République Démocratique du Congo, ayant une superficie de 747 km² et une population estimée à 5 000 000 habitants [17]

L'université de Lubumbashi nous a servi de site, elle est la plus grande des universités de la ville en termes des facultés et écoles organisées (10 facultés et 4 écoles) et effectifs des étudiants recrutés. Les facultés et écoles y sont organisées en 3 groupes respectifs: sciences du vivant dont la faculté de médecine, groupe des sciences humaines dont la faculté des lettres et sciences humaines et le groupe des sciences exactes [17], [18]

2.3 POPULATION À L'ÉTUDE

La population à l'étude était les étudiantes de la faculté de Médecine d'une part, et celle des Lettres et Sciences Humaines.

La taille a été calculée en considérant la proportion de 46,6 % d'utilisation des méthodes contraceptives (MC) chez les étudiantes de l'université de Makerere à Kampala en Ouganda [19] à un niveau de confiance de 95 % et une marge d'erreur de 4 %, et en tenant compte des non répondantes éventuelles et de l'effet design (ou du protocole), arrondie à près de 1000 étudiantes [20]. Devant la difficulté de procéder à l'échantillonnage systématique sur terrain, nous avons opté pour un échantillonnage exhaustif des étudiantes de ces facultés, présentes dans les auditoriums le jour de la récolte des données. A la faculté de médecine, les étudiantes de la quatrième année du doctorat (dernière et 7e année d'étude) n'ont pas été concernées, car ayant été en stage dans différents hôpitaux du pays. La participation des étudiantes était de 80,5% (627 enquêtées sur 771 admissibles) à la faculté de médecine et de 54% (714 enquêtées sur 1312 admissibles) dans celle des lettres et sciences humaines. Sur un total de 1341 étudiantes qui avaient remplis leur questionnaire de façon acceptable, 329 (24,5%) avaient reconnu d'avoir déjà une expérience sexuelle et ont ainsi constitué la cible de la présente étude

2.4 COLLECTE DES DONNÉES

La collecte des données a été réalisée grâce à un questionnaire prétesté auprès de 20 étudiantes d'une autre faculté (Sciences Sociales Politiques Administratives) et remis pour être auto-administré de façon anonyme par nos enquêtrices formées aux étudiantes enquêtées pendant la pause des enseignements de 12 heures à 14 heures à l'auditoire. Les enquêtrices étaient accompagnées du délégué de la faculté. Les questionnaires remplis étaient sur le champ déposés directement dans une urne non transparente par les enquêtées dans l'auditoire-même, pour plus de confidentialité.

2.5 ANALYSE DES DONNÉES

Le dépouillement des questionnaires remplis nous a permis de constater que 20 questionnaires étaient mal remplis; ils ont ainsi été déclassés du traitement des données. Les données de ces questionnaires restants ont été encodées séparément par deux personnes indépendantes, grâce au logiciel Epi info 7.1.1.14. Les deux bases des données ont été comparées grâce au logiciel Excel 2010 pour leur nettoyage et intégration en une seule base validée.

Les variables retenues pour analyse comprenaient les catégories sociodémographiques, de connaissance et celles en rapport avec les attitudes et pratiques des MC.

Après exploration, l'analyse a été effectuée grâce au logiciel STATA 15. Elle a compris une partie descriptive suivie d'une autre analytique. La partie descriptive a consisté à calculer les mesures notamment la moyenne, l'écart-type pour les variables quantitatives et la proportion pour les variables qualitatives. La partie analytique a consisté à user des tests statistiques en vue de dégager les associations entre les variables indépendantes et la variable dépendante (utilisation de la contraception d'une MCM au cours de 3 derniers mois avant l'enquête).

Grâce au test de Chi-carré de Pearson l'association entre la variable dépendante et les variables indépendantes a été identifiée. Seules les variables dont l'association était significative ($p < 0.05$) ont été retenues pour la régression logistique.

Dans le modèle final de la régression, la sélection des variables a été effectuée par la procédure pas à pas dégressive. Le test du rapport de vraisemblance a permis de tester les interactions entre les prédicteurs potentiels de l'utilisation actuelle des MCM. Le test

d'ajustement de Hosmer et Lemeshow a, quant à lui, permis de vérifier l'adéquation du modèle final de régression logistique. Les OR ajustés, leurs intervalles de confiance et les p valeurs du test de Wald générés ont été retenus comme résultats.

2.6 CONSIDÉRATIONS ÉTHIQUES

Le protocole de cette étude a été soumis et approuvé par le Comité d'Ethique médical de l'Université de Lubumbashi (Autorisation N°UNILU/CEM/074/2016) et les autorités académiques des deux facultés concernées. Toutes les enquêtées ont participé après avoir donné leur consentement informé, libre et verbal, à la suite des explications leur fournies par les enquêtrices sur l'objectif de l'étude. L'anonymat, la confidentialité et la dignité des enquêtées ont aussi été strictement respectés.

3 RESULTATS

3.1 CARACTÉRISTIQUES SOCIODÉMOGRAPHIQUES DES ÉTUDIANTES ENQUÊTÉES

De toutes les enquêtées, un peu plus de 7 sur 10 vivaient en famille et 8 sur 10 étaient célibataires. Plus de la moitié des enquêtées fréquentaient des églises protestantes et des églises de réveil. Près des trois quarts avaient avoué que la religion avait une place forte au sein de leur famille ou vie. Aussi 6 étudiantes sur 10 étaient du premier cycle universitaire et un tiers avait suivi la section biologie-chimie aux humanités (secondaire)

L'âge moyen de toutes les étudiantes sexuellement actives ayant participé à l'étude était de 22,9±3 ans. L'âge moyen aux premiers rapports sexuels des enquêtées sexuellement actives était de 19±2,7 ans (minimum de 8 ans et maximum de 27 ans) (Tableau 1).

3.2 CONNAISSANCE, ATTITUDE ET PRATIQUE DE L'UTILISATION DES MCM CHEZ LES ENQUÊTÉES

Concernant la connaissance des étudiantes enquêtées: 9 étudiantes sur 10 avaient déjà entendu parler des MC et les enseignants constituaient la première source d'informations (35,1%), suivi du groupe des ami(e)s et la famille (27,9%). Plus de huit étudiantes sur dix connaissaient au moins une MC et le préservatif était la MCM la plus connue et citée (78,8%)

Près de deux tiers des enquêtées (63,2%) avaient avoué connaître un endroit sur où l'on pouvait se procurer les MC et la pharmacie était majoritairement citée (95,2%). Moins d'un cinquième des enquêtées (16,7%) connaissaient un service de santé de la reproduction. Environ une enquêtée sur quatre avait consommé l'alcool durant les 3 derniers mois avant l'enquête (Tableau 2).

3.3 PRATIQUE (UTILISATION) DES MCM CHEZ LES ÉTUDIANTES ENQUÊTÉES

L'utilisation des MC était de 40,4 % (n=133) alors que celle des MCM était de 33,7% (n=111) et plus de 8 étudiantes sur 10 avaient utilisé le préservatif. De 329 étudiantes sexuellement actives, plus de 2 étudiantes sur 10 avaient rapporté d'être déjà enceintes et la moitié d'entre elles avaient procédé à une interruption volontaire de la grossesse (IVG). Près de 2 enquêtées sur trois avaient partagé les informations sur les MC avec leurs partenaires sexuels (Tableau 3).

3.4 ATTITUDES DES ÉTUDIANTES ENQUÊTÉES ENVERS L'UTILISATION DES MC

Près de six étudiantes sur dix ont déclaré être d'accord de l'utilisation des MCM et près de quatre sur dix étaient neutres. Environ trois étudiantes sur 5 ne pouvaient pas conseiller leur fille ou leur collègue à utiliser les MCM. Les trois cinquièmes des enquêtées n'avaient jamais discuté des MC avec leurs parents. La moitié des étudiantes a déjà suivi le cours sur les MC aux humanités ou soit à l'université. Moins de la moitié des enquêtées avaient été sensibilisées ou conseillées sur les MC et près d'une enquêtée sur trois a avoué avoir les gens qui l'encourageaient à utiliser les MC (Tableau 4).

Tableau 1. Variables sociodémographiques des enquêtées ayant déjà eu des rapports sexuels

VARIABLES(N=329)		N	%
Résidence de l'étudiante			
	Famille	240	73,0
	Campus	28	8,5
	Hors Famille/Campus	61	18,5
Etat civil de l'étudiante			
	Célibataire	267	81,2
	Divorcée	1	0,3
	En couple	33	10,0
	Mariée	28	8,5
Religion de la famille			
	Protestante et Réveil	187	56,8
	Catholique	124	37,7
	Musulmane	4	1,2
	Kimbanguiste	1	0,3
	Autre religion	9	2,7
	Pas de religion	4	1,2
Niveau d'études des pères/tuteurs (n=326)			
	Nul	1	0,3
	Primaire	6	1,8
	Secondaire	62	19,0
	Supérieur/Universitaire	257	78,8
Promotion de l'étudiante			
	Graduat	196	59,6
	Licence/Doctorat en médecine	133	40,4
Place de la religion dans votre famille ou vie			
	Forte	237	72,0
	Moyenne	83	25,3
	Faible/nulle	9	2,7
Option suivie aux humanités secondaires (n=306)			
	Biologie-Chimie	114	37,3
	Philosophie-Latin	72	23,5
	Pédagogie	82	26,8
	Commerciale	14	4,6
	Mathématiques-Physique	13	4,2
	Autres	11	3,6

Tableau 2. Variables de connaissance des MC déclarées par les enquêtées ayant déjà eu des rapports sexuels

VARIABLES (N=329)	N	%
Entendre parler des MC		
Non	21	6,4
Oui	308	93,6
Source des informations sur les MC Citées par les étudiantes (n=308)		
Enseignants	108	35,1
Amis et famille	86	27,9
Personnel de santé	70	22,7
Média	19	6,2
Autres	25	8,1
Connaître une Méthode Contraceptive (n=308)		
Non	55	16,7
Oui	274	83,3
Méthode Contraceptive citée (n=274)*		
Préservatif	216	78,3
Pilule	137	50
Calendrier	80	29,2
Abstinence	60	21,9
Implant	39	14,2
Coït interrompu	31	11,3
Stérilet	30	11,0
Collier	15	5,5
Injectable	11	4,0
Autres	10	3,7

Légende : N = Nombre ; MC= Méthode Contraceptive ; * = Possibilité de citer plus d'une réponse

Tableau 3. Variables des pratiques sexuelles des enquêtées ayant déjà eu des rapports sexuels

VARIABLES (N=329)	N	%
Nombre de partenaires sexuels		
0-1	267	81,2
≥2	62	18,8
Lors de votre 1er rapport sexuel, aviez-vous utilisé une MC?		
Non	218	66,3
Oui	111	33,7
MC utilisées lors 1ers rapports sexuels (n=111)		
Préservatif	100	90,1
Pilule	5	4,5
Calendrier	4	3,6
Méthode Naturelle	1	0,9
Coït interrompu	1	0,9
Utilisez-vous une MC actuellement ?		
Non	196	59,6
Oui	133	40,4
Utilisation actuellement des MCM		
Non	218	66,3
Oui	111	33,7
Citez MCM Utilisée actuellement (n=111)		
Préservatifs	91	82,0
Pilule du lendemain	14	12,6
Pilule	5	4,5
Implant	1	0,9
Etes-vous enceinte maintenant ?		
Non	323	98,2

	Oui	6	1,8
Avez-vous déjà été enceinte dans votre vie?	Non	253	76,9
	Oui	76	23,1
Avez-vous déjà connu un avortement provoqué volontairement (n=76)	Non	38	50,0
	Oui	38	50,0
Avoir partagé les informations sur les MC avec les partenaires sexuels	Non	115	35,0
	Oui	214	65,0
Connaissez-vous un endroit sûr pour se procurer ou acheter les MC ?	Non	121	36,78
	Oui	208	63,22
Si Oui citez les endroits sûrs (n=208)*	Pharmacies	198	95,2
	Formations de santé	46	22,1
	Auprès du Personnel de santé	2	1,0
	Ailleurs	3	1,4
Connaissez-vous un service de santé de la reproduction ?	Non	257	83,3
	Oui	55	16,7
Avez-vous déjà consulté un médecin/infirmier pour un problème lié à la santé de reproduction (femme) durant les 12 mois passés ?	Non	290	88,1
	Oui	39	11,9
Avez-vous déjà utilisé un service de santé de reproduction (et qui prescrit ou administre les MC)	Non	308	93,6
	Oui	21	6,4
Nombre d'IST contractées (12 derniers mois)	zéro	283	86,0
	≥ 1	46	14,0
Consommation l'alcool durant les 3 derniers mois	Non	242	73,6
	Oui	87	26,4

Tableau 4. Variables sur l'attitude des enquêtées ayant déjà eu des rapports sexuels face aux MC

VARIABLES (N=329)	N	%
Que pensez-vous de l'utilisation des méthodes contraceptives modernes ?		
Désaccord	30	9,1
Neutre	115	35
D'accord	184	55,9
Pouvez-vous conseiller une femme mariée d'utiliser les MCM?		
Désaccord	68	20,7
Neutre	75	22,8
D'accord	186	56,5
Que pensent vos parents/tuteurs/mari des MCM?		
Désaccord	63	19,1
Neutre	94	28,6
Je ne sais pas	70	21,3
D'accord	102	31
Pouvez-vous conseiller votre fille ou collègue d'utiliser les MCM?		
Désaccord	185	56,2
Neutre	103	31,3
D'accord	41	12,5
Avez-vous déjà discuté avec vos parents/tuteurs/mari des méthodes contraceptives modernes ?		
Non jamais	198	60,2
Oui parfois	54	16,4
Oui rarement	56	17
Oui toujours	21	6,4
Avez-vous déjà suivi un cours sur les méthodes contraceptives ?		
Non	164	49,8
Oui	165	50,2
Où avez-vous suivi le cours sur les MC (n=165)		
Au secondaire	80	48,5
A l'université	67	40,6
Ailleurs	18	10,9
Avez-vous déjà été sensibilisée ou conseillée sur les méthodes contraceptives ?		
Non	172	52,3
Oui	157	47,7
Avez-vous dans votre entourage des personnes qui vous encouragent à utiliser des méthodes contraceptives ?		
Non	216	65,6
Oui	113	34,4

Légende ; N= Nombre; MC= Méthode Contraceptive; MCM = Méthode Contraceptive Moderne

3.5 FACTEURS ASSOCIES À L'UTILISATION DES MCM EN ANALYSE BI-VARIEE

Aucune variable sociodémographique n'était associée à l'utilisation des MCM.

Parmi les variables de connaissance des MC, les variables « entendre parler des MC par les amis/famille », « la connaissance du préservatif », « la connaissance de la pilule », « la connaissance de trois ou quatre avantages des MC » étaient significativement associées à l'utilisation des MCM. De même, les variables comme, « la connaissance telle que des MC prévenaient une grossesse non désirée » (GND) ou « la connaissance telle que des MC peuvent protéger contre le VIH/SIDA », étaient aussi significativement associées à l'utilisation des MCM (Tableau 5).

Les variables de pratique et d'attitude ci-après (Tableau 6) ont montré une association significative avec l'utilisation des MCM: « avoir utilisé les MC lors des premiers rapports sexuels », « avoir déjà été enceinte dans sa vie », « avoir connu une interruption volontaire de la grossesse », « avoir partagé des informations sur les MC avec le partenaire sexuel », « connaître un endroit sûr pour se procurer ou acheter les MC », « savoir qu'on se procure les MC à la pharmacie », « connaître un service de santé de la reproduction », « avoir consommé l'alcool pendant les 3 derniers mois avant l'enquête », « avoir un avis défavorable ou neutre sur l'utilisation des MC versus "avoir un avis favorable" », « discuter avec les parents sur les MC », « avoir été sensibilisée sur les MC » et « avoir des gens qui vous encouragent à utiliser les MC ».

Tableau 5. Facteurs de connaissance associés à l'utilisation des MCM en analyse bivariée

VARIABLES (N=329)	n(%)	% utilisation MCM	OR(IC95)	P
Entendre parler des MC par les amis/famille				
Oui	86(26,1 %)	46,5	2,10(1,27-3,49)	0,004
Non	243(73,8 %)	29,0	1	
Connaître le préservatif				
Oui	216 (66 %)	46,8	9,04 (4,48-18,25)	<0,000
Non	113 (34 %)	8,9	1	
Connaître la pilule				
Oui	137(41,6 %)	43,8	2,15 (1,35-3,43)	0,001
Non	192(58,4%)	26,6	1	
Connaître un avantage des MC				
3-4	95(28,9 %)	44,2	2,35 (1,31-4,19)	0,004
1-2	115(35,0%)	33,9	1,52 (0,86-2,68)	0,146
Zéro	119 (36,1%)	25,2	1	
MC protège contre GND				
Oui	182 (55,3%)	39,0	1,71 (1,06-2,74)	0,025
Non	147 (44,7%)	27,2	1	
Certaines MC peuvent protéger contre VIH/SIDA				
Oui	59 (17,9%)	54,2	2,86 (1,61-5,09)	<0,000
Non	270 (82,1%)	29,3	1	

Légende: N= Nombre; MC=Méthode Contraceptive; MCM=Méthode Contraceptive Moderne; GND =Grossesse non désirée; VIH/SIDA =Virus d'Immunodéficience humaine/ Syndrome d'Immunodéficience Acquise.

Tableau 6. Facteurs de pratiques/attitudes associés à l'utilisation des MCM en analyse bivariée

VARIABLES	n(%)	% utilisation MCM	OR(IC95)	P
Utilisation MC lors de 1ers rapports sexuels				
Oui	111(33,7%)	54,1	3,85 (2,37-6,27)	<0,000
Non	218(66,3%)	23,4	1	
Avoir déjà été enceinte dans la vie				
Oui	76 (23,1%)	43,4	1,72 (1,02-2,91)	0,043
Non	253(76,9%)	30,8	1	
Avoir connu une interruption volontaire de la grossesse				
Oui	38(11,6%)	50,0	2,16 (1,09-4,28)	0,027
Non	291(88,4%)	31,6	1	
Avoir partagé des informations avec partenaire sexuel				
Oui	214(65,0%)	45,3	6,00 (3,22-11,12)	<0,000
Non	115(35,0%)	12,2	1	
Connaissez-vous un endroit sûr pour se procurer ou acheter les MC				
Oui	208(63,2%)	43,3	3,63 (2,11-6,26)	<0,000
Non	121(36,8%)	17,4	1	
Sait qu'on se procure les MC à la pharmacie				
Oui	198 (60,2%)	43,9	3,49 (2,07-5,90)	<0,000
Non	131 (39,8%)	18,3	1	
Celles qui connaissaient un service de santé de la reproduction				
Oui	55 (16,7%)	49,1	2,18 (1,21-3,93)	0,009
Non	274 (83,3%)	30,7	1	
Consommation d'alcool durant les 3 derniers mois				
Oui	87 (26,4%)	44,8	1,92 (1,16-3,18)	0,011
Non	242 (73,6%)	29,8	1	
Avis sur l'utilisation des MC				
Désaccord	30 (9,1%)	16,7	0,28 (0,10-0,78)	0,014
Neutre	115 (35,0%)	26,1	0,50 (0,30-0,83)	0,008

	D'accord	184 (55,9%)	41,3	1	
Discuter avec les parents/mari	Jamais	198 (60,2%)	28,3	0,35 (0,14-0,89)	0,027
	Parfois ou rarement	110 (33,4%)	40,9	0,60(0,24-1,55)	0,295
	Toujours	21 (6,4%)	52,3	1	
	Avoir été sensibilisé				
	Oui	157(47,7%)	42,0	2,05 (1,29-3,26)	0,003
	Non	172 (52,3%)	26,2	1	
Avoir des gens qui vous encouragent	Oui	113 (34,3%)	47,8	2,55 (1,58-4,11)	<0,000
	Non	216 (65,7%)	26,4	1	

3.6 FACTEURS DETERMINANTS DE L'UTILISATION DES MCM EN ANALYSE MULTIVARIABLE.

Dans le modèle final de la régression logistique, les facteurs apparus comme déterminants de l'utilisation des MCM chez les étudiantes étaient, à savoir: « entendre parler des MC des ami (e) s/famille », « la connaissance du préservatif », « avoir utilisé une MC lors des premiers rapports sexuels », « avoir été enceinte dans sa vie », « partager l'information sur les MC avec le partenaire sexuel », et « connaître que les MC étaient procurées dans les pharmacies » (Tableau 7).

Tableau 7. Analyse multivariable entre l'utilisation des MCM et les facteurs associés

Variables	OR Ajusté (IC 95%)	P
Entendre parler des MC par les ami(e)s/famille		
Oui	3,01 (1,61-5,62)	0,001
Non	1	
Connaître Préservatif		
Oui	5,44 (2,46-12,03)	<0,001
Non	1	
Avoir utilisé une MCM lors des 1ers rapports sexuels		
Oui	2,72 (1,53-4,81)	0,001
Non	1	
Avoir été enceinte dans sa vie		
Oui	2,96 (1,52-5,76)	0,001
Non	1	
Partager les informations sur les MC avec le partenaire		
Oui	3,42 (1,68-7,0)	0,001
Non	1	
Connaître qu'on se procure les MC dans les pharmacies		
Oui	2,13 (1,14-4,0)	0,018
Non	1	

Légende: MC = Méthode Contraceptive; MCM = Méthode Contraceptive Moderne

4 DISCUSSION

4.1 PREVALENCE DE L'UTILISATION DES MC CHEZ LES ÉTUDIANTES À L'UNILU

La présente étude a trouvé une prévalence d'utilisation des MC de 40,4 %, cette prévalence contraste avec celle de 16% d'utilisation d'une MC trouvée par Matungulu en 2016 pami les étudiantes de l'institut supérieur de statistique de Lubumbashi [21]. Par ailleurs, cette prévalence est proche de celle de 46,6% trouvée à l'université de Makerere en Ouganda par Nsubuga et al. en 2015 [19], par contre elle est de loin inférieure à celle de 79 % trouvée parmi les étudiantes de l'Université des science et technologie de Mbarara en Ouganda par Mehra et al. en 2012 [9] et de 55,3% à l'Université de Lesotho par Akintade et al. en 2011 [22]. En se focalisant sur les MCM, la prévalence était de 33,7%. Elle est proche de celle de 38,3% trouvée dans l'enquête par grappe à indicateurs multiples (MICS) de 2018 parmi les femmes non en union conjugale dans le milieu urbain en RD Congo [14]. La prévalence contraceptive moderne reste faible en Afrique subsaharienne en général et en RD Congo en particulier pour des raisons liées aux obstacles socio-culturels, à l'insuffisance de connaissance des MCM, la désinformation [23], [24].

Selon notre étude, les variables sociodémographiques ont moins d'influence sur l'utilisation des MCM. Ce sont plutôt les variables des connaissances et des attitudes en rapport avec les MC qui l'influencent et la déterminent chez les étudiantes enquêtées.

4.2 CONNAISSANCES ET UTILISATION DES MC CHEZ LES ÉTUDIANTES DE L'UNILU

Le préservatif a été la MCM la plus connue et citée (78,8%). Ce résultat corrobore ceux de Matungulu trouvé à l'institut supérieur des statistiques de Lubumbashi et de Kara et al. dans les universités de Dodoma en Tanzanie [21], [25]. Le préservatif est la MCM la plus médiatisée dans les chaînes de radio et télévision à travers le monde (et en RDC), vu qu'il protège également contre les IST/VIH [4].

Parmi les variables de connaissance des MC, l'utilisation des MCM était associée notamment à « entendre parler des MC des amis (e)s et la famille », « à la connaissance du préservatif », et à « la connaissance des pharmacies comme lieu d'achat des MC ».

Selon nos résultats, l'enquêtée qui avait entendu parler des MC des amis (e)s et la famille avait 3 fois plus de chance d'utiliser une MCM comparée à celle qui l'avait entendu parler des autres. Bjelica a également constaté dans son étude réalisée à l'Université de NoviSad (Serbie) que la présence d'un frère aîné dans la famille et la discussion avec des amis sur la contraception étaient associées à son utilisation régulière [6]. Les amis sembleraient être privilégiés en matière d'éducation sexuelle des jeunes [26] car l'éducation par les pairs aurait l'avantage d'être moins autoritaire comparée à celle dispensée par les enseignants [27]. Les parents (mamans) et les frères ou sœurs aînés de la famille peuvent servir de modèle de comportement, dans une certaine mesure, pour les plus jeunes [6], [24].

Les étudiantes enquêtées qui connaissaient le préservatif avaient 5 fois plus de chance d'utiliser une MCM que celles qui ne le connaissaient pas dans ce travail. Cette association fut évoquée, quoique sans test statistique, dans l'EDS 2014 de la RDC [11] alors qu'elle a été infirmée dans l'étude de Nsubuga et al. en Ouganda [19]. La connaissance des MCM s'est avérée associée à leur utilisation dans les études de Muanda et al. et d'Endriyas et al. qui ont porté sur les femmes en âge de procréer respectivement en RD Congo et en Ethiopie [23], [28]. Selon le modèle transthéorique de changement de comportement de Prochaska et Diclemente la connaissance est l'un des facteurs conduisant à l'adoption d'un comportement car elle contribue à la conscientisation de l'intéressé sur un comportement à adopter [29]. La connaissance des MCM permet d'avoir les perceptions individuelles sur les menaces et les avantages perçus tels que la perception subjective du risque de tomber enceinte en cours de formation et les risques d'interruption volontaire de grossesse, les conséquences médicales pouvant en découler et de ce fait contribuer à l'utilisation des MCM [30].

4.3 ATTITUDE ET UTILISATION DES MC CHEZ LES ÉTUDIANTES DE L'UNILU

L'utilisation des MCM était associée notamment à 'avoir utilisé une MC lors des premiers rapports sexuels', 'avoir été enceinte dans sa vie', 'avoir partagé l'information sur les MC avec le partenaire sexuel'.

D'après notre étude 32,8% des étudiantes sexuellement actives avaient utilisé une quelconque MC lors de leur première expérience sexuelle.

L'enquêtée qui avait utilisé une MC lors des premiers rapports sexuels était 3 fois plus susceptible d'utiliser une MCM. L'observation similaire était faite par Parkes et al. en Angleterre et en Ecosse au près des adolescentes, qui avaient utilisé des MCM, notamment le préservatif et les contraceptifs oraux, lors des premiers rapports sexuels et étaient susceptibles d'en utiliser dans le futur [31]. Donadiki et al en Grèce et Santos et al. au Portugal, dans leurs études réalisées parmi les étudiantes, ont également rapporté que l'utilisation du préservatif lors des premiers rapports sexuels était le prédicteur de son utilisation future [32], [33]. L'utilisation d'une MCM dès les premiers rapports sexuels hors mariage témoignerait d'une prise de décision responsable en matière de santé sexuelle à l'entrée de cette activité comme recommandé par l'OMS [4].

Nous avons noté que le fait d'avoir été enceinte dans la vie était significativement associé à l'utilisation des MCM. Ce résultat contraste celui de Akinsoji et al. et Peltzer et al., dont l'histoire d'une grossesse antérieure n'était pas associée à l'utilisation de la contraception dans leurs études réalisées auprès des étudiantes des universités d'Afrique, d'Asie, de Caraïbe et d'Amérique Latine [34], [35]. Il se rapproche cependant de celui de MacPhail et al., en Afrique du Sud auprès des jeunes femmes de 15 à 24 ans. Ces auteurs ont aussi trouvé que le fait d'avoir été enceinte était associé à l'utilisation de la contraception [36]. Après une expérience d'une grossesse indésirée antérieure, la peur d'un nouvel épisode de grossesse pourrait pousser certaines femmes à mieux se renseigner sur les mesures de prévention d'une grossesse, les femmes mariées ont rapporté les raisons de s'informer pour un espacement ou une limitation des naissances [19], [36], [37].

Ce travail a aussi montré que le partage des informations sur les MC entre partenaires sexuels était associé significativement à l'utilisation des MCM. Ce résultat est analogue à celui trouvé par Mohammed et al. en Ethiopie bien que portant sur les femmes en âge de procréer dans la communauté [38]. En Afrique du Sud, MacPhail et al. ont également observé, parmi les femmes de 15 à 24 ans, que le fait de parler avec le partenaire sexuel du préservatif était prédicteur de l'utilisation des MC [36]. Selon Matungulu et al, le partenaire sexuel masculin joue le rôle de soutien pour la femme (en union) et ce soutien découlerait du partage des informations et de la discussion des 2 partenaires sur les types et effets secondaires des MCM [39]. La politique nationale de la santé de la reproduction de la RD Congo

propose que les hommes soient informés sur les activités de la santé de la reproduction en vue de leur implication et co-responsabilisation [40].

La présente étude a montré que les étudiantes qui connaissaient que les MCM pouvaient s'être procurées ou achetées dans les pharmacies avaient 2 fois plus de chance de les utiliser comparées à celles qui l'ignoraient. Un constat similaire était observé par Long et al., en Chine, les étudiantes qui connaissaient que les services de santé des collèges rendaient disponibles des contraceptifs et des conseils de contrôle des naissances avaient plus de chance de les utiliser (Long I 2016). L'EDS de la RD Congo 2014 stipule que la connaissance des MCM et du lieu de s'en procurer constituait une étape importante de l'accès et de l'utilisation de la contraception [11]. La connaissance seule des MCM ne suffit pas pour les utiliser; leur disponibilité et l'accès aux services sont un grand facteur non seulement d'utilisation actuelle mais aussi future [41].

4.4 IMPLICATION POUR LA PRATIQUE: VERS L'AMELIORATION DE L'UTILISATION DES MCM

Il est essentiel de considérer le fait que la connaissance des MC et l'utilisation d'une MC dès les premiers rapports sexuels et le partage d'informations entre amis, partenaires sexuels et les membres de famille (parents, aînés, cousines, tantes etc.), soient prédicteurs de l'utilisation des MCM par les étudiantes des facultés étudiées de l'UNILU.

Partant, nous suggérons au ministère de l'enseignement primaire, secondaire et technique via les enseignants de renforcer les cours portant sur les notions de la planification familiale dans toutes les sections à fin d'aider les adolescents à prendre de décision responsable dès leur première expérience sexuelle. Au ministère de l'enseignement supérieur et universitaire, nous proposons d'offrir l'opportunité aux étudiantes d'apprendre d'avantage (sous forme de cours ou de séminaire) les MCM à l'image du VIH/Sida étant donné que l'enseignant reste l'une des grandes sources d'informations des adolescents et jeunes en RD Congo [12], [42].

De même, une diffusion des connaissances sur les MCM (types, présentation, avantages, effets secondaires et leur prise en charge), sans discrimination de genre, s'avère nécessaire via la communication interpersonnelle, communautaire et de masse. La communication améliore les connaissances, elle influe sur les croyances et les fausses idées ainsi elle conduit à une conscientisation et une sensibilisation en faveur des comportements favorables aux MCM dans toutes les couches de la population [29], [43].

L'utilisation des MCM appelle à une implication équitable de deux partenaires (femme et homme), qu'ils soient en union conjugale ou pas, sans distinction de genre ni de poids, dans la prise de décision pour la santé de la reproduction [44], [45]. Le partenaire masculin est censé être informé, autant que la femme, dès l'adolescence sur la santé de la reproduction, y compris l'utilisation des MCM. L'idéal serait de rendre disponibles les informations au début de l'adolescence pour permettre aux étudiantes à prendre des décisions informées et responsables à partir des premiers rapports sexuels.

L'implémentation du service de la planification familiale (PF), notamment au Centre de santé du Campus de l'université de Lubumbashi, peut faciliter l'accès et la disponibilité des MCM. Elle peut ainsi augmenter leur utilisation par les étudiants qui en ont besoin.

4.5 LIMITES DE L'ÉTUDE

Les limites du travail sont celles liées aux études transversales et à la fiabilité des réponses aux questions sensibles portant sur la santé de la reproduction. Nos résultats ne peuvent pas être généralisés au-delà des deux facultés étudiées, par manque de représentativité de l'échantillon, notamment pour toute l'UNILU.

Bien qu'une association entre la connaissance des MCM a été trouvée mais la présente étude n'a pas quantifié le niveau adéquat de connaissance suscitant une pratique contraceptive aussi adéquate.

5 CONCLUSION

Cette étude vient de montrer que la prévalence d'utilisation des MCM est encore faible chez les étudiantes des facultés de Médecine et des Lettres de l'UNILU, à l'instar de celle notée dans la population générale de la RDC. Le préservatif est rapporté comme étant la plus utilisée des MC parmi les étudiantes.

Les déterminants de l'utilisation des MCM concernent surtout les connaissances et les attitudes des étudiantes enquêtées. Les connaissances se rapportent surtout au préservatif, à entendre parler des MC par des ami (e) s/familles et celle des pharmacies comme lieu de vente des MCM. Les attitudes, quant à elles, concernaient surtout le fait d'avoir utilisé une MC lors des premiers rapports sexuels, avoir été enceinte dans sa vie et le partage l'information sur les MC avec le partenaire sexuel.

Pour augmenter l'utilisation des MCM parmi les étudiantes, il s'avère nécessaire de tenir compte des différents facteurs prédictifs ci-haut évoqués.

Bien que la présente étude ait trouvé une association entre la pratique contraceptive moderne et les facteurs de connaissance et d'attitude, une autre étude peut notamment combler la quantification du niveau de connaissances (avantages, sortes des MCM) susceptibles de sensibiliser efficacement sur les menaces et les risques des grossesses non désirées. Des perspectives d'élargissement d'une telle étude aux étudiants d'autres facultés s'avèrent utiles.

CONFLIT D'INTERET

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt concernant la présente étude.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les étudiantes qui ont consenti de répondre à notre questionnaire et les autorités tant des facultés que de l'Université de Lubumbashi (RDC).

REFERENCES

- [1] S. Ahmed, Q. Li, L. Liu, and A. O. Tsui, «Maternal deaths averted by contraceptive use: an analysis of 172 countries,» *Lancet Lond. Engl.*, vol. 380, no. 9837, pp. 111–125, Jul. 2012, doi: 10.1016/S0140-6736 (12) 60478-4.
- [2] J. Cleland, A. Conde-Agudelo, H. Peterson, J. Ross, and A. Tsui, «Contraception and health,» *Lancet Lond. Engl.*, vol. 380, no. 9837, pp. 149–156, Jul. 2012, doi: 10.1016/S0140-6736 (12) 60609-6.
- [3] Guttmacher Institute, «Vue d'ensemble: Investir dans la contraception et la santé maternelle et néonatale, 2017.» Accessed: Aug. 01, 2023. [Online]. Available: <https://www.guttmacher.org/fr/fact-sheet/adding-it-up-contraception-mnh-2017>.
- [4] World Health Organization, «Consolidated Guidelines on HIV Prevention, Diagnosis, Treatment and Care for Key Populations – 2016 Update. in WHO Guidelines Approved by the Guidelines Review Committee. Geneva: World Health Organization, 2016. Accessed: Mar. 22, 2022. [Online]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK379694/>.
- [5] M. N. Sweya, S. E. Msuya, M. J. Mahande, and R. Manongi, «Contraceptive knowledge, sexual behavior, and factors associated with contraceptive use among female undergraduate university students in Kilimanjaro region in Tanzania,» *Adolesc. Health Med. Ther.*, vol. 7, pp. 109–115, 2016, doi: 10.2147/AHMT.S108531.
- [6] A. Bjelica, «Socio-demographic factors influence contraception use among female students of the University of Novi Sad (Serbia),» *Eur. J. Contracept. Reprod. Health Care*, vol. 13, no. 4, pp. 422–430, Jan. 2008, doi: 10.1080/13625180802296747.
- [7] T. G. Hailemariam *et al.*, «Sexual experiences and emergency contraceptive use among female university students: a cross-sectional study at Wachamo University, Ethiopia,» *BMC Res. Notes*, vol. 8, p. 112, Mar. 2015, doi: 10.1186/s13104-015-1070-7.
- [8] M. J. Somba, M. Mbonile, J. Obure, and M. J. Mahande, «Sexual behaviour, contraceptive knowledge and use among female undergraduates' students of Muhimbili and Dar es Salaam Universities, Tanzania: a cross-sectional study,» *BMC Womens Health*, vol. 14, p. 94, Aug. 2014, doi: 10.1186/1472-6874-14-94.
- [9] D. Mehra, A. Agardh, K. O. Petterson, and P.-O. Östergren, «Non-use of contraception: determinants among Ugandan university students,» *Glob. Health Action*, vol. 5, no. 1, p. 18599, Oct. 2012.
- [10] B. Wasie, Y. Belyhun, B. Moges, and B. Amare, «Effect of emergency oral contraceptive use on condom utilization and sexual risk taking behaviours among university students, Northwest Ethiopia: a cross-sectional study,» *BMC Res. Notes*, vol. 5, no. 1, p. 501, 2012, doi: 10.1186/1756-0500-5-501.
- [11] Ministère du Plan et Suivi de la Mise en œuvre de la Révolution de la Modernité (MPSMRM), Ministère de la Santé Publique (MSP), and ICF International, «Enquête Démographique et de Santé en République Démocratique du Congo 2013-2014,» MPSMRM, MSP et ICF International., Rockville, Maryland, USA, Rapport d'enquête, 2014. [Online]. Available: <https://www.unicef.org/drcongo/media/1046/file/EDS-RDC%20II%202013-2014.pdf>
- [12] W. Bongo-Pasi Moke Sangol, Promotion de la santé reproductive et prévention du VIH/SIDA et des IST à l'université de Kinshasa: connaissances, aptitudes et pratiques. Louvain-La-Neuve: Academia L'Harmattan, 2018.
- [13] World Bank, «Contraceptive prevalence, any method (% of married women ages 15-49).» Accessed: Jan. 12, 2022. [Online]. Available: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.DYN.CONM.ZS?locations=TZ>.
- [14] INS, «Enquête par grappes à indicateurs multiples, 2017-2018, rapport de résultats de l'enquête, RDC,» Kinshasa, République Démocratique du Congo., Rapport de résultats de l'enquête., 2019.
- [15] S. Chae, P. K. Kayembe, J. Philbin, C. Mabika, and A. Bankole, «The incidence of induced abortion in Kinshasa, Democratic Republic of Congo, 2016,» *PloS One*, vol. 12, no. 10, p. e0184389, 2017, doi: 10.1371/journal.pone.0184389.
- [16] G. Sedgh *et al.*, «Abortion incidence between 1990 and 2014: global, regional, and subregional levels and trends,» *The Lancet*, vol. 388, no. 10041, pp. 258–267, Jul. 2016, doi: 10.1016/S0140-6736 (16) 30380-4.
- [17] Mairie de Lubumbashi, «Portrait de la Ville de Lubumbashi,» Site Officiel de la Ville de Lubumbashi. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://villedelubumbashi.gouv.cd/>

- [18] UNILU, «Université de Lubumbashi», UNILU. Accessed: Oct. 07, 2023. [Online]. Available: https://www.unilu.ac.cd/?page_id=4247.
- [19] H. Nsubuga, J. N. Sekandi, H. Sempeera, and F. E. Makumbi, «Contraceptive use, knowledge, attitude, perceptions and sexual behavior among female University students in Uganda: a cross-sectional survey», *BMC Womens Health*, vol. 16, no. 1, pp. 1–11, Dec. 2015, doi: 10.1186/s12905-016-0286-6.
- [20] Dean Andrew G and Kevin M Sullivan, «Open Source Epidemiologic Statistics for Public Health.» Internet, 2015. Accessed: Jul. 10, 2015. [Online]. Available: www.OpenEpi.com
- [21] Matungulu Matungulu Charles, «Prévention des grossesses non désirées par les étudiantes dans la ville de Lubumbashi», Thèse de doctorat en santé publique, Université de Lubumbashi, Lubumbashi, 2021.
- [22] Akintade L, Oluwasanmi, Pengpid, Supa, and Peltzer, Karl, «Awareness and use of and barriers to family planning services among female university students in Lesotho», *South Afr. J. Obstet. Gynaecol.*, vol. 17, no. 3, Sep. 2011.
- [23] M. F. Muanda, G. P. Ndongo, L. J. Messina, and J. T. Bertrand, «Barriers to modern contraceptive use in rural areas in DRC», *Cult. Health Sex.*, vol. 19, no. 9, pp. 1011–1023, Sep. 2017, doi: 10.1080/13691058.2017.1286690.
- [24] G. Nalwadda, F. Mirembe, N. M. Tumwesigye, J. Byamugisha, and E. Fixelid, «Constraints and prospects for contraceptive service provision to young people in Uganda: providers' perspectives», *BMC Health Serv. Res.*, vol. 11, p. 220, Sep. 2011, doi: 10.1186/1472-6963-11-220.
- [25] W. S. K. Kara, M. Benedicto, and J. Mao, «Knowledge, Attitude, and Practice of Contraception Methods Among Female Undergraduates in Dodoma, Tanzania», *Cureus*, vol. 11, no. 4, p. e4362, Apr. 2019, doi: 10.7759/cureus.4362.
- [26] F. Verdure, A. Rouquette, M. Delori, F. Aspee, and S. Fanello, «Connaissances, besoins et attentes des adolescents en éducation sexuelle et affective. Étude réalisée auprès d'adolescents de classes de troisième», *Arch. Pédiatrie*, vol. 17, no. 3, pp. 219–225, Mar. 2010, doi: 10.1016/j.arcped.2009.10.009.
- [27] A. Graham, L. Moore, D. Sharp, and I. Diamond, «Improving teenagers' knowledge of emergency contraception: cluster randomised controlled trial of a teacher led intervention», *BMJ*, vol. 324, no. 7347, p. 1179, May 2002.
- [28] M. Endriyas, A. Eshete, E. Mekonnen, T. Misganaw, M. Shiferaw, and S. Ayele, «Contraceptive utilization and associated factors among women of reproductive age group in Southern Nations Nationalities and Peoples' Region, Ethiopia: cross-sectional survey, mixed-methods», *Contracept. Reprod. Med.*, vol. 2, p. 10, 2017, doi: 10.1186/s40834-016-0036-z.
- [29] J. O. Prochaska and C. C. DiClemente, «Transtheoretical therapy: Toward a more integrative model of change», *Psychother. Theory Res. Pract.*, vol. 19, no. 3, pp. 276–288, 1982, doi: 10.1037/h0088437.
- [30] N. C. van Wyk and P. M. Basson, «Adaptation of the Health Belief Model for the prevention of HIV infection», *Curationis*, vol. 17, no. 3, pp. 44–50, Aug. 1994.
- [31] A. Parkes, D. Wight, M. Henderson, J. Stephenson, and V. Strange, «Contraceptive Method at First Sexual Intercourse and Subsequent Pregnancy Risk: Findings from a Secondary Analysis of 16-Year-Old Girls from the RIPPLE and SHARE Studies», *J. Adolesc. Health*, vol. 44, no. 1, pp. 55–63, Jan. 2009, doi: 10.1016/j.jadohealth.2008.06.006.
- [32] E. M. Donadiki et al., «Factors related to contraceptive methods among female higher education students in Greece», *J. Pediatr. Adolesc. Gynecol.*, vol. 26, no. 6, pp. 334–339, Dec. 2013, doi: 10.1016/j.jpaga.2013.06.011.
- [33] M. J. de O. Santos, E. M. S. Ferreira, and M. M. da C. Ferreira, «Contraceptive behavior of Portuguese higher education students», *Rev. Bras. Enferm.*, vol. 71, no. suppl 4, pp. 1706–1713, 2018, doi: 10.1590/0034-7167-2017-0623.
- [34] A. A. Akinsoji, A.-A. O. Olufunmilola, A. A. Idowu, and A.-O. I. Pius, «Sexual and Contraceptive Practices among Female Undergraduates in a Nigerian Tertiary Institution», *Ethiop. J. Health Sci.*, vol. 25, no. 3, pp. 209–216, Jul. 2015.
- [35] K. Peltzer and S. Pengpid, «Contraceptive non-use and associated factors among university students in 22 countries», *Afr. Health Sci.*, vol. 15, no. 4, p. 1056, Jan. 2016, doi: 10.4314/ahs.v15i4.2.
- [36] C. MacPhail, A. E. Pettifor, S. Pascoe, and H. V. Rees, «Contraception use and pregnancy among 15–24 year old South African women: a nationally representative cross-sectional survey», *BMC Med.*, vol. 5, no. 1, Dec. 2007, doi: 10.1186/1741-7015-5-31.
- [37] M. Endriyas, A. Eshete, E. Mekonnen, T. Misganaw, M. Shiferaw, and S. Ayele, «Contraceptive utilization and associated factors among women of reproductive age group in Southern Nations Nationalities and Peoples' Region, Ethiopia: cross-sectional survey, mixed-methods», *Contracept. Reprod. Med.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–9, Dec. 2017, doi: 10.1186/s40834-016-0036-z.
- [38] A. Mohammed, D. Woldeyohannes, A. Feleke, and B. Megabiaw, «Determinants of modern contraceptive utilization among married women of reproductive age group in North Shoa Zone, Amhara Region, Ethiopia», *Reprod. Health*, vol. 11, no. 1, p. 13, Dec. 2014, doi: 10.1186/1742-4755-11-13.
- [39] C. M. Matungulu et al., «Déterminants de l'utilisation des méthodes contraceptives dans la zone de santé Mumbunda à Lubumbashi, République Démocratique du Congo», *Pan Afr. Med. J.*, vol. 22, 2015, doi: 10.11604/pamj.2015.22.329.6262.
- [40] Ministère de la santé publique, «Politique nationale de santé de la reproduction de la République Démocratique du Congo.» Accessed: Jan. 25, 2018. [Online]. Available: http://familyplanning-drc.net/docs/5_PolitiqueNationaleDeSanteDeLaReproduction_Juillet_2008.pdf
- [41] L. Long, Z. Chen, Y. Shi, S. Wei, S. Nie, and Y. Liu, «Association between college health services and contraceptive use among female students at five colleges in Wuhan, China: a cross-sectional study», *BMC Public Health*, vol. 16, p. 929, 05 2016, doi: 10.1186/s12889-016-3612-x.

- [42] D. M. Mukendi, F. C. Mukalenge, M. M. Ali, T. M. N. Mondo, and G. W. Utshudienyema, «Connaissances, attitudes et pratiques des adolescents et des enseignants en matière de contraception: résultats d'une étude qualitative réalisée en République Démocratique du Congo,» *Pan Afr. Med. J.*, vol. 38, p. 121, 2021, doi: 10.11604/pamj.2021.38.121.21678.
- [43] S. Krenn, L. Cobb, S. Babalola, M. Odeku, and B. Kusemiju, «Using behavior change communication to lead a comprehensive family planning program: the Nigerian Urban Reproductive Health Initiative,» *Glob. Health Sci. Pract.*, vol. 2, no. 4, pp. 427–443, Dec. 2014, doi: 10.9745/GHSP-D-14-00009.
- [44] D. O. Sarnak *et al.*, «The role of partner influence in contraceptive adoption, discontinuation, and switching in a nationally representative cohort of Ugandan women,» *PloS One*, vol. 16, no. 1, p. e0238662, 2021, doi: 10.1371/journal.pone.0238662.
- [45] N. Prata *et al.*, «Women's empowerment and family planning : A review of the literature.,» *J. Biosoc. Sci.*, vol. 49, no. 6, pp. 713–743, Nov. 2017, doi: 10.1017/S0021932016000663.

Etude de la productivité des systèmes de culture du maïs et l'approche SIG dans le département de Dikodougou en Côte d'Ivoire

[Study of the productivity of maize cultivation systems and the GIS approach in the department of Dikodougou in Côte d'Ivoire]

Ouattara Bakary¹, Touré Adama², Assi Kopeh Jean-Louis³, and Assi-Kaudjhis Joseph Pierre⁴

¹Institut de Gestion Agropastorale, Université Peleforo Gon Coulibaly, Korhogo, Côte d'Ivoire

²Département de Géographie, Université Peleforo Gon Coulibaly, Korhogo, Côte d'Ivoire

³Département de Géographie, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa, Côte d'Ivoire

⁴Département de Géographie, Université Alassane OUATTARA, Bouaké, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: Corn is an important food crop in northern Côte d'Ivoire. However, producers are often exposed to difficulties in accessing inputs which threaten the stability of production. This contrast led us to initiate «Study of the productivity of maize cultivation systems and the GIS approach in the department of Dikodougou in Côte d'Ivoire». The general objective of this work is to analyze the productivity of maize cultivation systems in the Dikodougou department with a view to improving its production. The study used primary data through a questionnaire addressed to 240 corn producers spread across two (2) sub-prefectures and secondary data relating to the different criteria used. It appears from this study that two maize cultivation systems are encountered in the Dikodougou department. These are semi-intensive systems (72.5%) practiced by the majority of producers and intensive systems which concern 27.5% of producers. More productive, intensive cultivation systems which make it possible to obtain better yields are found more in the sub-prefectures of Boron (45.5%) where almost half of the producers practice them. According to the GIS approach, it is also in the locality of Boron (78.64%) that the areas with optimal potential are dominant. However, average corn yields remain low in the Dikodougou department (1250 kg/ha) compared to national average yields which are around 2000 kg/ha. If the good cultivation potential of the department represents an asset, the adoption of a productive cultivation system is also decisive.

KEYWORDS: maize, cropping systems, productivity, Dikodougou Department, Ivory Coast.

RESUME: Le maïs est une culture vivrière importante du Nord de la Côte d'Ivoire. Cependant, les producteurs sont souvent exposés aux difficultés d'accès aux intrants qui menacent la stabilité des productions. Ce contraste, nous a amené à initier à « Etude de la productivité des systèmes de culture du maïs et l'approche SIG dans le département de Dikodougou en Côte d'Ivoire ». L'objectif général de ce travail est d'analyser la productivité des systèmes de culture du maïs dans le département de Dikodougou en vue d'améliorer sa production. L'étude a mobilisé des données primaires à travers un questionnaire adressé à 240 producteurs de maïs répartis dans deux (2) sous-préfectures et des données secondaires relatives aux différents critères retenus. Il ressort de cette étude que deux systèmes de culture du maïs sont rencontrés dans le département de Dikodougou. Il s'agit des systèmes semi-intensifs (72,5%) pratiqués par la majorité des producteurs et les systèmes intensifs qui concernent 27,5% des producteurs. Plus productifs, les systèmes de culture intensifs qui permettent d'obtenir de meilleurs rendements se rencontrent plus dans les sous-préfectures de Boron (45,5%) où presque la moitié des producteurs les pratiquent. Selon l'approche SIG, c'est également dans la localité de Boron (78,64%) que les zones à potentialité optimales sont dominantes.

Toutefois, les rendements moyens du maïs restent faibles dans le département de Dikodougou (1250 kg/ha) comparativement aux rendements moyens nationaux qui avoisinent 2000 kg/ha. Si les bonnes potentialités de culture du département représentent un atout, l'adoption d'un système de culture productif est aussi déterminante.

MOTS-CLEFS: maïs, systèmes de culture, productivité, département de Dikodougou, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

En Côte d'Ivoire, le maïs occupe la seconde place les productions céréalières locales, derrière le riz (H. Ducroquet et al, 2017, p 95). Sa production en Côte d'Ivoire est passée de 280 000 tonnes en 1971 à 1,18 million de tonnes en 2020 (IFC, 2023, p 3). Il occupe une place de choix, aussi bien dans les activités agricoles, dans l'alimentation des populations ivoiriennes que dans l'alimentation animale. Bien qu'implantée sur la totalité du territoire de Côte d'Ivoire, les bassins de productions plus importants se situent généralement au Nord du pays (RONGEAD, 2014, p 18). La disponibilité est généralement bonne sur les marchés de Korhogo et de Ouangolo (OCPV, 2021, p.9).

Cependant, dans cette partie du pays, la culture du maïs est caractérisée par de petites surfaces cultivées. L'accès aux intrants reste une contrainte majeure et peu d'agriculteurs appliquent bonnes pratiques agricoles en raison de contraintes de liquidités et/ou d'un manque de connaissances (IFC, 2023, p 6). Par ailleurs, comparée à la situation des pays voisins, la filière maïs ivoirienne semble connaître une croissance relativement lente. Sa disponibilité tend à stagner voire à légèrement diminuer quand dans les pays voisins elle est en nette augmentation (RONGEAD, 2014, p 18). En 2020-2021, une forte insuffisance de l'offre du maïs s'est matérialisée sur le territoire national; la flambée des coûts des denrées à base de maïs, des spéculations non contrôlées se sont observées. Dans ce même contexte, le nord du pays enregistre des chiffres importants d'importations venant des pays voisins notamment, le Burkina Faso (PAM, 2021, p 2). Cette situation suscite une interrogation. Quelle est la productivité des systèmes de culture du maïs dans le département de Dikodougou ? C'est pour répondre à cette question, que nous avons amené l'« Etude de la productivité des systèmes de culture du maïs et l'approche SIG dans le département de Dikodougou en Côte d'Ivoire ». L'objectif général de ce travail est de d'étudier la productivité des systèmes de culture du maïs dans la sous-préfecture de Guiembé et Boron. De façon spécifique il s'agira de caractériser les systèmes de cultures du maïs dans la sous-préfecture de Guiembé et Boron; évaluer les potentialités de production du maïs dans la sous-préfecture de Guiembé et Boron; et vérifier l'influence des potentialités en maïsiculture de la zone d'étude sur les rendements obtenus par les agriculteurs.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

Cette étude analyse la productivité de la culture du maïs en intégrant les systèmes de culture et les Systèmes d'Informations Géographiques. Elle a mobilisé des données primaires à l'aide d'un questionnaire adressé aux producteurs de maïs. Elle s'appuie également sur des données secondaires relatives aux différents critères d'analyse retenus. L'analyse repose sur des données quantitatives (précipitations, rendement et quantité d'engrais) et des données qualitatives (type de semence, date de semis, mode de culture, respect des normes d'application des intrants).

2.1 CHOIX DES LOCALITES ET DES MAÏSICULTEURS

Deux (2) sous-préfectures sur 3 ont été choisies dans le département de Dikodougou, sur la base de la densité des activités liées au maïs et de la représentativité. Ses localités sont Boron et Guiembé.

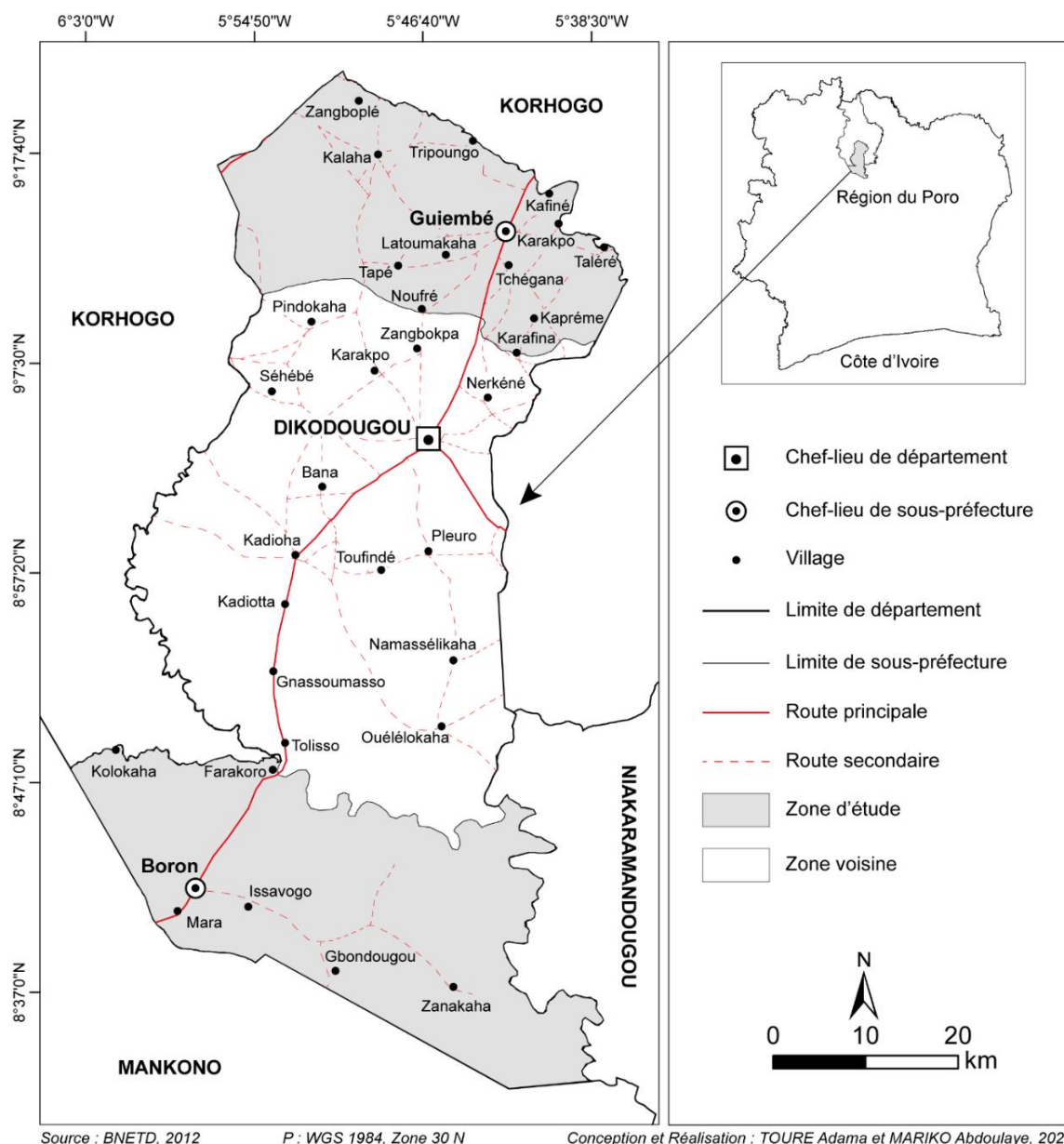
La population mère des producteurs de maïs dans ses deux (2) sous-préfectures est de 1271. L'échantillonnage a été fait selon une méthode probabiliste. La formule de Fisher a permis de calculer la taille de l'échantillon:

$$n = \frac{(tp)^2 * p(1 - p)N}{(tp)^2 * p(1 - p) + (N - 1) * y^2}$$
$$n = \frac{(1,96)^2 * 0,5(1 - 0,5) * 1271}{(1,96)^2 * 0,5(1 - 0,5) + (1270 - 1) * (0,05)^2}$$

- n: Taille de l'échantillon
- N: Taille de la population mère
- tp: Intervalle de confiance d'échantillonnage est de 95%, soit t= 1,96

- γ : Marge d'erreur est de 5%, soit $\gamma = 0,05$
- p : Proportion réelle 50%, soit 0,5.

La taille de l'échantillon calculée est de 240 producteurs. Ainsi, 130 producteurs ont été étudiés à Guiembé et 110 à Boron, proportionnellement au nombre de producteurs par sous-préfecture.



Carte n°1: Situation géographique du département de Dikodougou

2.2 CLASSIFICATION DES SYSTEMES DE CULTURE DU MAÏS

Dans cette étude, les opérations retenues pour les systèmes de culture sont le type de semence choisi, le semis (la date de semis), l'épandage d'engrais (le type d'engrais utilisé, le respect de la dose d'engrais appliquée), l'application des herbicides et d'insecticide (le respect des doses appliquées). Les systèmes de culture retenus dans la zone d'étude sont: les systèmes de culture semi-intensifs (utilisation de semences non améliorées, non-respect des dates de semis, non-respect des doses d'engrais et d'herbicides) et les systèmes intensifs (utilisation de semences améliorées, respect des dates de semis, respect des doses d'engrais et d'herbicide).

2.3 DETERMINATION DES RENDEMENTS MOYENS DU MAÏS

Une enquête a été menée à travers un entretien réalisé auprès des producteurs individuels. Il s'est fait avec le chef d'exploitation et a consisté à collecter des informations concernant la production annuelle de la campagne agricole 2021-2022 et la superficie (ha). Le rendement du maïs a été obtenu en faisant le rapport de la production annuelle sur la superficie: $\text{Rendement} = \text{production annuelle (kg)} / \text{superficie (ha)}$.

Les données des rendements ont été collectées, à l'aide de l'application kobocollect et traitées avec le logiciel Excel. L'analyse des données a été faite à partir du logiciel STATA 14, à travers l'analyse de la variance (ANOVA). En particulier, le test FSD Fisher a permis de comparer les rendements moyens.

2.4 APPROCHE SIG

Dans l'optique de montrer les zones potentielles pour la culture du maïs, la présente étude utilise les SIG et l'analyse multicritère (AMC). Cette approche pluridisciplinaire qui est une aide à la décision a permis d'identifier les potentialités des superficies exploitables par la culture du maïs et d'en déduire les perspectives de production. La méthodologie appliquée s'inspire des travaux de J. P. Assi-Kaudjhis (2013, p. 173-187), A. B. Konan-Waidhet et al (2013, p. 11-12) et A. Touré (2018, p. 350-366 et 2022, p. 4-14). Quatre catégories de critères ont été choisies.

2.4.1 CRITÈRES D'ANALYSE

Les quatre catégories de critères d'analyse retenues sont les exigences climatiques du maïs, la nature des sols, l'environnement démographique et le mode de culture (Tableau I). Au niveau des exigences climatiques, deux critères ont été retenus: la précipitation et la température. La température et la précipitation agissent sur la croissance de la plante. La disponibilité de l'eau de pluie pour assurer la croissance végétative du maïs est l'un des paramètres les plus importants pour ladite culture. Au niveau de la nature des sols, trois critères ont été également retenus: le pH, le type de sol et la pente. Le maïs supporte des pH de 4 à 8. Le pH optimum est de 6 à 7. Les sols faiblement désaturés conviennent généralement. Le maïs nécessite un sol riche et meuble, avec une bonne capacité de rétention d'eau. Au niveau de l'environnement démographique, les critères la densité de population et la main d'œuvre ont été retenus. Pour le mode de culture, la culture attelée est une forme de mécanisation a été choisie.

Tableau 1. Critères d'analyse retenus pour l'évaluation du potentiel de la culture du maïs

Catégorie	Critères retenus	Sources
Exigences écologiques	Précipitation	Climate Research Unit
	Température	Climate Research Unit
Nature des sols	PH	FAO-UNESCO PH Map of the World
	Pente	Projet SRTM
	Type de sol	FAO-UNESCO PH Map of the World
Environnement Démographique	Main d'œuvre	Littérature des travaux préalable et terrain
	Densité de population	RGPH
Mode de culture	Culture attelée	Littérature des travaux préalable et terrain

Tableau 2. *Seuil des différents critères retenus pour l'évaluation du potentiel de la culture du maïs*

Critères	Optimale	Convenable	Moyen	Difficile
Précipitations Mensuelles	> 800 mm	700-800 mm	600- 700 mm	< 600mm
Type de sol	Sols ferralitiques faiblement désaturés	Sols ferralitiques faiblement et moyennement désaturés	-	Sols ferralitiques fortement désaturés, Sol hydromorphes
Pente	-	0% à 8%	-	0% à 8%
Température	>10°C	-	30°C	>10°C
Ph	[5,8 ; 7,5]	-	-	Trop acide ou trop basique
OCS	Zones de cultures pluviales	Végétation	Zone de bas-fond	Plan d'eau, Anacarde et verger ; zones d'habitats
Culture attelée	>75	75-50	< 50	-
Densité de population	Inférieure à 25	25-50	50-130	130-500
Main d'œuvre	Offre > Demande	Offre = Demande	Offre < Demande	-

2.4.2 ACQUISITION DES DONNEES RELATIVES AUX CRITERES

Ce SIG est réalisé à partir de données spatiales qui proviennent de diverses sources. Bon nombre d'entre elles sont accessibles au public sur les adresses internet appropriées, sous format numérique auprès de la FAO et le CRU (Climatic Research Unit). Pour chacune des variables, des qualificatifs correspondant à des seuils, qui déterminent des conditions optimales, convenables, moyennes et difficiles ont été déterminées selon les travaux de A. Touré (2018, p. 350-366 et 2022, p. 4-14) et CIRAD (2002, p. 777-830).

Les données relatives aux exigences climatiques du maïs en l'occurrence la pluviométrie et la température proviennent du CRU (Climatic Research Unit). C'est un organisme international qui produit des données géographiques à l'échelle mondiale. Cette base de données mondiale contient des données climatiques couvrant la période 1901-2014. Présentée à l'échelle des pays sous forme de Carte, elle offre deux possibilités de mailles carrées dont une de 10 km de côté et l'autre de 5 km de côté. Dans notre étude, c'est la base de données pour la maille de 5 Km de côté qui a été fournie. L'obtention des données géographiques à l'échelle du département de Dikodougou a nécessité une superposition de la couche vectorielle de la limite administrative du département sur les couches rasters de la température et de la précipitation. Cette étape a été suivie de la numérisation pour cadrer les données climatiques. Les résultats obtenus ont été exploités en tenant compte des exigences climatiques de la plante afin de déterminer le potentiel de la culture du maïs en température et en précipitation. Pour que son développement soit convenable et assurer des productions rentables, les moyennes pluviométriques annuelles doivent être comprise entre 700 mm et 800 mm. Par ailleurs, il faut une bonne répartition des pluies durant le cycle. La densité de la population par sous-préfecture a été évaluée à partir des données du Recensement Général de la Population et de l'Habitat de 2021 (INS, 2021, p. 16).

Concernant la disponibilité de la main d'œuvre, le mode culture et la compréhension de l'itinéraire technique de la culture du maïs appliquée par les cultivateurs et l'ordre d'importance des critères, les données recueillies sur le terrain ont été renforcées par les travaux préalables dans la littérature.

2.4.3 MISE EN ŒUVRE DE L'ANALYSE MULTICRITERE

L'analyse multicritère que nous avons effectuée a été inventée par le mathématicien T. L. A. Saaty (1977, p. 234-281). Il s'agit d'une analyse hiérarchique des procédés (AHP) intégrant plusieurs critères et qui aide à la décision dans l'analyse des données SIG. Elle procède par comparaisons binaires de chaque niveau de la hiérarchie par rapport aux éléments du niveau supérieur. Tous les critères sont comparés deux à deux par rapport à l'objectif global de l'étude qui génère la vectrice priorité de ces critères.

2.4.4 STANDARDISATION DES FACTEURS

La détermination de l'importance relative de chaque critère est définie par Prakash (2003) comme la normalisation des critères. Plusieurs facteurs (qualitatif et quantitatif) ont été intégrés et comparés sur une échelle commune. Pour ce faire, la combinaison Linéaire Pondérée (CLP) a été sollicitée. Les facteurs ont été standardisés sur une échelle continue d'aptitude allant de 1 (le moins apte) à 9 (le plus apte).

2.4.5 PONDÉRATION DES FACTEURS

Avant la combinaison des différents critères, la pondération de ceux-ci a été faite à l'aide de la méthode développée par T. L. A. Saaty (1977, p. 234-281). Il s'agit de la méthode des comparaisons par paire (Processus d'Analyse Hiérarchique) qui permet de produire des coefficients de pondération standardisés dont la somme est égale à « 1 ». Le poids des facteurs indique leur importance relative par rapport à tous les autres. Les poids des facteurs sont déterminés à partir d'une série de comparaison par paire de ces critères en tenant compte de l'importance relative de deux critères à l'aptitude à la maïs culture. Leur importance est déterminée sur une échelle numérique de 9 niveaux, et arrangée dans une matrice de décision ou matrice ou matrice de comparaison par paire.

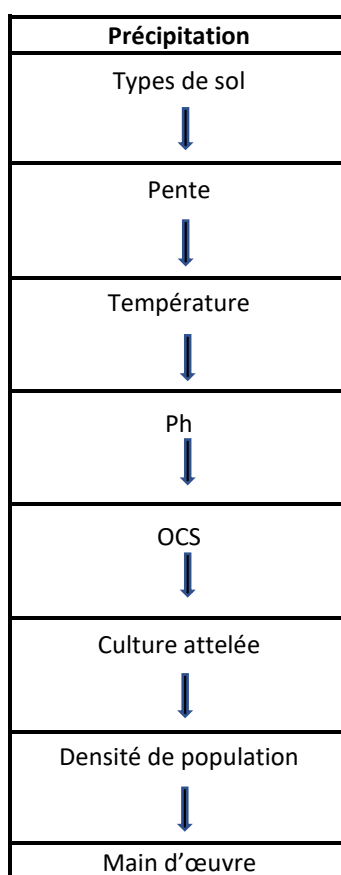
2.4.6 CRITÈRES PAR ORDRE D'IMPORTANCE

Selon les résultats de notre étude, les différents critères de la culture du maïs retenus par ordre d'importance décroissant se présentent comme suit: précipitation, type de sol, pente, température, pH, OCS, culture attelée, densité de population, main-d'œuvre (Tableau 3).

Tableau 3. Echelle de SAATY pour la pondération des facteurs par paire

Expression d'un critère par rapport à un autre	Echelle numérique
Même importance que	1
Modérément plus important que	3
Fortement plus important que	5
Très important que	7
Extrêmement plus important que	9
Modérément moins important que	1/3
Fortement moins important que	1/5
Très moins important que	1/7
Extrêmement moins important que	1/9

B. Ouattara 2023 (inspiré de T. L. A. Saaty, 1977, p. 234-281)

Tableau 4. Critères retenus pour la culture du maïs par ordre d'importance décroissant

2.4.7 AGREGATION DES CRITERES RETENUS POUR LA CULTURE DU MAÏS

Après l'évaluation des facteurs de décision, une combinaison linéaire pondérée a été effectuée après avoir assigné à chaque facteur de décision un coefficient de pondération. La somme des valeurs des colonnes est toujours égale à 1, la somme des poids est égale à 1, celle des scores est égale à 8 et correspond au nombre de critères retenus. La comparaison par paires des critères appliqués pour notre cas d'étude ainsi que les calculs relatifs aux différents paramètres ont donné les résultats suivants: $\lambda_{\max} = 9$, indice de cohérence $IC = 0$, ratio de cohérence $RC = 0 < 0,1$. Le ratio de cohérence étant inférieur à 0,1 ce qui nous permet d'affirmer que les jugements d'appréciation des critères ont été cohérents.

3 RÉSULTATS

3.1 CLASSIFICATION DES SYSTEMES DE CULTURE DU MAÏS

Les résultats de l'étude montrent que deux (2) types de systèmes de culture sont observés dans cette zone, comme l'atteste le Tableau 5.

Tableau 5. Répartition des producteurs en proportion selon les systèmes de culture et les localités

Localités	Système semi intensif (%)	Systèmes intensif (%)
Boron	54,5	45,5
Guiembé	87,5	12,5
Moyenne	72,5	27,5

Selon le Tableau 5, les deux types de systèmes de culture observés dans le département de Korhogo, à savoir les systèmes semi-intensifs et les systèmes intensifs. A l'échelle du département, les systèmes de culture semi-intensifs concernent 72,5% des producteurs. Dans ces systèmes, les semences utilisées proviennent de la production des paysans. Les producteurs utilisent

des engrais minéraux (NPK, UREE), des herbicides minéraux et des insecticides, sans respecter les différentes doses d'utilisation recommandées par les experts des structures d'encadrement. Quant aux systèmes intensifs (37,50%), ils regroupent les producteurs de maïs qui respectent les dates de semis (Juin à juillet), tout en utilisant des engrais minéraux (NPK, UREE), des herbicides, et insecticides minéraux aux doses recommandées par les structures d'encadrement.

A l'échelle des sous-préfectures, bien que les systèmes de culture semi-intensifs soient dominants sur les deux territoires étudiés, une différence est observée dans la répartition des statistiques. En effet, les systèmes de culture semi-intensifs sont nettement plus pratiqués dans la sous-préfecture de Guiembé (87,5%). Dans la sous-préfecture de Boron la pratique de la culture semi-intensive est plus modérée (54,5%), au profit de la culture intensive (45,5%). En se fondant sur le Tableau 6, on constate que l'adoption de la culture intensive dans la localité de Boron est liée à une plus grande importance de la culture du maïs dans cette localité.

Tableau 6. Répartition des producteurs selon la culture principale de l'exploitation

Localités	Proportion des producteurs par culture (%)					
	Maïs	Riz	Coton	Soja	Arachide	Anacarde
Boron	33	12	47	2	0	6
Guiembé	18	42	36	0	2	2
Moyenne	25,63	28,25	39,54	0,92	1,83	3,83

Selon le tableau 6, le maïs constitue la culture principale de 33% des producteurs de Boron. Il y vient en deuxième position, après le coton. A la Guiembé, l'importance de la culture du maïs est modeste. En effet, dans cette localité, il vient au troisième rang derrière le riz (42%) et le coton (36%) des cultures principales. Sur cette base, on peut déduire que sa culture est plus importante à Boron qu'à Guiembé, comme en témoignent les superficies moyennes dans les deux localités qui sont respectivement de 4,7 ha et de 2,5 ha.

3.2 REPARTITION DES RENDEMENTS MOYENS DU MAÏS SELON LES SYSTEMES DE CULTURE ET LES LOCALITES

Les rendements ont été répartis selon les localités et les systèmes de culture. Ils sont différemment répartis, comme le montre le Tableau 7.

Tableau 7. Répartition des rendements moyens du maïs selon les systèmes de cultures et les localités

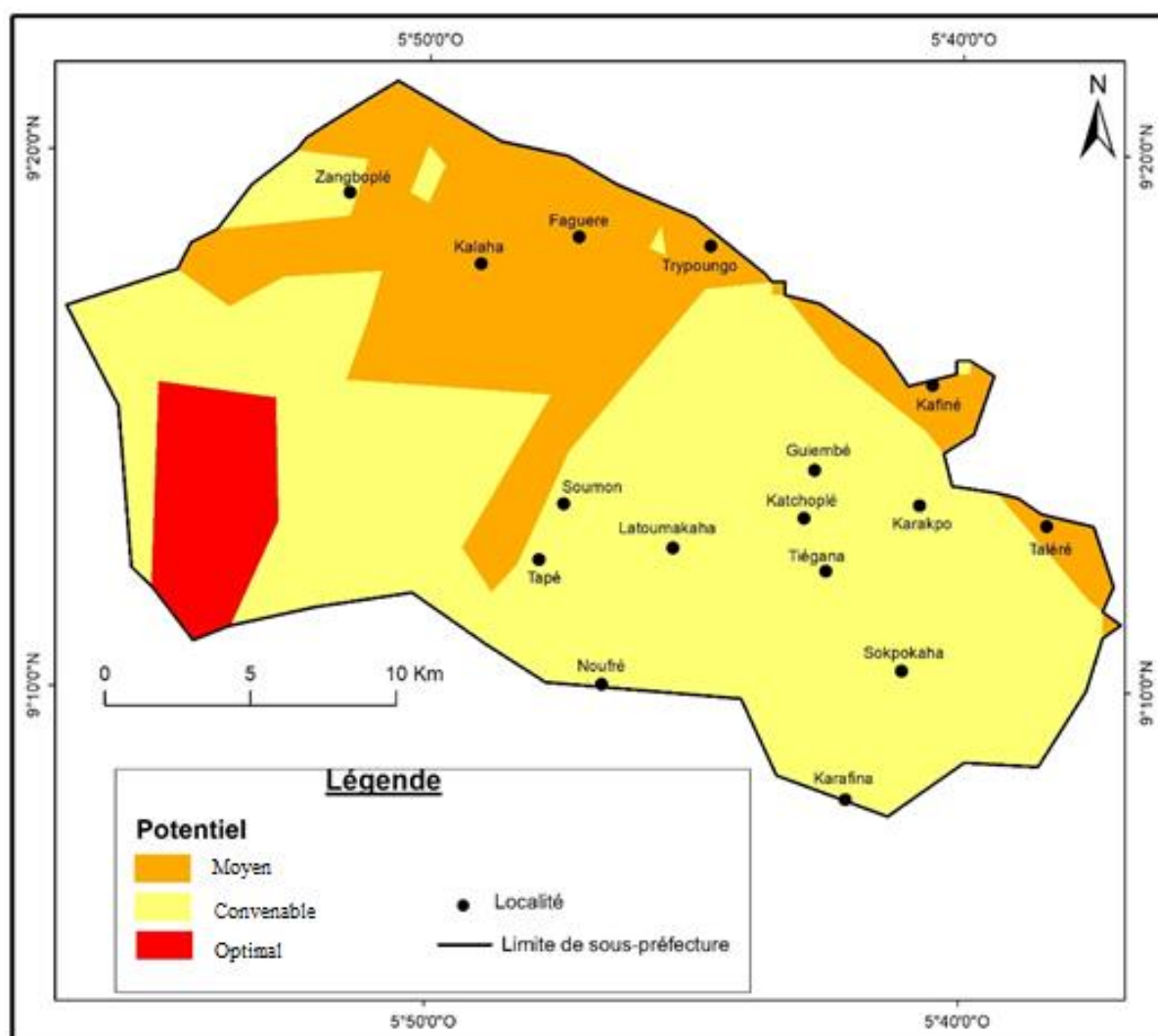
Localités	Systèmes semi-intensifs (kg/ha)	Systèmes intensifs (kg/ha)	Moyenne (kg/ha)
Boron	1440	1870	1650
Guiembé	810	1190	850
Moyenne	1024	1504	1216

De l'analyse du Tableau 7, il ressort qu'au niveau départementale, les rendements moyens diffèrent selon les systèmes de culture. En effet, l'analyse de variance montre, à P-Value (0,030) < 0,050, qu'il existe une différence significative entre les rendements de maïs par systèmes de culture. Les systèmes intensifs (1504 kg/ha) sont plus productifs, en obtenant un rendement moyen plus élevé par rapport aux systèmes semi-intensifs dont le rendement moyen est 1024 kg/ha.

A l'échelle des sous-préfectures, il y a également une disparité. Les rendements sont plus élevés dans la sous-préfecture de Boron (1650 kg/ha), avec une différence entre la culture intensive (1870 kg/ha) et la culture semi-intensive (1440 kg/ha). Au niveau de la sous-préfecture de Guiembé où les rendements sont modestes, les systèmes intensifs sont plus productifs (1190 kg/ha) que les systèmes semi-intensifs (810 kg/ha).

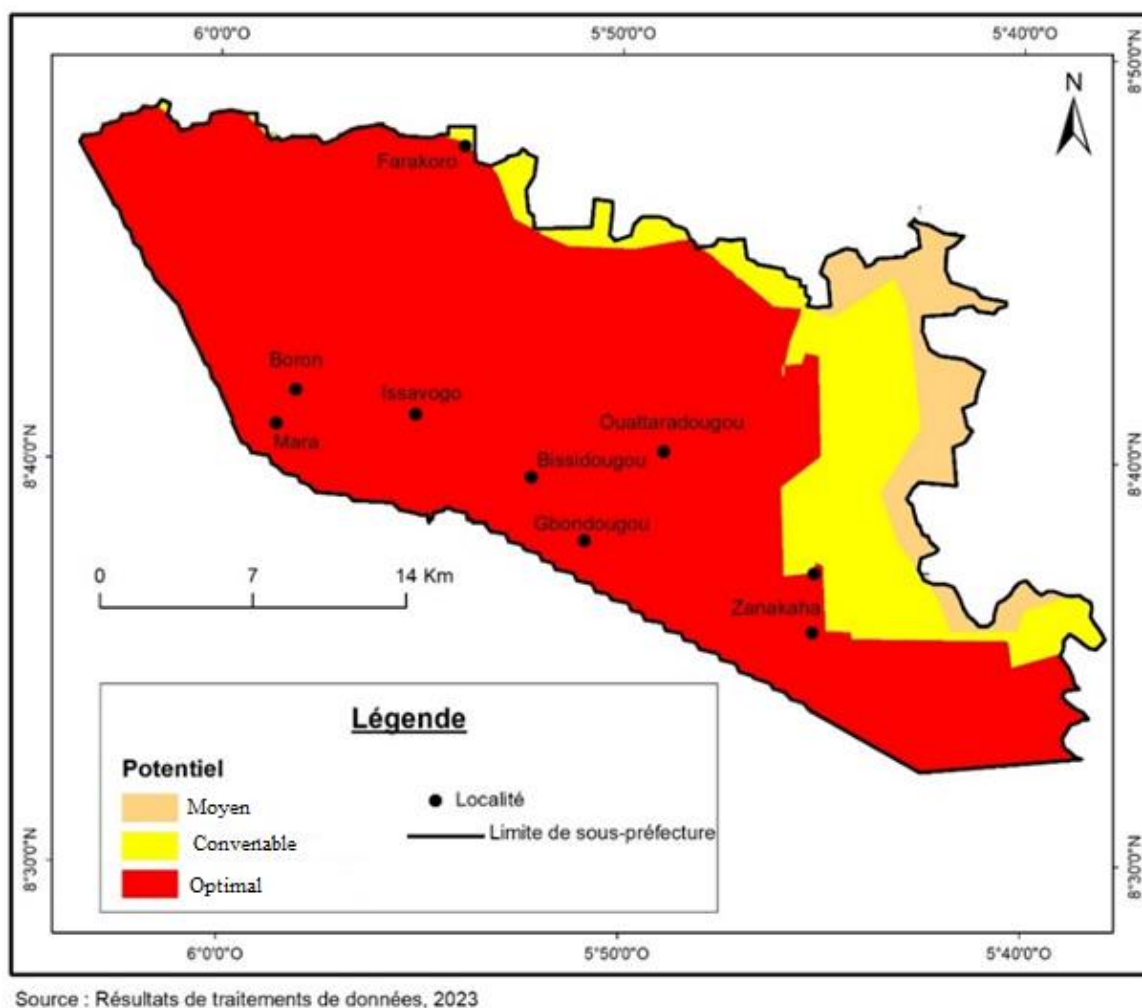
3.3 EVALUATION DES POTENTIALITES DE PRODUCTION DU COTON DANS LE DEPARTEMENT DE KORHOGO

A l'issue de l'analyse SIG et l'analyse multicritère, on constate que les sous-préfectures de Guiembé et Boron présentent des potentialités variées selon les localités, comme l'attestent les cartes n°2 et cartes n°3.



Source : Résultats de traitements de données, 2023

Carte n°2: Répartition du potentiel de production de la culture du maïs dans la sous-préfecture de Guiembé



Cartes n°3: Répartition du potentiel de production de la culture du maïs dans la sous-préfecture de Boron

Les cartes n°2 et n°3 montrent trois (3) modalités de potentialité à savoir les potentialités, moyennes, convenables et optimales, réparties différemment selon les localités. Les précisions sur l'importance surfacique de chaque modalité sont consignées dans le Tableau 8.

Tableau 8. Répartition surfacique des potentialités en proportion selon les localités

Localités	Moyennes (%)	Convenables (%)	Optimales (%)
Boron	6,37	14,99	78,64
Guiembé	27,17	66,66	6,17
Moyenne	15,13	36,76	48,11

Le Tableau 8 montre qu'à l'échelle du département, les zones optimales qui occupent 48,11% des surfaces sont les plus importantes, devant les zones convenables (36,76%) et optimales (15,13%). Toutes ces potentialités correspondent à des zones convenables.

A l'échelle des sous-préfectures, on remarque que la sous-préfecture de Boron se caractérise par une dominance des zones optimales (78,64%). Les zones à moyennes potentialités sont les plus marginales (6,17%). A la différence de Boron, la sous-préfecture de Guiembé est dominée par les zones convenables (66,66%), devant les zones moyennes (27,17%). Dans cette localité, les zones optimales sont faiblement représentées (6,17%).

3.4 INFLUENCE DES POTENTIALITES EN MAÏSICULTURE SUR LES RENDEMENTS OBTENUS PAR LES AGRICULTEURS

Dans cette partie, il s'agit de confronter le niveau d'adoption des systèmes de cultures et les potentialités agricoles selon l'analyse SIG et d'en déduire l'influence sur les rendements moyens des différentes localités. Les systèmes de culture intensifs ont été retenus pour mener l'analyse (Tableau 9).

Tableau 9. Répartition des rendements moyens du coton selon les systèmes de cultures et les localités

Localités	Proportion d'adoption du systèmes intensif (%)	Rendement du systèmes intensifs (kg)	Proportion des surfaces optimales (%)
Boron	45,5	1870	78,64
Guiembé	12,5	1190	6,17
Moyenne	27,5	1504	48,11

L'analyse du Tableau 9 montre que la sous-préfecture Boron présentant 78,64% de superficies optimal à un rendement moyen égale à 1870 kg/ha tandis que la sous-préfecture Guiembé a un rendement égal à 1190 kg/ha avec 6,17% de territoire optimal. A P-value égale à 0,03 (inférieur à 0,05), les résultats de l'analyse de variance montrent une influence significative de la répartition des potentialités surfaciques des deux sous-préfectures sur le rendement. Autrement dit, lorsque les potentialités de production du maïs augmentent, les rendements s'améliorent. Ces résultats montrent qu'en ayant des rendements nettement élevés, les systèmes intensifs présentent des productivités meilleures.

4 DISCUSSION

La productivité des systèmes de culture du maïs est étudiée à travers le département de Dikodougou plus précisément dans la sous-préfecture de Guiembé et de Boron. Deux types de systèmes de culture sont observés dans l'espace étudié, à savoir les systèmes semi-intensifs et les systèmes intensifs. Les systèmes de culture semi-intensifs pratiqués par 72,5% des producteurs dominant. Cela est lié au non-respect des doses d'intrants évoqué par les travaux d'IFC (2023, p 6) qui montrent une faible application des intrants dans le nord du pays relativement à la culture du maïs. Le coût élevé des crédits intrants octroyés aux producteurs du nord par les structures d'encadrement constitue une source d'endettement des producteurs en fin de campagne et un frein au respect des doses (N. Ramanan et al, 2024, p.4). En outre, selon F. T. Zakari et al (2022, p 12), le faible niveau d'utilisation des intrants agricoles est imputable au faible niveau de revenu des producteurs, à leur capacité d'investissement et leur accessibilité aux microcrédits. Au niveau des sous-préfectures, on constate que les systèmes semi-intensifs sont plus importants à Guiembé (87,5%) qu'à Boron (54,5%) où la pratique de la culture intensive du maïs concerne presque la moitié des producteurs. Ces statistiques montrent une disparité dans l'importance de la culture du maïs dans les deux localités. En effet, dans la sous-préfecture de Boron, le maïs (33%) est la deuxième culture principale après la culture du coton (47%). A Guiembé (18%), il vient en la troisième position derrière la culture du riz (42%) et du coton (36%). Ces différences sont confirmées par les recherches de J. Stessens (2002, p 60) qui attestent que la culture du maïs est plus importante dans la zone sud du département que la zone nord.

Avec des rendements moyens respectifs de 1504 kg/ha et 1024 kg/ha l'étude montre que les systèmes intensifs sont plus productifs que les systèmes semi-intensifs. Au niveau des sous-préfecture, Boron dont les producteurs s'investissent plus dans la production intensive, détient les meilleurs rendements (en moyenne 1650 kg/ha) par rapport à Guiembé (en moyenne 850 kg/ha). Cela montre que le respect des doses d'engrais est une source d'amélioration des rendements, dans le département de Dikodougou. Ces résultats sont soutenus par des travaux antérieurs. En effet, des études menées par Coulibaly et al (2017, pp 112-115) et I. Amonmidé et al (2021, pp 92-95) ont démontré l'importance du respect des doses d'intrants dans l'obtention de bons rendements.

La cartographie des zones propices à la culture du maïs dans le département de Dikodougou s'est effectuée par l'utilisation d'un SIG combiné aux méthodes d'analyse multicritère et des travaux de terrain. En mettant en avant les zones optimales (48,11%) devant les convenables (36,76%) et moyennes (15,13%), les statistiques révélées par l'analyse SIG indiquent une convergence avec celles de Touré et al, 2022, p 23. Les disparités spatiales qui découlent de cette analyse entre les deux sous-préfectures, révèlent que les potentialités agricoles sont plus favorables à la sous-préfecture de Boron. En effet, cette localité se caractérise par une prédominance des zones optimales (78,64%), à la différence de la sous-préfecture de Guiembé où les zones convenables (66,66%) sont prédominant devant les zones moyennes (27,17%) et optimales (6,17%). Quand on associe ces atouts territoriaux aux systèmes de culture pratiqués dans les différentes localités, il en ressort que les potentialités

surfaciques influencent significativement les rendements de l'espace étudiés. En clair, lorsque les potentialités d'une zone sont meilleures, les rendements s'améliorent.

En se fondant sur les rendements moyens nationaux (environ 2000 kg/ha) révélé par les travaux de H. Ducroquet et *al* (2017, p 95), il est clair que les rendements moyens calculés lors de cette étude (1216 kg/ha) demeurent faibles dans le département de Dikodougou. Dans la même veine, les travaux du Centre National de Recherches Agronomiques (CNRA, 2006, p 1) montrent que les principales variétés de maïs cultivées en Côte d'Ivoire ont un rendement moyen qui varie en 2000 kg/ha et 5000 kg/ha. Pourtant, l'analyse SIG révèle que les potentialités du département de Dikodougou sont favorables à la culture du maïs. On peut donc en déduire que les rendements sont encore perfectibles dans le département de Dikodougou. Comme les résultats de l'étude le démontrent, même si les potentialités du département sont généralement propices, l'amélioration des rendements passe nécessairement par l'adoption de bonnes pratiques agricoles. Pour y parvenir, une meilleure sensibilisation et accompagnement des producteurs s'impose, comme l'attestent les travaux de A. Touré et *al* (2023, pp 143-146) sur l'assistance des groupements de femmes productrices dans la région du Poro en Côte d'Ivoire.

5 CONCLUSION

Au terme de cette étude, on retient que les systèmes de culture du maïs dans le département de Dikodougou se déclinent en deux (2) types, à savoir, les systèmes semi-intensifs (72,5%) pratiqués par la majorité des producteurs et les systèmes intensifs pratiqués à 27,5% par les producteurs. Les systèmes de culture intensifs du maïs qui permettent d'obtenir de meilleurs rendements se rencontrent plus dans les sous-préfectures de Boron (45,5%) où presque la moitié des producteurs les pratiquent. L'approche SIG et l'analyse multicritère associées à l'étude ont mis en évidence trois catégories de sites dans le département. Il s'agit des sites à potentialité optimale, convenable et moyenne. L'étude montre que la localité de Boron dominée par les zones optimales (78,64%) détient les meilleurs rendements.

Si les meilleurs rendements se rencontrent à Boron, relativement à une plus grande pratique de la culture intensive et la prédominance des sites optimales, les résultats demeurent perfectibles car comparativement aux rendements moyens nationaux qui avoisinent 2000 kg/ha ils sont faibles.

REFERENCES

- [1] AMONMIDE Isidore, AKPONIKPE Pierre Bienvenu Irénikatché, DAGBENONBAKIN Gustave Dieudonné, 2021, «Réponse du cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) à la fertilisation minérale dans diverses zones agro-écologiques: revue quantitative», In: *Biotechnol.Agron.Soc.Environ.*, 25 (2), mai 2021, p. 89-108.
- [2] ASSI-KAUDJHIS Joseph Pierre, 2013, « Application du Système d'Information Géographique (SIG) dans l'évaluation du potentiel piscicole paysan de la Côte d'Ivoire cas de la Région du Centre-Est», In: *Leïdi* N°09, décembre 2013, Université Gaston Berger, Saint Louis, Sénégal, p. 172-192.
- [3] CNRA, 2006, *Bien cultivé le maïs en Côte d'Ivoire*, 4 p.
- [4] COULIBALY Adama, 2021, *Communication de la Côte d'Ivoire à la 79^e plénière du Comité Consultatif International du Coton*, Directeur Générale du Conseil du Coton et de l'Anacarde, Abidjan, Côte d'Ivoire, 4 p.
- [5] DUCROQUET Hubert, TILLIE Pascal, LOUHICHI Karmel, GOMEZ-Y-PALOMA Sergio, 2017, *L'agriculture de la Côte d'Ivoire à la loupe Etat des lieux des filières de production végétales et animales et revue des politiques agricoles*, Séville, Espagne, 244 p.
- [6] IFC, 2023, *Production et Transformation dans les Chaînes de Valeur du Manioc, du Maïs et de la Banane Plantain en Côte d'Ivoire*, Abidjan, Côte d'Ivoire, p 52.
- [7] KONAN-WAIDHET Arthur Brice, KOUADIO Konan Emmanuel, DIBI Brou, SAVANE Issiaka, 2013, « Apport d'un système d'information géographique et de l'évaluation multicritère dans la modélisation des sites propices à la riziculture dans le nord-ouest de la Côte d'Ivoire (Denguelé) », *geosp.net*, Vol. 2, N°4, p. 436-444.
- [8] OCPV, 2021, *Les informations de marchés, Semaine du 18 au 24 Janvier 2021*, Abidjan Côte d'Ivoire, 21 p.
- [9] PAM, 2021, *Production et commercialisation du maïs en Afrique*, 40p.
- [10] RAMANAN Namratha, GEENS Hilde, TOURÉ Adama, 2024, *Baseline Study on Sustainability Practices in Cotton Farming in Côte d'Ivoire*, Brussels, Belgium, 54p.
- [11] RONGEAD, 2014, *Diagnostic de la filière maïs en Côte d'Ivoire*, Abidjan Côte d'Ivoire, 59 p.
- [12] SAATY Thomas L., 1977, « Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures », *J. Math. Psychology*, 15, 1977, p. 234-281.

- [13] STESENS Johan., 2002, Analyse technique et économique des systèmes de production agricole au Nord de la Côte d'Ivoire, Thèse de doctorat, Katholieke Universiteit Leuven, 302 p.
- [14] TOURE Adama, BALLE Ségbé G.-R., TRAORE Kassoum, 2023, « Des actions d'appui aux groupements de femmes dans la région de Poro (Côte d'Ivoire) », *Afrique Contemporaine*, 1 (275), p. 137-155.
- [15] TOURE Adama, ASSI Kopeh Jean-Louis, SILUE Pébagagnan David, ASSI-KAUDJHIS Jean-Pierre, 2022, « GIS approach and evaluation of lowland rice production potential in Cote d'Ivoire: Case of the Poro region) », *International Journal of Humanities and Social Science Research*, Vol. 8, Issue 4, p. 5-14.
- [16] TOURE Adama, ASSI Kopeh Jean-Louis, KOFFI Simplicie Yao, ASSI-KAUDJHIS Joseph P, 2022, « Évaluation du potentiel de production du riz pluvial dans le nord de la Côte d'Ivoire par approche SIG: cas de la région du Poro) », *Revue Ahôhò*, N°29 – 16 e année, p. 14-26.
- [17] TOURE Adama, 2018, *Perturbation socioenvironnementale et développement rizicole: Cas de la Région du Poro*, Thèse de doctorat, Université Alassane Ouattara, Bouaké, Côte d'Ivoire, 418 p.
- [18] ZAKARI Filikibirou Tassou, AKPO Ibadon Firmin, ISSAKA Kassimou, AGANI Francis Oninkitan, Jacob Afouda YABI, 2022, « Typologie des systèmes de production de maïs (*Zea mays* L.) dans un contexte de changement climatique au Nord Bénin », *Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture*, 5 (4), Septembre 2022, p 1-14.

Prise en compte du gradient de contrainte dans le critère d'approche statistique (méthode de variance)

[Factoring the stress gradient into the statistical approach criterion (variance method)]

Mbaiyelkom Esdras¹, E. Ngargueudedjim Kimtanga¹, Annouar Djidda Mahamat¹, Bianzeube Tikri¹, Kenmeugne Bienvenu², and Fogue Médard³

¹Laboratoire d'Etude et de Recherche en Technique Industrielles (LERTI), Faculté des Sciences Exactes et Appliquées, Université de N'Djaména, Chad

²Laboratoire d'Engineering Civil et Mécanique (LECM), Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé, Université de Yaoundé I, BP 8390 Yaoundé, Cameroon

³Unité de Recherche d'Ingénierie des Systèmes Industriels et de l'Environnement (UR-ISIE), Faculté des Sciences, Université de Dschang, Cameroon

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

ABSTRACT: The aim of this work is to take into account the effect of the stress gradient as a beneficial effect in fatigue, since its presence within a material systematically leads to an increase in the endurance limit in terms of local maximum stress. We have therefore proposed that the stress gradient be taken into account in the fatigue criterion using a statistical approach based on the variance method. This method assumes that the fracture plane is the one on which the variance of the equivalent stress is maximum. This method defines three types of equivalent stress on a plane: normal stress, shear stress and combined normal and shear stress. The results obtained using the simple variance method and the stress gradient method were compared for a cyclic biaxial loading condition.

We found that in terms of prediction of the fracture plane, there is not much difference between the two formulations (the simple variance method and the one taking into account the stress gradient), but the maximum values of the variance for the variance method taking into account the stress gradient vary greatly compared to the case of the simple variance method.

KEYWORDS: biaxial fatigue, fracture plane direction, critical plane, stress gradient and equivalent stress variance.

RESUME: Le but de ce travail est de prendre en compte l'effet du gradient de contrainte bien comme un effet bénéfique en fatigue car sa présence au sein d'un matériau conduit systématiquement à une augmentation de la limite d'endurance en termes de contrainte maximale locale. Ainsi nous avons proposé la prise en compte du gradient de contrainte dans le critère de fatigue d'approche statistique en considérant la méthode de variance. Cette méthode suppose que le plan de rupture est celui sur lequel la variance de la contrainte équivalente est maximale.

On définit pour cette méthode trois types de contrainte équivalente sur un plan: une contrainte normale, une contrainte de cisaillement et une contrainte combinaison de la contrainte normale et de la contrainte de cisaillement.

La comparaison des résultats obtenus par la méthode de variance simple et celle prenant en compte le gradient de contrainte a été faite pour un état de sollicitation cyclique biaxiale. Nous avons constaté qu'en terme de prédiction du plan de rupture il n'y a pas tellement de différence entre les deux formulations (la méthode de variance simple et celle prenant en compte le gradient de contrainte) mais les valeurs maximale de la variance pour la méthode de variance prenant en compte le gradient de contrainte varie fortement comparativement au cas de la méthode de variance simple.

MOTS-CLEFS: fatigue biaxiale, direction du plan de rupture, plan critique, gradient de contrainte et variance de la contrainte équivalente.

1 INTRODUCTION

La prédiction du plan de rupture en fatigue des différents composants d'une structure en service sous des sollicitations complexes (multiples et aléatoires) est de nos jours une préoccupation majeure dans l'ingénierie mécanique. Les industries, pour être compétitives, ont l'obligation de garantir la sécurité des utilisateurs de leurs produits sans perdre de vue la minimisation des coûts de fabrication et de maintenance.

Les critères statiques sont insuffisants pour le dimensionnement des pièces d'une structure en vue de sa validation dans le bureau d'études. C'est pourquoi, beaucoup des chercheurs et d'ingénieurs ont travaillé ces dernières années sur les modèles théoriques et expérimentaux de fatigue. L'objectif majeur de la fatigue des matériaux est la prédiction de la durée de vie du composant mécanique soumis à des contraintes variables.

La détermination de l'orientation du plan de rupture est très importante dans les modèles de fatigue car c'est en un point de ce plan qu'on calcule la durée de vie en fatigue.

La durée de vie de la pièce peut alors être établie à l'aide la contrainte normale et la contrainte tangentielle qui lui sont appliquées.

L'objectif final de cet article est de prendre en compte le gradient de contrainte dans le critère de l'approche statistique considérant la méthode de la variance puis faire la comparaison des valeurs maximales des variances obtenues par la méthode de variance simple et celle prenant en compte le gradient de contrainte en utilisant les données des essais effectuées par Rotvel F [2] et Nishihara T. and Kawamoto [3].

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 MÉTHODOLOGIE

2.2 PRESENTATION DE LA METHODE DE VARIANCE

La rupture par fatigue est causée par la contrainte normale $\sigma_n(t)$ et la contrainte tangentielle $\tau_{ns}(t)$ qui agit suivant la direction tangentielle $\vec{s}$ du plan de rupture avec la normale $\vec{n}$ (Figure 1). Sur la base de cette connaissance, Macha, E. and Niesłony [1] ont développé une méthode de détermination de la position du plan critique basée sur la variance de la contrainte équivalente.

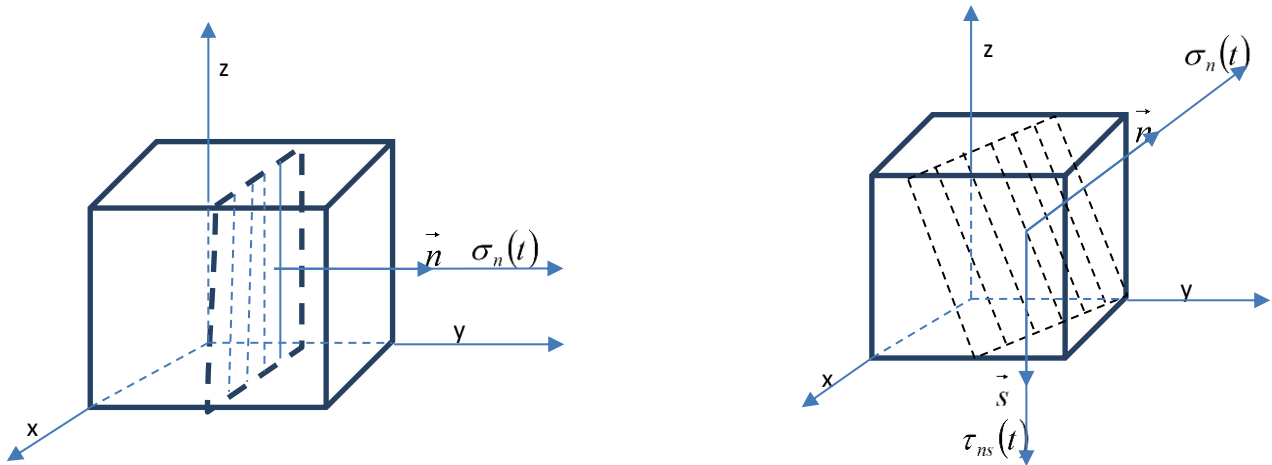


Fig. 1. Direction of vector, $\vec{n}$ and $\vec{s}$ and of stress, $\sigma_n(t)$ and $\tau_{ns}(t)$ in the case of any position of the fatigue fracture plane in relation to the system of axes x, y, z

Avec

$$\vec{n} = \hat{l}_n \vec{i} + \hat{m}_n \vec{j} + \hat{n}_n \vec{k} = \frac{\hat{l}_1 + \hat{l}_3}{\sqrt{2}} \vec{i} + \frac{\hat{m}_1 + \hat{m}_3}{\sqrt{2}} \vec{j} + \frac{\hat{n}_1 + \hat{n}_3}{\sqrt{2}} \vec{k} \quad (1)$$

$$\vec{s} = \hat{l}_s \vec{i} + \hat{m}_s \vec{j} + \hat{n}_s \vec{k} = \frac{\hat{l}_1 - \hat{l}_3}{\sqrt{2}} \vec{i} + \frac{\hat{m}_1 - \hat{m}_3}{\sqrt{2}} \vec{j} + \frac{\hat{n}_1 - \hat{n}_3}{\sqrt{2}} \vec{k} \quad (2)$$

Les composantes du vecteur contraintes ont pour expressions:

$$\sigma_n(t) = \hat{l}_n \hat{l}_{ns} \sigma_{ij}(t), \tau_{ns}(t) = \hat{l}_{ns} \hat{l}_{ns} \sigma_{ij}(t) \quad (3)$$

Avec $i, j = x, y, z$

La formulation générale du critère est:

$$\max_t \{B\tau_{\eta s}(t) + K\sigma_{\eta}(t)\} = F \quad (4)$$

Où:

F, B sont les constantes du critère;

$$K = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{-1}}{\tau_{-1} - \sigma_{-1}}\right)^2 - 1}$$

Où: σ_{-1} et τ_{-1} sont les limites de fatigue sous sollicitation en traction-compression et en torsion, respectivement.

$$\sigma_{eq}(t) = \sum_{k=1}^6 a_k x_k(t) \quad (5)$$

Où: $x_1 = \sigma_{xx}(t)$, $x_2 = \sigma_{yy}(t)$, $x_3 = \sigma_{zz}(t)$, $x_4 = \sigma_{xy}(t)$, $x_5 = \sigma_{xz}(t)$, $x_6 = \sigma_{yz}(t)$.

Et $a_k = a_k(\hat{l}_1, \hat{m}_1, \hat{n}_1, \hat{l}_3, \hat{m}_3, \hat{n}_3)$.

$$\vec{n} = \frac{\hat{l}_1 + \hat{l}_3}{\sqrt{2}} \vec{i} + \frac{\hat{m}_1 + \hat{m}_3}{\sqrt{2}} \vec{j} + \frac{\hat{n}_1 + \hat{n}_3}{\sqrt{2}} \vec{k}, \vec{s} = \frac{\hat{l}_1 - \hat{l}_3}{\sqrt{2}} \vec{i} + \frac{\hat{m}_1 - \hat{m}_3}{\sqrt{2}} \vec{j} + \frac{\hat{n}_1 - \hat{n}_3}{\sqrt{2}} \vec{k}$$

La moyenne des cosinus directeurs doit satisfaire aux conditions d'orthogonalité suivantes:

$$\hat{l}_1^2 + \hat{m}_1^2 + \hat{n}_1^2 = 1, \hat{l}_2^2 + \hat{m}_2^2 + \hat{n}_2^2 = 1, \hat{l}_3^2 + \hat{m}_3^2 + \hat{n}_3^2 = 1, \hat{l}_1 \hat{l}_2 + \hat{m}_1 \hat{m}_2 + \hat{n}_1 \hat{n}_2 = 0, \hat{l}_1 \hat{l}_3 + \hat{m}_1 \hat{m}_3 + \hat{n}_1 \hat{n}_3 = 0, \hat{l}_2 \hat{l}_3 + \hat{m}_2 \hat{m}_3 + \hat{n}_2 \hat{n}_3 = 0.$$

2.3 PRISE EN COMPTE DU GRADIENT DE CONTRAINTE

2.3.1 FORMALISME GÉNÉRAL

La proposition consiste à introduire l'influence du gradient de contrainte dans le critère de l'approche statistique. Le formalisme du critère modifié de EWALD Macha est défini par l'expression suivante:

$$(\max)_{-t} \{ \vdash B\tau_{\eta s}(t) + K\sigma_{\eta}(t) + \sqrt{G(t)} \langle \sigma_{\eta}(t) \rangle \} = F \quad (6)$$

Avec:

F et B les constantes du critère;

$$K = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{-1}}{\tau_{-1} - \sigma_{-1}}\right)^2 - 1} \text{ Où } \sigma_{-1}: \text{ limite de fatigue sous sollicitation en traction-compression et } \tau_{-1}: \text{ limite de fatigue en torsion;}$$

$\tau_{\eta s}(t)$ et $\sigma_{\eta}(t)$, sont les fonctions des composantes du contrainte $\sigma_{ij}(t)$, ($i, j = x, y, z$).

G(t), gradient géométrique de la contrainte normale $\sigma_{\eta}(t)$ au plan physique de normale h, est défini à l'instant t par:

$$G(t) = \sqrt{\left(\frac{\partial \sigma_{\eta}(t)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \sigma_{\eta}(t)}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \sigma_{\eta}(t)}{\partial z}\right)^2} \quad (7)$$

Cas a) critère de contrainte normale maximale dans le plan de rupture (B=0, K=1)

L'expression de la contrainte équivalente est:

$$\sigma_{eq}(t) = \sigma_{\eta}(t) = \hat{l}_{\eta}^2 \sigma_{xx}(t) + \hat{m}_{\eta}^2 \sigma_{yy}(t) + \hat{n}_{\eta}^2 \sigma_{zz}(t) + 2\hat{l}_{\eta} \hat{m}_{\eta} \sigma_{xy}(t) + 2\hat{l}_{\eta} \hat{n}_{\eta} \sigma_{xz}(t) + 2\hat{m}_{\eta} \hat{n}_{\eta} \sigma_{yz}(t) + \sqrt{G(t)} \langle \sigma_{\eta}(t) \rangle \quad (8)$$

Cas b) critère de contrainte de cisaillement maximale dans le plan de rupture (B=1, K=0)

$$\sigma_{eq}(t) = 2\tau_{\eta s}(t) = 2\hat{l}_{\eta} \hat{l}_s \sigma_{xx}(t) + 2\hat{m}_{\eta} \hat{m}_s \sigma_{yy}(t) + 2\hat{n}_{\eta} \hat{n}_s \sigma_{zz}(t) + 2(\hat{l}_{\eta} \hat{m}_s + \hat{l}_s \hat{m}_{\eta}) \sigma_{xy}(t) + 2(\hat{l}_{\eta} \hat{n}_s + \hat{l}_s \hat{n}_{\eta}) \sigma_{xz}(t) + 2(\hat{m}_{\eta} \hat{n}_s + \hat{m}_s \hat{n}_{\eta}) \sigma_{yz}(t) + \sqrt{G(t)} \langle \sigma_{\eta}(t) \rangle \quad (9)$$

Cas c) critère de combinaison des contraintes tangentielle et normale maximale dans un plan de rupture

Dans le cas particulier du critère (B=1), l'expression de la contrainte équivalente est

$$\sigma_{eq}(t) = \frac{1}{1+K} \left[(\hat{l}_1^2 - \hat{l}_3^2 + K(\hat{l}_1 + \hat{l}_3)^2) \sigma_{xx}(t) + (\hat{m}_1^2 - \hat{m}_3^2 + K(\hat{m}_1 + \hat{m}_3)^2) \sigma_{yy}(t) + (\hat{n}_1^2 - \hat{n}_3^2 + K(\hat{n}_1 + \hat{n}_3)^2) \sigma_{zz}(t) + (\hat{l}_1 \hat{m}_1 - \hat{l}_3 \hat{m}_3 + K(\hat{l}_1 + \hat{l}_3)(\hat{m}_1 + \hat{m}_3)) \sigma_{xy}(t) + 2(\hat{l}_1 \hat{n}_1 - \hat{l}_3 \hat{n}_3 + K(\hat{l}_1 + \hat{l}_3)(\hat{n}_1 + \hat{n}_3)) \sigma_{xz}(t) + 2(\hat{m}_1 \hat{n}_1 - \hat{m}_3 \hat{n}_3 + K(\hat{m}_1 + \hat{m}_3)(\hat{n}_1 + \hat{n}_3)) \sigma_{yz}(t) + \sqrt{G(t) \langle \sigma_\eta(t) \rangle} \right] \quad (10)$$

Où $\sigma_{ij}(t)$, $(i, j = x, y, z)$ sont les composantes de la contrainte.

La variance de la contrainte équivalente s'écrit:

$$\mu_{\sigma_{eq}} = \sum_{s,t=1}^6 a_s a_t \mu_{xst} \quad (11)$$

Avec μ_{xst} la matrice de variance-covariance du variable x_k : $\mu_{xst} = \begin{bmatrix} \mu_{x11} & \cdots & \mu_{x16} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mu_{x61} & \cdots & \mu_{x66} \end{bmatrix}$

Généralement, la résolution analytique de cette méthode pose un problème. Pour éliminer cette difficulté, les cosinus directeurs $\hat{l}_n$, $\hat{m}_n$, $\hat{n}_n$ sont remplacés par les fonctions trigonométriques des trois angles d'Euler ψ , θ , ϕ (Figure 2).

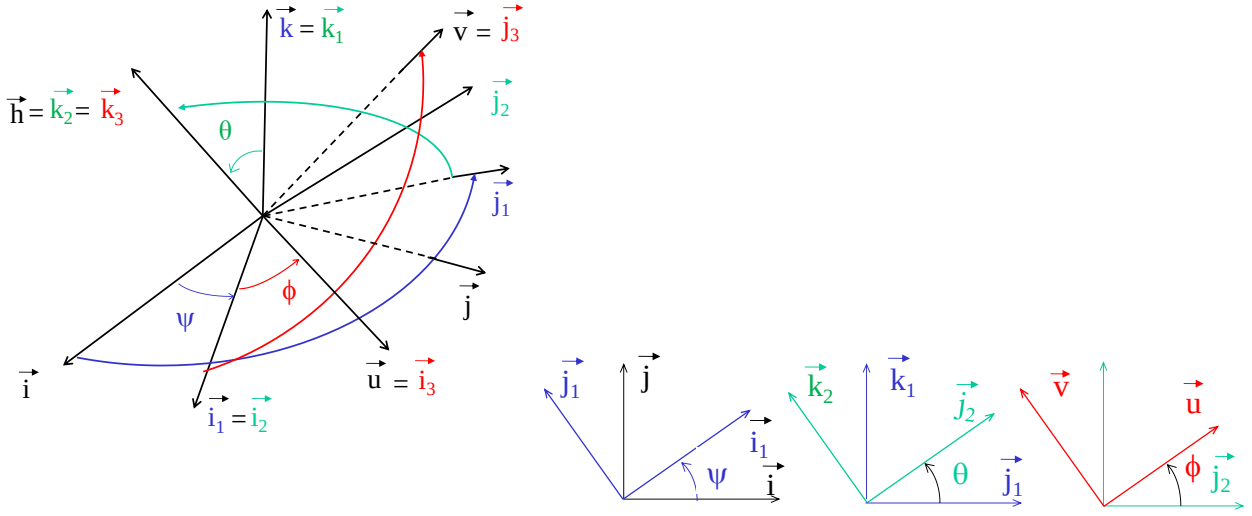


Fig. 2. Les fonctions trigonométriques des trois angles d'Euler

Avec $\vec{u}(\hat{l}_1, \hat{m}_1, \hat{n}_1)$; $\vec{v}(\hat{l}_2, \hat{m}_2, \hat{n}_2)$ et $\vec{h}(\hat{l}_3, \hat{m}_3, \hat{n}_3)$.

En considérant que le problème est plan et que les facettes concernées sont celles avec la normale dans le plan $(\vec{i}, \vec{j})$, on a la condition $\vec{k} \cdot \vec{h} = \hat{n}_3 = 0$.

Cette considération nous permet d'obtenir les conditions sur les angles d'Euler avec $\theta = \frac{\pi}{2}$.

Avec la condition $\theta = \frac{\pi}{2}$ et les cas de figures de rotations (Figure 2), on a la matrice des directions cosinus suivantes:

$$[P] = \begin{bmatrix} \cos \psi \cos \phi & \cos \psi \sin \phi & \sin \phi \\ -\sin \psi \cos \phi & -\sin \psi \sin \phi & \cos \psi \\ \sin \phi & -\cos \phi & 0 \end{bmatrix}$$

L'algorithme de la détermination du plan de rupture est présenté dans la figure 3 de façon détaillée.

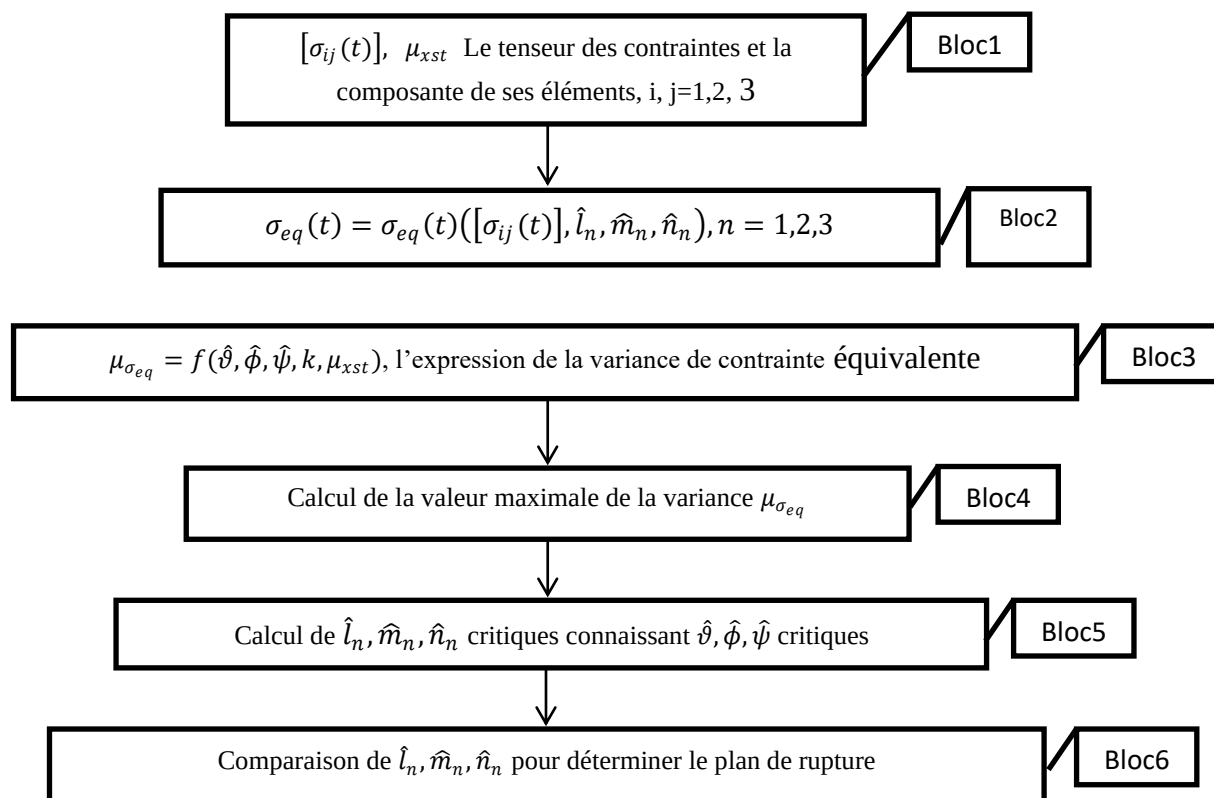


Fig. 3. Algorithme de calcul de la position du plan de rupture

2.4 PRÉSENTATION DU MATÉRIAU

Pour la validation de cette étude comparative de détermination de l'orientation du plan de rupture, nous avons utilisé les données de fatigue d'un acier de construction mécanique et les essais de fatigue sous chargement biaxial cyclique réalisés par Rotvel F [2] et Nishihara T. and Kawamoto M [3].

Tableau 1. Données et états de chargement biaxial cyclique de fatigue (Rotvel F [2]) et Nishihara T. and Kawamoto M [3]

Auteur : Rotvel		
Références [2]	Caractéristiques chimiques(%)	Caractéristiques mécaniques
Essais : Traction biaxiale Matériau : Acier au carbone	C=0,35, Si=0,20, Mn=0.45	$\sigma_{-1} = 215,8\text{MPa}$ $\sigma_0 = 349,9\text{MPa}$ $\tau_{-1} = 138,5\text{MPa}$, $R_m = 570\text{MPa}$
États de contrainte		
Test number	$\sigma_{xx}(t)$	$\sigma_{yy}(t)$
1	$227,6\sin(wt)$	$1,96\sin(wt)$
2	$-2,94+224,6\sin(wt)$	$6,87 \sin(wt+\pi)$
3	$52+233,5\sin(wt)$	$41,2+191,3\sin(wt)$
4	$-11,8+228,6\sin(wt)$	$-24,5+117,7\sin(wt)$
5	$-7,8+156\sin(wt)$	$11,77+121,6\sin(wt+\pi)$
6	$79,5+155\sin(wt+\pi)$	$118,7\sin(wt)$

Auteurs : Toshio et Kawamoto		
Références [3]	Caractéristiques chimiques(%)	Caractéristiques mécaniques
Material : Hardened steel	C=0.51, Mn=0,38,S=0,010, Si=0,27, P=0,023	$\sigma_{-1} = 313.9 \text{ MPa}$, $\sigma_0 = 485.8 \text{ MPa}$, $\tau_{-1} = 196.2 \text{ MPa}$, $R_m = 694 \text{ MPa}$

N°	Numéro de test	États de contrainte	
		$\sigma_{xx}(t)$	$\tau_{xy}(t)$
1	HNK50	00	225.63sin(wt)
2	HNK53	353.16sin(wt)	00
3	HNK54	00	sin(wt)
4	HNK55	323.73sin(wt)	00
5	HNK59	294.30sin(wt+ $\pi/2$)	147.15sin(wt)
6	HNK60	274.68sin(wt)	137.34sin(wt)
7	HNK63	264.87sin(wt+ $\pi/2$)	132.44sin(wt)
8	HNK67	162.85sin(wt+ $\pi/2$)	196.69sin(wt)
9	HNK69	154.45sin(wt+ $\pi/2$)	184.23sin(wt)
10	HNK74	162.85sin(wt)	195.69sin(wt)
11	HNK75	308.03sin(wt)	63.86sin(wt)
12	HNK76	141.85sin(wt)	171.28sin(wt)
13	HNK79	344.33sin(wt)	71.32sin(wt)
14	HNK83	344.33sin(wt+ $\pi/2$)	71.32sin(wt)
15	HNK84	157.65sin(wt+ $\pi/3$)	190.31sin(wt)
16	HNK86	308.03sin(wt+ $\pi/3$)	63.86sin(wt)
17	HNK89	255.06sin(wt)	127.53sin(wt)
18	HNK90	264.87sin(wt+ $\pi/3$)	132.44sin(wt)
19	HNK91	255.06sin(wt+ $\pi/3$)	127.53sin(wt)
20	HNK94	147.15sin(wt+ $\pi/3$)	177.56sin(wt)
21	HNK96	141.95sin(wt+ $\pi/6$)	171.18sin(wt)
22	HNK97	152.35sin(wt+ $\pi/6$)	183.94sin(wt)

Références [3]		Caractéristiques chimiques(%)	Caractéristiques mécaniques
Essais : Traction-Torsion Matériau : Acier doux		C = 0,1, Mn=0,50, S=0,040, Si=0,14, P=0,033	$\sigma_{-1} = 235,4\text{MPa}$, $\sigma_0 = 325,7\text{MPa}$ $\tau_{-1} = 137,3\text{MPa}$, Rm = 382MPa
États de contrainte			
N°	Numéro de test	$\sigma_{xx}(t)$	$\sigma_{xy}(t)$
1	LNK5	194,3sin(wt)	00
2	LNK11	00	142,25sin(wt)
3	LNK12	187,12sin(wt)	93,50sin(wt)
4	LNK16	101,34sin(wt)	122,33sin(wt)
5	LNK18	235,64sin(wT)	48,85sin(wt)
6	LNK22	235,83sin(wt+ $\pi/2$)	117,92sin(wt)
7	LNK24	208,07sin(wt+ $\pi/2$)	104,08sin(wt)
8	LNK27	112,62sin(wt+ $\pi/2$)	135,97sin(wt)
9	LNK28	244,76sin(wt+ $\pi/2$)	50,72sin(wt)
10	LNK29	235,64sin(wt+ $\pi/2$)	48,85sin(wt)
11	LNK31	201,11sin(wt+ $\pi/3$)	100,55sin(wt)
12	LNK32	194,24sin(wt+ $\pi/3$)	97,12sin(wt)
13	LNK35	245,25sin(wt)	00
14	LNK36	105,16sin(wt+ $\pi/3$)	126,84sin(wt)
15	LNK40	108,89sin(wt+ $\pi/3$)	131,45 sin(wt)

Références [3]	Caractéristiques chimiques(%)	Caractéristiques mécaniques
----------------	-------------------------------	-----------------------------

Essais : Flexion-Torsion Matériau : Duralumin		Cu = 3,81, Mn=0.44, Si=0.35	$\sigma_{-1} = 156\text{MPa}$, $\sigma_0 = 257,1\text{MPa}$ $\tau_{-1} = 100\text{MPa}$, $R_m = 443\text{MPa}$
États de contrainte			
N°	Numéro de test	σ_{11a}	σ_{12a}
01	D-30 2	00	$98,1\sin(\omega t)$
02	D-30 5	00	$127,53\sin(\omega t)$
03	D-30 6	$156,96\sin(\omega t)$	00
04	D-30 7	$196,2\sin(\omega t + \pi/2)$	00
05	D-30 8	$181,29\sin(\omega t + \pi/2)$	$37,57\sin(\omega t)$
06	D-30 12	$153,55\sin(\omega t)$	$76,32\sin(\omega t)$
07	D-30 15	$138,7(\omega t + \pi/2)$	$69,36\sin(\omega t)$
08	D-30 16	$124,88\sin(\omega t)$	$62,49\sin(\omega t)$
09	D-30 17	$163,14\sin(\omega t)$	$33,75\sin(\omega t)$
10	D-30 19	$117,92(\omega t + \pi/2)$	$58,96\sin(\omega t)$
11	D-30 20	$82,6\sin(\omega t)$	$99,67\sin(\omega t)$
12	D-30 22	$199,44\sin(\omega t)$	$41,3\sin(\omega t)$
13	D-30 23	$199,44\sin(\omega t + \pi/2)$	$41,3\sin(\omega t)$
14	D-30 24	$82,6\sin(\omega t + \pi/2)$	$99,67\sin(\omega t)$

Références [3]		Caractéristiques chimiques(%)	Caractéristiques mécaniques
Essais : Flexion-Torsion Matériau : Grey Castiron		C = 3,32%	$\sigma_{-1} = 143\text{MPa}$, $\sigma_0 = 212,7\text{MPa}$ $\tau_{-1} = 110\text{MPa}$, $R_m = 278,8$
États de contrainte			
N°	Numéro de test	σ_{11a}	σ_{12a}
01	Zla1	$168\sin\omega t$	$00\sin\omega t$
02	Zla2	$164\sin\omega t$	$00\sin\omega t$
03	Zla3	$160\sin\omega t$	$00\sin\omega t$
04	Zlb1	$00\sin\omega t$	$142\sin\omega t$
05	Zlb2	$00\sin\omega t$	$130\sin\omega t$
06	Zlb3	$00\sin\omega t$	$132\sin\omega t$
07	Zlc1	$149,9\sin\omega t$	$74,95\sin\omega t$
08	Zlc2	$121,62\sin\omega t$	$60,81\sin\omega t$
09	Zlc3	$118,79\sin\omega t$	$59,4\sin\omega t$
10	Zld1	$176,67\sin\omega t$	$51\sin\omega t$
11	Zld2	$155,88\sin\omega t$	$45\sin\omega t$
12	Zld3	$152,42\sin\omega t$	$44\sin\omega t$
13	Zle1	$118\sin\omega t$	$102,2\sin\omega t$
14	Zle2	$108\sin\omega t$	$93,53\sin\omega t$

15	Zle3	106sin ωt	91,78sin ωt

3 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Il est question ici de montrer l'effet bénéfique du gradient de contrainte pour une sollicitation cyclique biaxiale. Ceci étant, nous avons comparé les différentes valeurs maximales de la variance du contrainte à l'aide des histogrammes.

Le tableau 2 présente les valeurs maximales des variances correspondantes aux plans de rupture pour les différents essais.

3.1 RÉSULTATS

Pour faire la comparaison des deux formulations, nous avons programmés et retenir les valeurs maximales des variances du plan de rupture (tableau. 2 et 3)

Tableau 2. Valeurs des variances pour différents cas avec prise en compte de gradient

Numéro des essais		Valeurs maximales de la variance correspondant au plan de rupture		
		Méthode de Variance + gradient		
		Cas a	Cas b	Cas c
		μ_{eqmax}	μ_{eqmax}	μ_{eqmax}
1		7,7562e+03	1,0838e+04	7,7232e+04
2		7,3242e+03	9,9558e+03	7,2989e+04
3		1,4013e+04	1,1526e+04	1,2840e+05
4		6,8514e+03	5,6356e+03	6,7771e+04
5		4,0493e+03	3,3308e+03	3,6163e+04
6		8,1292e+03	6,6867e+03	7,9723e+04

Numéro des essais		Valeurs maximales de la variance correspondant au plan de rupture		
		Méthode de Variance + gradient		
		Cas a	Cas b	Cas c
		μ_{eqmax}	μ_{eqmax}	μ_{eqmax}
1	HNK50	1,5272e+04	3,0356e+04	1,0463e+05
2	HNK53	2,7696e+04	3,5404e+04	2,1726e+05
3	HNK54	1,2133e+04	2,0410e+04	8,3122e+04
4	HNK55	2,3272e+04	2,9749e+04	1,8255e+05
5	HNK59	1,7005e+04	2,5601e+04	1,3829e+05
6	HNK60	1,4814e+04	2,2301e+04	1,2047e+05
7	HNK63	1,3775e+04	2,0737e+04	1,1202e+05
8	HNK67	9,7923e+03	2,1242e+04	8,1424e+04
9	HNK69	8,6781e+03	1,8718e+04	7,2222e+04
10	HNK74	9,7327e+03	2,1064e+04	8,0959e+04
11	HNK75	1,8163e+04	2,3888e+04	1,3219e+05
12	HNK76	7,4273e+03	1,6110e+04	6,1759e+04
22	HNK97	8,5665e+03	1,8580e+04	7,1233e+04
23	HNK98	1,3775e+04	2,0737e+04	1,1202e+05
24	HNK99	1,2773e+04	1,9229e+04	1,0387e+05

Numéro des essais		Valeurs maximales de la variance correspondant au plan de rupture		
		Méthode de Variance + gradient		
		Cas a	Cas b	Cas c

		μ_{eqmax}	μ_{eqmax}	μ_{eqmax}
1	D-30 2	2,6709e+03	5,5223e+03	1,6896e+04
2	D-30 5	4,5137e+03	9,3327e+03	2,8554e+04
3	D-30 6	5,0612e+03	6,5838e+03	3,7417e+04
4	D-30 7	7,9081e+03	1,0287e+04	5,8464e+04
5	D-30 8	5,8206e+03	7,8035e+03	3,9615e+04
6	D-30 12	4,2763e+03	6,6009e+03	3,2900e+04
7	D-30 15	3,4945e+03	5,4039e+03	2,6906e+04
8	D-30 16	2,8333e+03	4,3823e+03	2,1817e+04
9	D-30 17	4,7141e+03	6,3194e+03	3,2078e+04
10	D-30 19	2,5257e+03	3,9057e+03	1,9447e+04

Tableau 3. Valeurs des variances pour différents cas sans gradient

Numéro des essais		Valeurs maximales de la variance correspondant au plan de rupture		
		Méthode de Variance		
		Cas a	Cas b	Cas c
		μ_{eqmax}	μ_{eqmax}	μ_{eqmax}
1		6.3798e+03	9.4614e+03	7.6836e+04
2		6.0246e+03	8.6561e+03	7.2605e+04
3		1.1526e+04	1.1526e+04	1.2729e+05
4		5.6356e+03	5.6356e+03	6.7290e+04
5		3.3308e+03	3.3308e+03	3.5842e+04
6		6.6867e+03	6.6867e+03	7.9127e+04

Numéro des essais		Valeurs maximales de la variance correspondant au plan de rupture		
		Méthode de Variance		
		Cas a	Cas b	Cas c
		μ_{eqmax}	μ_{eqmax}	μ_{eqmax}
1	HNK50	8,4848e+03	2,3569e+04	1,0443e+05
2	HNK53	1,5387e+04	2,3095e+04	2,1386e+05
3	HNK54	6,7409e+03	1,8725e+04	8,2965e+04
4	HNK55	1,2929e+04	1,9406e+04	1,7970e+05
5	HNK59	9,4477e+03	1,8043e+04	1,3680e+05
6	HNK60	8,2300e+03	1,5718e+04	1,1917e+05
7	HNK63	7,6527e+03	1,4615e+04	1,1081e+05
8	HNK67	5,4403e+03	1,6890e+04	8,1288e+04
9	HNK69	4,8213e+03	1,4861e+04	7,2095e+04
10	HNK74	5,4072e+03	1,6738e+04	8,0818e+04
11	HNK75	1,0091e+04	1,5816e+04	1,2983e+05
12	HNK76	4,1264e+03	1,2809e+04	6,1656e+04
22	HNK97	4,7593e+03	1,4772e+04	7,1113e+04
23	HNK98	7,6527e+03	1,4615e+04	1,1081e+05
24	HNK99	7,0963e+03	1,3552e+04	1,0275e+05

Numéro des essais		Valeurs maximales de la variance correspondant au plan de rupture		
		Méthode de Variance		
		Cas a	Cas b	Cas c
		μ_{eqmax}	μ_{eqmax}	μ_{eqmax}
1	D-30 2	1.6039e+03	4.4554e+03	1.6865e+04
2	D-30 5	2.7107e+03	7.5296e+03	2.8502e+04

3	D-30 6	3.0394e+03	4.5620e+03	3.6827e+04
4	D-30 7	4.7491e+03	7.1282e+03	5.7542e+04
5	D-30 8	3.4954e+03	5.4784e+03	3.8887e+04
6	D-30 12	2.5681e+03	4.8926e+03	3.2537e+04
7	D-30 15	2.0985e+03	4.0080e+03	2.6612e+04
8	D-30 16	1.7015e+03	3.2505e+03	2.1579e+04
9	D-30 17	2.8310e+03	4.4363e+03	3.1489e+04
10	D-30 19	1.5168e+03	2.8967e+03	1.9234e+04

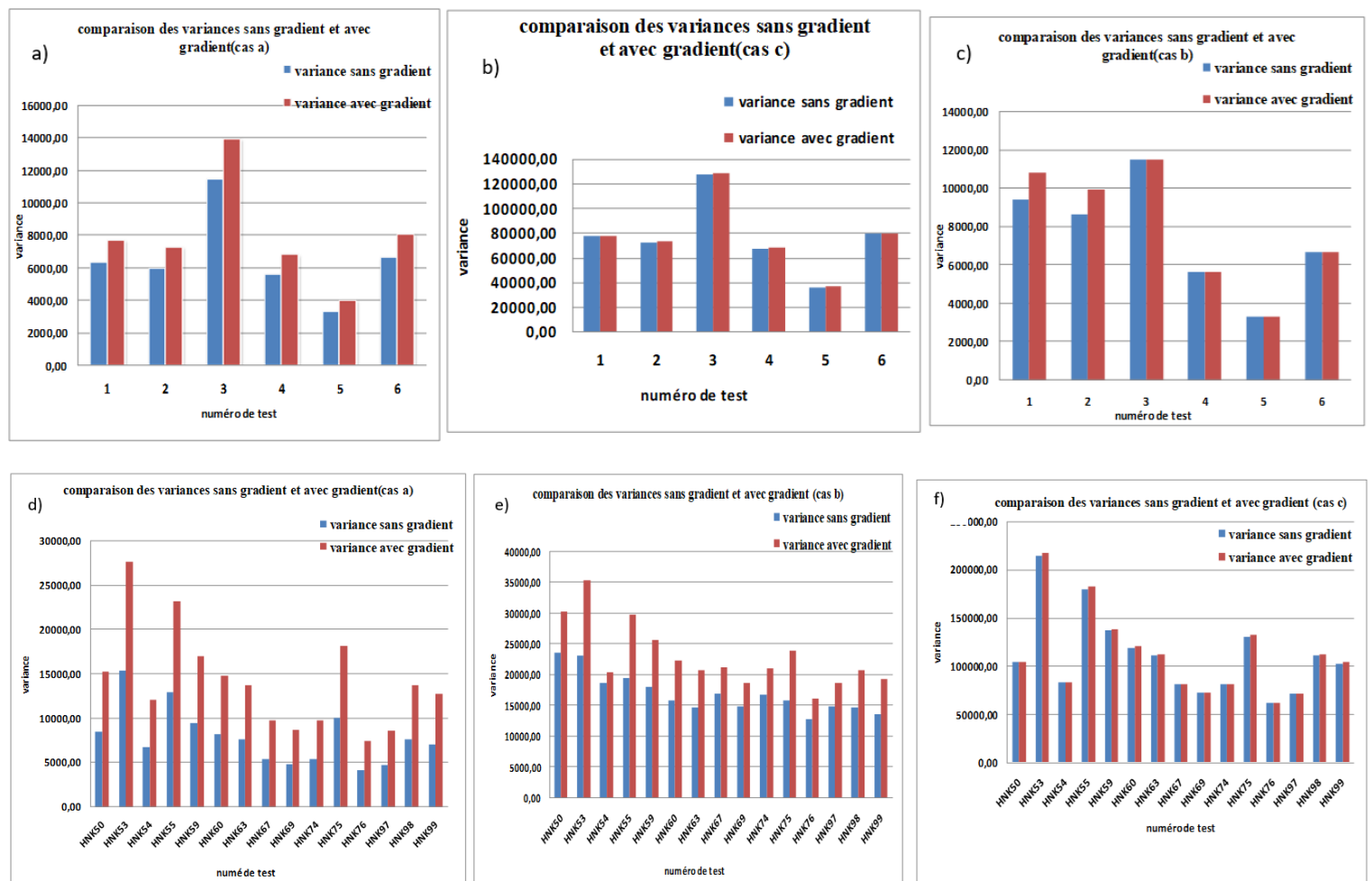
3.2 DISCUSSION

Pour montrer clairement l'effet du gradient de contrainte, nous avons tracés les histogrammes selon les résultats du tableau 2 et 3 (voir figure. 4).

Si nous considérons le premier type de matériau d'acier au carbone, la figure. 4 a), b) et c) montre une forte variation de la variance au cas a) comparativement aux deux autres cas.

Pour le second type de matériau à Hardened steel, la figure. 4 d), e) et f) montre une forte variation de la variance au cas a) comparativement aux deux autres cas.

La figure. 4 g), h) et i) montre une forte variation de la variance au cas a) comparativement aux deux autres cas pour un matériau duralumin.



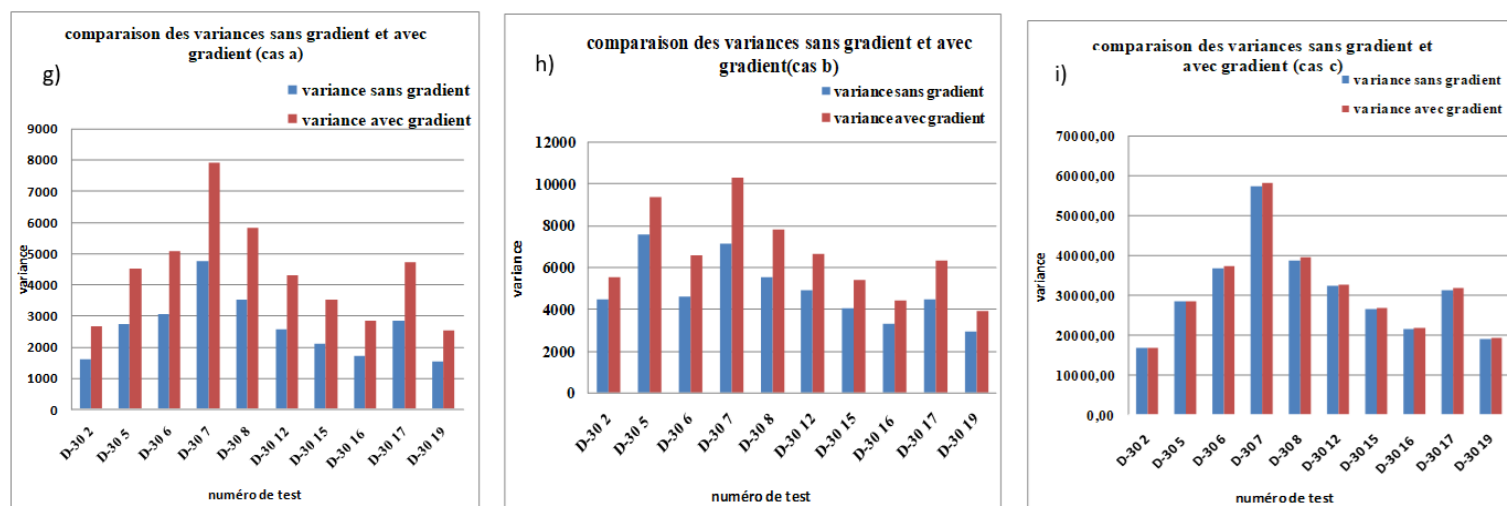


Fig. 4. Comparaison des valeurs des variances avec et sans gradient de contrainte

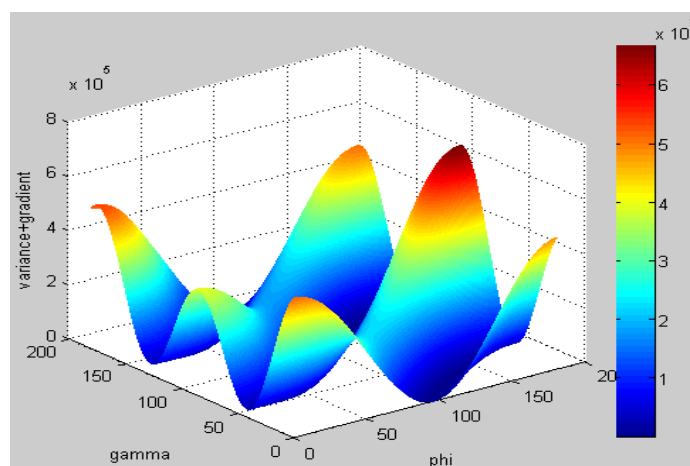


Fig. 5. Méthode de variance proposée cas c

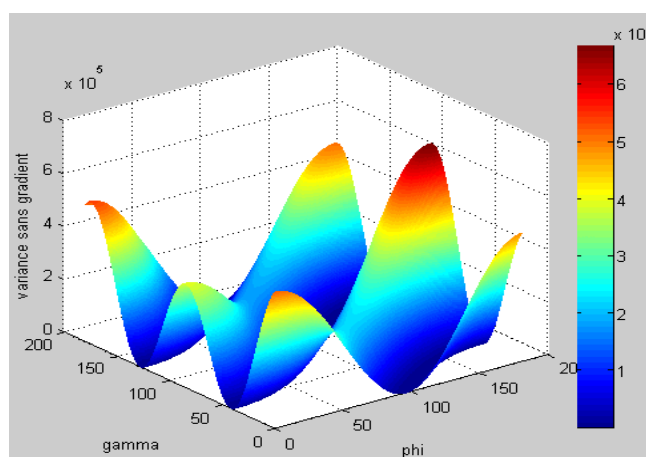


Fig. 6. Méthode de variance sans gradient cas c

4 CONCLUSION

Nous pouvons affirmer que l'objectif principal de notre étude qui est « la prise en compte du gradient de contrainte dans le critère de l'approche statistique (méthode variance) » est atteint.

La figure. 4 a), b), c), d), e), f), g), h), i) nous permet d'affirmer l'effet bénéfique du gradient de contrainte et les figures 5 et 6 montrent que le gradient de contrainte n'influence pas tellement sur le plan de rupture.

REFERENCES

- [1] Macha, E. et Nieslony, A., (2012). Critical plane fatigue life models of materials and structures under multiaxial stationary random loading: The state-of-the-art in Opole Research Centre CESTI and directions of future activities. *International Journal of Fatigue*, 39, pp.95-102.
- [2] Rotvel F., (1970), Biaxial fatigue tests with zero mean stresses using tubular specimens, *Int. J. of Mech. Sc.*, Pergamon Press, vol. 12, pp.597-615. [5] Ngargueudedjim, K., (2003). Contribution à l'étude des lois d'endommagement en fatigue. *Thèse, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon*.
- [3] Nishihara T. and Kawamoto M., (1945), The strength of metals under combined alternating bending and torsion with phase difference, *Memoirs of the College of Engineering, Kyoto Imperial University*, vol. XI, n° pp.95-112.
- [4] Weber, B., (1999). fatigue multiaxiale des structures industrielles sous chargement quelconque (doctoral dissertation, Lyon, insa).
- [5] Achteik et al., (1994). May. Fatigue life of 10 HNAP steel under synchronous random bending and torsion. In *Fourth International Conference on Biaxial/Multiaxial Fatigue* (Vol. 1, pp. 421-434).
- [6] Lachowicz, et al., (1992). Covariance between components of biaxial stress state in fatigue life calculations. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 23 (6), pp.201-212.
- [7] Macha, E., (1989). Simulation investigations of the position of fatigue fracture plane in materials with biaxial loads. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 20 (5), pp.153-163.
- [8] Macha, E., 1989. Generalization of Fatigue Failure Criteria for Multiaxial Sinusoidal Loadings in the Range of Random Loadings. In *ICBMFF2*.
- [9] Bedkowski, W. et Macha, E., (1987). Maximum normal stress fatigue criterion applied to random triaxial stress state. *Theoretical and applied fracture mechanics*, 7 (2), pp.89-107.
- [10] Bedkowski et al., (1997). On the Prediction of the Fracture Plane Orientation in Multiaxial Fatigue. In *ICBMFF5*.
- [11] Bedkowski, W., 1994. Determination of the critical plane and effort criterion in fatigue life evaluation for materials under multiaxial random loading. Experimental verification based on fatigue tests of cruciform specimens. *Société Française de Métallurgie et de Matériaux (France)*, pp.435-447.
- [12] Bedkowski, W. et Macha, E., (1992). Fatigue fracture plane under Multiaxial Random.
- [13] Loadings—prediction by variance of equivalent stress based on the maximum shear and normal stresses. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 23 (3), pp.82-94.
- [14] Bertin Désiré Soh Fotsing, (2000). Modélisation des structures anisotropes à la fatigue: application au matériau bois. *Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé, Spécialité: Mécanique*.
- [15] Fogue, M., (1987). Critère de fatigue a longue durée de vie pour des états multiaxiaux de contraintes sinusoïdales en phase et hors phase (Doctoral dissertation, Lyon, INSA).
- [16] Jabbado, M., (2006). Fatigue polycyclique des structures métalliques: durée de vie sous chargements variables (Doctoral dissertation, Ecole Polytechnique X).
- [17] KENMEUGNE Bienvenu (1996). Contribution à la modélisation du comportement en fatigue sous sollicitation multiaxiale d'amplitude variable. INSA de Lyon France.

Diversité floristique de la périphérie ouest de la forêt classée de Badénou (Korhogo, Côte d'Ivoire)

[Floristic diversity of the western periphery of the Badénou classified forest (Korhogo, Côte d'Ivoire)]

Kone Dofoungo^{1,2}, Pagny Franck Placide Junior³, Coulibaly Siendou³, and Wandan Eboua Narcisse²

¹Institut de Gestion Agropastorale, Université Peleforo GON COULIBALY, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

²Laboratoire Sciences, Société et Environnement, Institut National Polytechnique Félix HOUPOUËT-BOIGNY, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

³Unité de Formation et de Recherche Agroforesterie, Université Jean Lorougnon GUEDE, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: This study was conducted in the Badénou protected forest, at the periphery and nearby the villages of Tiébila and Nafoun. The Badénou classified forest is exposed to imminent deforestation by local populations. This study aims to determine the floristic diversity of the western peripheral part of this forest. The data was collected using floristic inventories. Floristic diversity was assessed by determining species richness, number of genera and families, Shannon-Weaver diversity and Pielou equitability indices. The study identified 243 species grouped into 161 genera and 60 families. This flora contains 147 herbaceous species grouped into 92 genera and 34 families. The woody species, numbering 96, belong to 72 genera and 30 families. The Shannon-Weaver diversity index (3.76) showed an average diversity of woody flora. The Pielou equitability index (0.82) reflects an almost equitable distribution of woody individuals between species. The results of this study contributed to take stock of the flora of this forest.

KEYWORDS: floristic diversity, classified forest, Badénou, Poro region, Côte d'Ivoire.

RESUME: Cette étude a été conduite au niveau de la forêt classée de Badénou, en périphérie et à proximité des villages riverains de Tiébila et Nafoun. La forêt classée de Badénou est exposée à des risques imminents de déforestation par les populations riveraines. Cette étude a pour objectif de déterminer la diversité floristique de la partie périphérique Ouest de cette forêt. Les données ont été collectées à l'aide d'inventaires floristiques. La diversité floristique a été évaluée en déterminant la richesse spécifique, le nombre de genres et de familles, les indices de diversité de Shannon - Weaver et d'équitabilité de Pielou. L'inventaire a permis de recenser 243 espèces réparties en 161 genres et 60 familles. Cette flore renferme 147 espèces herbacées se regroupant en 92 genres et 34 familles. Les espèces ligneuses, au nombre de 96, appartiennent à 72 genres et 30 familles. L'indice diversité de Shannon - Weaver (3,76) a montré une diversité moyenne de la flore ligneuse. L'indice d'équitabilité de Pielou (0,82) traduit une répartition presque équitable des individus ligneux entre les espèces. Les résultats de cette étude ont contribué à la réalisation de l'état des lieux de la flore de cette forêt.

MOTS-CLEFS: diversité floristique, forêt classée, Badénou, région du Poro, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Les forêts sont des écosystèmes d'une grande importance pour l'humanité [1]. En Côte d'Ivoire, pays de l'Afrique de l'Ouest, elles contribuent au développement socio-économique de diverses manières. D'abord, elles sont le support de la création de milliers d'emplois dans l'industrie du bois d'œuvre et d'ébénisterie, du bois énergie et dans l'écotourisme [2], [3], [4]. Ensuite, elles contribuent

au maintien des conditions pédoclimatiques nécessaires au développement de certaines cultures telles que le cacaoyer, le palmier à huile, l'hévéa [3]. De plus, les forêts fournissent aux populations riveraines des Produits Forestiers Non-Ligneux abondamment utilisés dans l'alimentation, le traitement de pathologies humaines et animales, la production d'attributs culturels comme les masques, les tam-tams, les flûtes [5], [6], [7], [8]. En outre, les forêts sont des réservoirs de biodiversité permettant la création de sols fertiles, la fixation du carbone, l'épuration de l'air et de l'eau, la pollinisation [9]. Enfin, les forêts jouent un rôle important dans la préservation de l'identité culturelle des peuples. En effet, les forêts ont toujours été pour les différentes ethnies de la Côte d'Ivoire des lieux privilégiés pour l'expression et la perpétuation de leurs pratiques culturelles. De ce fait, dans la plupart des localités, il existe des forêts sacrées ou bois sacrés [10]. Au regard de cette importance multidimensionnelle des forêts, tout le monde devait œuvrer pour leur conservation. Paradoxalement, la couverture forestière de la Côte d'Ivoire a considérablement régressé au fil des années. La superficie des forêts ivoiriennes est passée de 7 850 864 ha en 1990, soit 24% du territoire national à 3 401 146 ha en 2015, représentant 11% du territoire national [11]. Sur cette période de 25 ans, la Côte d'Ivoire a perdu plus de la moitié de sa surface forestière. Les forêts ivoiriennes sont donc en danger. La déforestation en Côte d'Ivoire est due principalement aux actions anthropiques [12], [13], [14]. L'expansion de l'agriculture, avec une contribution de 62 % à ce phénomène, en est la principale cause [15].

Dans la région du Poro située dans le Nord de Côte d'Ivoire, la forêt classée de Badénou était l'une des rares forêts classées à avoir un bon niveau de conservation [16]. Mais ces dernières années, cette forêt classée est exposée à des risques imminents de déforestation par ses populations riveraines pour la pratique de l'agriculture. Malgré toutes les dispositions réglementaires, cette forêt classée est très convoitée par les populations paysannes qui usent de procédures illégales pour l'infiltrer [17]. Il est donc urgent de proposer des solutions pour sauvegarder cette forêt et sa biodiversité. Pourtant, l'une des premières étapes dans une démarche visant la préservation de la biodiversité consiste à faire l'état des lieux des sites ciblés. C'est dans ce contexte que la présente étude a été menée avec pour objectif de déterminer la diversité floristique de la partie périphérique ouest de la forêt classée de Badenou. Cette étude est également une étape préliminaire pour le développement d'une chaîne de valeur du miel au profit la conservation de la forêt classée de Badenou.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

L'étude a été conduite dans la forêt classée de Badénou située dans la partie septentrionale de la Côte d'Ivoire entre les longitudes 5° 32' 06" et 5° 49' 67" Ouest et les latitudes 9° 41' 63" et 9° 51' 63" Nord [18]. Cette forêt qui couvre une superficie de 26 980 ha se situe dans le Sud-Est de la Sous-préfecture de M'bengué et le Sud de la Sous-préfecture de Diawala. Les relevés floristiques ont été effectués dans la partie périphérique de cette forêt classée, à proximité des villages de Tiébila et Nafoun (Fig. 1). Ces sites ont été choisis pour leur proximité géographique avec les deux villages. Cette zone se trouve dans le secteur phytogéographique soudanais de la Côte d'Ivoire. La végétation naturelle est ainsi essentiellement constituée de savanes arborées et arbustives, de savanes boisées, de forêts claires et de galeries forestières le long des cours d'eau [19]. Le régime climatique est de type soudanais caractérisé par une saison sèche longue de sept mois (novembre à mai), avec une période d'harmattan (de décembre à février) et une saison pluvieuse de juin à octobre avec un maximum pluviométrique en août [20]. Selon le recensement général de la population et de l'habitat de 2014, les villages de Tiébila et Nafoun sont peuplés respectivement de 965 et 1304 habitants [21].



Fig. 1. *Situation de la zone d'étude*

2.2 MATERIEL

La réalisation de cette étude a nécessité l'utilisation de matériel biologique et de matériel technique.

Le matériel biologique est composé de l'ensemble des espèces de plantes présentes dans les deux aires d'observation et identifiées aussi bien sur le terrain que dans l'herbier du Centre Suisse de Recherches Scientifiques (CSRS) en Côte d'Ivoire.

Le matériel technique comprend:

- Un GPS, pour la localisation des différentes aires d'observation et des placettes d'inventaire;
- Un décamètre de 100 m et des jalons, pour la délimitation des placettes;
- Un sécateur, pour la récolte des échantillons de plantes;
- Des sangles, des cartons et des papiers journaux, pour le pressage et le séchage des échantillons de plantes;
- Des fiches de relevés floristiques, pour le report des observations;
- Une loupe binoculaire et d'anciens échantillons de plantes déposés à l'herbier du Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire pour l'identification des plantes au laboratoire.

2.3 COLLECTE DES DONNEES

2.3.1 DISPOSITIF DE COLLECTE DES DONNEES

Deux sites d'inventaire ont été délimités dans la partie périphérique de la forêt classée, à proximité des villages de Nafoun et Tiébila. Chaque site d'inventaire est un cercle de diamètre 1 km correspondant à une superficie de 78,5 ha (Fig. 2). Ainsi, la superficie totale des deux sites d'inventaire est de 157 ha.

Pour l'inventaire floristique, la méthode des relevés de surface a été adoptée en réalisant à l'intérieur de chaque site d'inventaire 20 placettes rectangulaires de 20 m x 25 m (soit 500 m²) distantes les unes des autres de 200 m (Fig. 2). Ce dispositif a déjà été utilisé dans des études similaires au Bénin et en Côte d'Ivoire [22], [23].

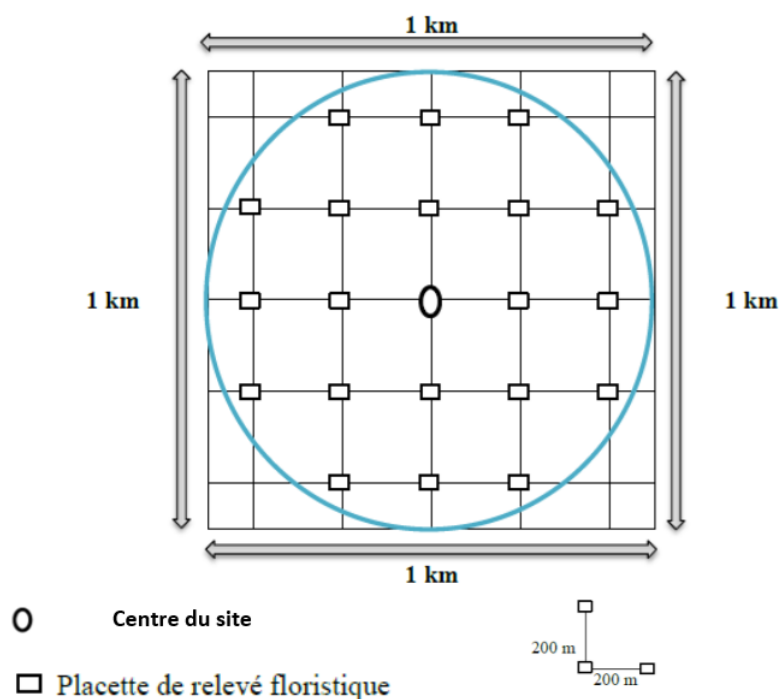


Fig. 2. Répartition des placettes de relevés floristiques dans un site d'inventaire

2.3.2 INVENTAIRE FLORISTIQUE ET IDENTIFICATION DES ESPECES

L'inventaire floristique a concerné aussi bien les plantes ligneuses que les plantes herbacées. Les plantes ligneuses étant pérennes, leurs relevés floristiques ont été réalisés une seule fois en décembre 2017. Pour ces espèces, le diamètre hauteur de poitrine (à 1,30 m du sol) de chaque individu a été noté. Le diamètre minimal pour que l'individu soit pris en compte dans l'inventaire était de 3 cm.

La plupart des plantes herbacées étant annuelles, leurs relevés floristiques ont été effectués pendant une année de décembre 2017 à novembre 2018 avec une fréquence mensuelle.

Les échantillons de plantes récoltés ont été acheminés dans l'herbier du Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire (CSRS) pour l'identification.

La nomenclature botanique des espèces utilisée est celle de la base de données en ligne des plantes d'Afrique (<http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa/>). La répartition des espèces dans les familles a été faite selon la classification phylogénétique [24].

2.4 ANALYSE DES DONNEES

Les fiches de relevés floristiques ont été dépouillées manuellement. Les données ainsi obtenues ont été saisies dans une feuille de calcul du logiciel EXCEL 2013. Des rapports de tableau croisé dynamique ont été utilisés pour fournir les informations sur la diversité floristique.

Les paramètres utilisés pour évaluer la diversité floristique sont la richesse spécifique, le nombre de genres, le nombre de familles, l'indice de Shannon et l'indice de Piéluou.

La richesse spécifique d'un milieu est définie comme l'ensemble de toutes les espèces végétales rencontrées dans ce milieu, quelle que soit leur abondance et leur niveau de participation à la structure [25], [26].

La richesse spécifique, le nombre de genres et le nombre de familles constituent généralement les premiers paramètres d'évaluation de la diversité floristique. Mais, seuls, ils ne permettent pas une analyse pertinente de la diversité car ils ne prennent pas en compte la distribution des individus au sein des taxons présents. C'est pourquoi, les indices de Shannon (H') et de Piéluou (EH') ont été utilisés. Ces indices ont été déterminés en prenant compte les espèces ligneuses uniquement.

L'indice de Shannon (H') s'exprime par la formule suivante:

$$H' = -\sum p_i \ln p_i \quad (1)$$

Où $\ln$ est le logarithme népérien, $p_i = n_i/N$, avec n_i le nombre d'individus de l'espèce i et N la somme des n_i .

Selon la référence [22], la diversité est faible lorsque H' est inférieur à 3, élevée quand H' est supérieur à 4 et moyenne si H' est compris entre 3 et 4.

Quant à l'indice de Piélou (EH'), il est défini par la formule:

$$EH' = H' / \ln R \quad (2)$$

Où H' désigne l'indice de Shannon, $\ln$ le logarithme népérien et R la richesse spécifique.

Selon la référence [1], la valeur de l'indice de Piélou est comprise entre 0 et 1. Elle est égale à 1 lorsque les individus sont équitablement répartis entre les espèces rencontrées dans la parcelle. Elle tend vers 0 quand la quasi-totalité des individus appartient à la même espèce [27].

3 RESULTATS

3.1 DIVERSITE FLORISTIQUE

Les Figures 3 à 6 présentent quelques espèces végétales herbacées présentes dans la périphérie ouest de la forêt classée de Badénou. Il s'agit de *Chromolaena odorata*, *Croton hirtus*, *Euphorbia heterophylla* et *Hyptis suaveolens*. Quant aux Figures 7 et 8, elles présentent quelques espèces végétales ligneuses recensées dans cette partie de la forêt. Ce sont: *Crossopteryx febrifuga* et *Entada africana*.

La diversité de la flore selon le nombre d'espèces, le nombre de genres et le nombre de familles est résumée dans le figure 8. La flore herbacée est riche de 147 espèces se regroupant en 92 genres et 34 familles. Quant à la flore ligneuse, elle est riche de 96 espèces appartenant à 72 genres et 30 familles. L'ensemble de la flore est riche de 243 espèces se regroupant en 161 genres et 60 familles.

La diversité de la flore ligneuse selon les indices de Shannon (H') et de Piélou (EH') est résumée dans le Tableau 1. La valeur de l'indice de Shannon (3,76) étant comprise entre 3 et 4 témoigne d'une diversité moyenne de la flore ligneuse. Concernant, l'indice de Piélou, la valeur (0,82) est proche de 1 et montre une répartition presque équitable des individus entre les différentes espèces de la flore ligneuse.



Fig. 3. *Chromolaena odorata* (L.) R. M. King & H. Rob. (Asteraceae)



Fig. 4. *Croton hirtus* L'Hér. (Euphorbiaceae)



Fig. 5. *Euphorbia heterophylla* L. (Euphorbiaceae)



Fig. 6. *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. (Lamiaceae)

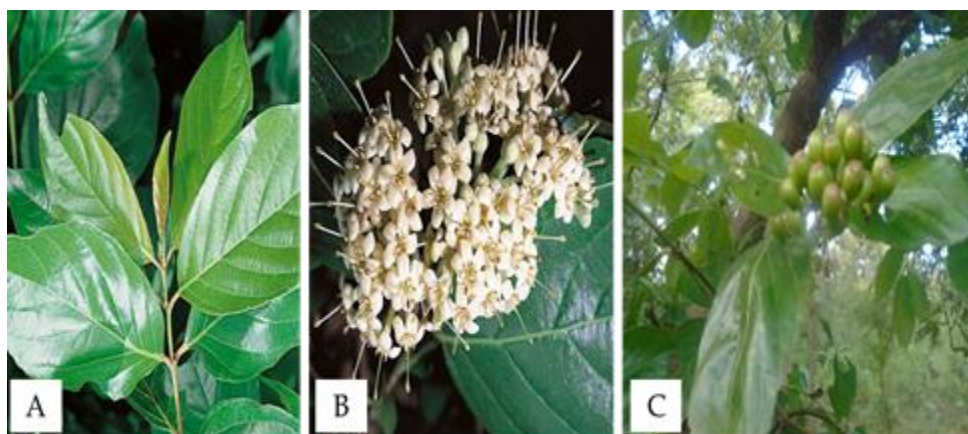


Fig. 7. *Crossopteryx febrifuga* (Afzel. ex G. Don) Benth. (Rubiaceae)
A. Rameux de feuilles ; B. Rameux de feuilles et de fleurs ; C. Rameux de feuilles et de fruits

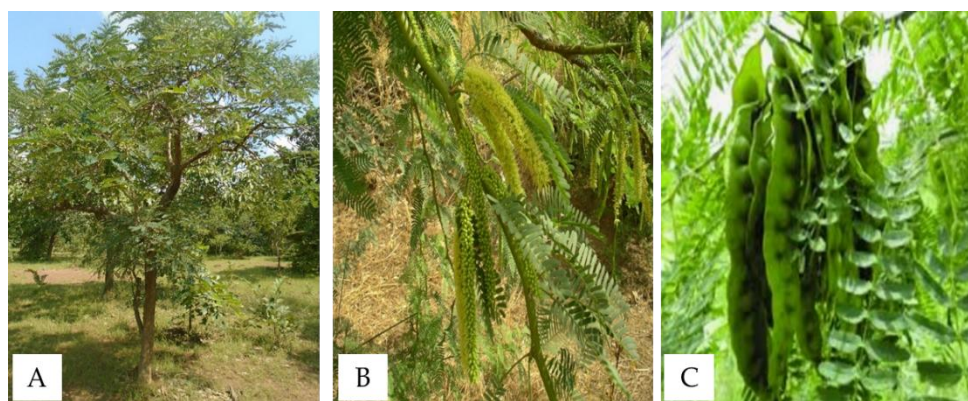


Fig. 8. Diversité de la flore selon le nombre d'espèces, le nombre de genres et le nombre de familles : *Entada africana* Guill. & Perr. (Fabaceae) A. Individu dans son habitat ; B. Rameux de feuilles et de fleurs ; C. Rameux de feuilles et de fruits

Tableau 1. Diversité de la flore ligneuse en fonction des indices de Shannon (H') et de Piélou (EH')

Paramètres de diversité	Composantes de la flore		
	Flore herbacée	Flore ligneuse	Flore herbacée et ligneuse
Nombre d'espèces	147	96	243
Nombre de genres	92	72	161
Nombre de familles	34	30	60

3.2 RICHESSE DES FAMILLES EN ESPECES

Le spectre de répartition des espèces recensées dans les familles botaniques est présenté dans le **Tableau 2**. Les dix familles les plus importantes en termes de nombre d'espèces sont Fabaceae (21,81%), Poaceae (11,52%), Rubiaceae (7,41%), Asteraceae (3,70%), Malvaceae (3,70%), Combretaceae (3,29%), Phyllanthaceae (3,29%), Cyperaceae (2,88%), Apocynaceae (2,47%) et Euphorbiaceae (2,47%). Ces familles renferment 152 espèces, soit 62,55 % de ce niveau taxonomique.

Tableau 2. Spectre de répartition des espèces dans les familles

Paramètres de diversité	Valeurs
Indice de Shannon (H')	3,76
Indices de Piélou (EH')	0,82

*Familles monospécifiques: Amaryllidaceae, Araliaceae, Asclepiadaceae, Balanophoraceae, Celastraceae, Chrysobalanaceae, Connaraceae, Convolvulaceae, Costaceae, Ebenaceae, Gentianaceae, Hypoxidaceae, Loganiaceae, Lythraceae, Myrtaceae, Olacaceae, Opiliaceae, Passifloraceae, Primulaceae, Ranunculaceae, Rutaceae, Sapindaceae, Sapotaceae, Scrophulariaceae, Solanaceae, Taccaceae, Violaceae, Ximeniaceae, Zingiberaceae.

4 DISCUSSION

La flore de la partie périphérique ouest de la forêt classée de Badénou est riche de 243 espèces, dont 96 ligneuses (soit 39,51%) et 147 herbacées (60,49 %). Ainsi, cette flore est caractérisée par une prédominance numérique des espèces herbacées par rapport aux ligneuses. La richesse floristique de 243 espèces est proche de celle de la référence [28] dans la réserve forestière de Ouoghi en zone soudano-guinéenne du Bénin (246 espèces).

Cependant, elle est nettement inférieure à celle de la référence [23] en zone de transition forêt-savane de la Côte d'Ivoire (350 espèces). La différence numérique des espèces végétales inventoriées entre les deux études pourrait s'expliquer par la zone phytogéographique considérée et la composition floristique générale des aires d'observation. Concernant, la prédominance numérique des espèces herbacées par rapport aux ligneuses, la présente étude et celle de la référence [23] convergent. En effet, dans l'étude de la référence [23], la flore herbacée est riche de 229 espèces, soit 65,4% de l'ensemble de la flore.

Les 243 espèces recensées dans la présente étude appartiennent 161 genres et 60 familles. Ces résultats sont proches de ceux de la référence [17] dont les travaux ont été effectués dans la même forêt. Dans l'étude de la référence [17], la flore est riche de 241 espèces appartenant à 184 genres et 53 familles

Les Fabaceae, les Poaceae, les Rubiaceae, les Asteraceae, les Malvaceae, les Combretaceae, les Phyllanthaceae, les Cyperaceae, les Apocynaceae et les Euphorbiaceae constituent les dix familles les plus riches en espèces dans la présente étude. L'importance numérique des espèces appartenant à ces familles semble être une caractéristique générale de la plupart des formations végétales naturelles de l'Afrique de l'Ouest et du Centre [29], [30], [31], [32], [33], [34]. Au niveau de la flore herbacée, la richesse spécifique (147 espèces) de la présente étude est proche de celle de 150 espèces de la référence [35] dans la forêt classée du Haut-Sassandra (Centre-Ouest, Côte d'Ivoire). Quant à la flore ligneuse, la richesse de 96 espèces est nettement inférieure à celle de 121 espèces ligneuses inventoriées par la référence [36] en zone de transition forêt-savane de la Côte d'Ivoire. Toutefois, elle est plus importante que celles des références [37], [38], [39]. Dans la référence [37], 60 espèces ligneuses ont été recensées dans la réserve de Ngazobil (Ouest du Sénégal, climat tropical sec de type soudano-sahélien). Quant à la référence [38], elle mentionne une richesse de 31 espèces ligneuses dans le complexe des forêts classées de Dan Kada Dodo-Dan Gado (Centre-Sud du Niger, climat tropical sec de type sahélien). Concernant la référence [39], elle rapporte 78 espèces ligneuses inventoriées dans la forêt communautaire de la Basse Vallée de l'Ouémé (Sud-Est du Bénin, climat subéquatorial). Les conditions climatiques qui varient d'une zone géographique à l'autre pourraient expliquer ces différences de richesse spécifique.

L'indice de Shannon de la présente étude (3,76) est compris entre 3 et 4 et témoigne d'une flore moyennement diversifiée. Cette valeur est inférieure à celle de 3,93 rapportée par la référence [36] dans la zone de transition forêt-savane de la Côte d'Ivoire et supérieure à celle de 2,34 mentionnée par la référence [38] au niveau du complexe des forêts classées de Dan Kada Dodo-Dan Gado dans le Centre-Sud du Niger.

5 CONCLUSION

La présente étude a eu pour objectif de déterminer la diversité floristique de la partie périphérique Ouest de la forêt classée de Badénou. Les inventaires floristiques ont montré que la flore de cette partie de la forêt est riche de 243 espèces se regroupant en 161 genres et 60 familles. Dix familles, soit 16,67% de ce niveau taxonomique renferment 62,55 % des espèces recensées. La valeur de 3,76 obtenue pour l'indice de Shannon a montré une diversité moyenne de la flore ligneuse. Quant à l'indice de Piélou, sa valeur est de 0,82. Ce qui indique une répartition presque équitable des individus entre les espèces composant la flore ligneuse. Ainsi, la diversité floristique de la partie périphérique Ouest de la forêt classée de Badénou a été déterminée. Ce qui a contribué à la réalisation de l'état des lieux de sa flore.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la Direction Générale de la SODEFOR et son Centre de Gestion de Korhogo pour avoir accepté la réalisation de cette étude dans la forêt classée de Badénou.

REFERENCES

- [1] J. B. Adjakpa, H. Yédomonhan, L. E. Ahoton, P. D. M. Weesie et L. E. Akpo, «Structure et diversité floristique des îlots de forêts riveraines communautaires de la Basse vallée de la Sô au Sud-Est du Bénin, » *Journal of Applied Biosciences*, no. 65, pp. 4902-4911, 2013.
- [2] N. Sako, G. Beltrando, K.L. Atta, N.H. Dibi et T. Brou, «Dynamique forestière et pression urbaine dans le Parc national du Banco (Abidjan, Côte d'Ivoire), » *VertigO*, vol. 13, no. 2, pp. 1-23, 2013.
- [3] K.I. Diezou, «Forêt et industrie en Côte d'Ivoire de 1910 à 1980: Une histoire entre techniques et sociétés, » Thèse de Doctorat, Université Paris I Panthéon Sorbonne Paris (France), 505 p., 2015.
- [4] K.R. Kouadio, *Etat des lieux des acteurs de la filière forêt-bois en Côte d'Ivoire*. Rapport final. ATIBT, Abidjan, Côte d'Ivoire, 50 p., 2020.
- [5] Soro, «Plantes médicinales utilisées dans la lutte contre les parasites gastrointestinaux des petits ruminants: abondance et activité anthelminthique *in vivo*, » Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny (Côte d'Ivoire), 194 p., 2014.
- [6] G.G. Zanh, Y.S.S. Barima, K.A. Kouakou et Y.C. Sangne, «Usages des produits forestiers non-ligneux selon les communautés riveraines de la forêt classée du Haut-Sassandra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire), » *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, vol. 4, no. 5, pp. 212-225, 2016.
- [7] K.A. Kouakou, Y.S.S. Barima, G.G. Zanh, K. Traoré et J. Bogaert, «Inventaire et disponibilité des produits forestiers non-ligneux utilisés par les populations riveraines de la Forêt Classée du Haut-Sassandra après la période de conflits armés en Côte d'Ivoire, » *Tropicultura*, vol 35, no. 2, pp. 121-136, 2017.
- [8] A. Ouayogode, «Etude ethnobotanique, chimique et activités pharmacologiques de plantes et recettes antimalariques de Côte d'Ivoire, » Thèse de doctorat, Université Paris-Saclay (France), 232 p., 2021.
- [9] R. Billé et R. Pirard, *La conservation de la biodiversité dans le cadre de l'aide au développement: une synthèse critique. Analyses n° 01/2007*. Institut du développement durable et des relations internationales (IDDRI), Paris, France, 29 p, 2007.
- [10] N. Gueulou, B. Coulibaly, N.D. Ouattara, A.K. N'guessan, A. Ahoba et A. Bakayoko, «Modes de gestion et efficacité de conservation des reliques de forêts naturelles en zone tropicale sèche: cas du Département de Korhogo (Nord, Côte d'Ivoire), » *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 13, no. 7, pp. 3332-3346, 2019.
- [11] A. Koné, Les émissions liées à l'utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie (UTCATF) et la disparition des forêts: une situation toujours aussi dramatique. Fiche Pays Côte d'Ivoire. UTCATF Côte d'Ivoire, Abidjan, Côte d'Ivoire; 14 p., 2018.
- [12] Y. T. Brou, J. Oszwald, S. Bigot et E. Servat, «Risques de déforestation dans le domaine permanent de l'état en côte d'ivoire: Quel avenir pour ces derniers massifs forestiers ? » *Téledétection*, vol. 5, no. 1-2-3, pp. 105-121, 2005.
- [13] N.J. Kassi, E. Aké-Assi et M.S. Tiébré, «Biodiversité végétale et vitesse de la régénération de la forêt classée de Sanaimbo (Côte d'Ivoire), » *Sciences et Nature*, vol. 7, no. 2, pp. 195-206, 2010.
- [14] M. Koné, K. Kouadio, Y.L. Kouadio, D.F.R. Neuba et D.F. Malan, «Dégradation de la forêt dense humide tropicale, cas de la région de l'Indénié-Djuablin à l'Est de la Côte d'Ivoire, » *Journal of Animal and Plant Sciences*, vol. 21, no. 3, pp. 3324-3338, 2014.
- [15] REDD+ Côte d'Ivoire. *Analyse qualitative des facteurs de déforestation et de dégradation des forêts en Côte d'Ivoire*. Rapport final. REDD+ Côte d'Ivoire, Abidjan, Côte d'Ivoire, 114 p, 2016.
- [16] E. N'guessan, H. D. N'da, M.-F. Bellan et F. Blasco, «Pression anthropique sur une réserve forestière en côte d'ivoire: apport de la télédétection» *Télédétection*, vol. 4, no. 5, pp. 307-323, 2006.
- [17] A.E. Gbozé, O.M.M.A. Adingra, A. Sanogo et J.N. Kassi, «Analyse systématique et phytogéographique de la forêt classée de la Badénou (Korhogo, Côte d'Ivoire), » *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 14, no. 9, pp. 3156-3167, 2020.

- [18] H. K. Yaokokoré-Beibro, B. K. Kassé, O. Soulemane, M. T. Koué-Bi, P. K. Kouassi et K. Foua-Bi, «Ethnozoologie de la faune mammalogique de la forêt classée de Badenou (Korhogo, Côte d'Ivoire), » *Agronomie Africaine*, vol. 22, no. 2, pp. 185-193, 2010.
- [19] Guillaumet, J.-L. et Adjanohoun, E., *La végétation de la Côte d'Ivoire*, In: J. M. Avenard, E. Eldin, G. Girard, J. Sircoulon, P. Touchebeuf, J.-L. Guillaumet, E. Adjanohoun et A. Perraud, (Eds.), *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*, ORSTOM, Paris, France, pp. 157-266, 1971.
- [20] G. Soro, N.M. Koffi, B. Koné, Y.E. Kouakou, K.R. M'bra, P.D. Soro et N. Soro, «Utilisation de produits phytosanitaires dans le maraîchage autour du barrage d'alimentation en eau potable de la ville de Korhogo (Nord de la Côte d'Ivoire): risques pour la santé publique, » *Environnement, Risques & Santé*, vol. 17, no 2, pp. 155-163, 2018.
- [21] INS (Institut National de la Statistique), Recensement Général de la Population et de l'Habitat 2014. Résultats globaux. Secrétariat Technique Permanent du Comité Technique du RGPH, Abidjan, Côte d'Ivoire, 26 p., 2014.
- [22] H. Yédomonhan, «Plantes mellifères et potentialités de production de miel en zones guinéenne et soudano-guinéenne au Bénin, » Thèse de Doctorat, École Doctorale Sciences de la Vie / Université d'Abomey-Calavi (Bénin), 273 p., 2009.
- [23] S. Coulibaly, «Potentialités de production mellifère de la flore de transition forêt-savane, en zone guinéenne et caractérisations pollinique et physico-chimique de quelques miels de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'ouest), » Thèse de Doctorat, UFR Biosciences/ Université Félix Houphouët-Boigny d'Abidjan (Côte d'Ivoire), 194 p., 2014.
- [24] APG IV, «An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants, » *Botanical Journal of the Linnean Society*, no. 181, pp. 1-20, 2016.
- [25] B. S. Bouko, B. Sinsin et B. G. Soulé, «Effets de la dynamique d'occupation du sol sur la structure et la diversité floristique des forêts claires et savanes au Bénin, » *Tropicultura*, vol. 25, no. 4, pp. 221-227, 2007.
- [26] R.I.E. Koutchika, V.K. Salako, P.O. Agbani, D.C. Chougourou et B. Sinsin, «Étude écologique et diversité des bois sacrés des Communes de Glazoué- Savè-Ouessè au Bénin, » *Journal of Animal and Plant Sciences*, vol. 21, no. 3, pp. 3313-3323, 2014.
- [27] I. Yabi, B.F. Yabi et S. Dadeignon, «Diversité des espèces végétales au sein des agro-forêts à base d'anacardier dans la commune de Savalou au Benin, » *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 7, no. 2, pp. 696-706, 2013.
- [28] S.T.B. Ahouandjinou, H. Yédomonhan, G.M. Tossou, A.C. Adomou et A. Akoegninou, «Diversité des plantes mellifères de la zone soudanienne: cas de la forêt classée des collines de Kouandé, Nord-Ouest du Bénin, » *Afrique Science*, vol. 13, no. 6, pp. 149-163, 2017.
- [29] P. Martin, «Influence de la fragmentation forestière sur la régénération des espèces arborées dans le Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire,» Thèse de doctorat, Université de Genève (Suisse), 306 p., 2008.
- [30] D. Marra, B. Komlan, A.G. Kudzo, B. Ronald, B.D. Foucault et A. Koffi, «La flore des forêts claires à *Isoberlinia* spp. en zone soudanienne au Togo, » *Acta Botanica Gallica*, vol. 159, no. 4, pp. 395-409, 2012.
- [31] M.-S. Tiébré, D. Ouattara, B.T.A. Vroh, A. Gnagbo et K.E. N'guessan, «Diversité floristique et disponibilité des plantes utilitaires en zone soudanienne de la Côte d'Ivoire, » *Journal of Applied Biosciences*, no. 102, pp. 9699-9707, 2016.
- [32] A. Kikufi, J. Lejoly et F. Lukoki, «État actuel de la biodiversité végétale du territoire de Kimvula au Sud-Ouest de la République Démocratique du Congo, » *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 19, no. 4, pp. 929-943, 2017.
- [33] Z.S. Yéo, Y.C. Sangne, Y.S.S. Barima, I. Bamba et K.A. Kouakou, «Diversité floristique et structure des fragments forestiers du Sud-Ouest du Parc National de la Comoé après les conflits des années 2000 en Côte d'Ivoire, » *European Scientific Journal*, vol. 13, no. 2, pp. 421-439, 2017.
- [34] A.E. N'guessan et K.J. N'dja, «Analyse de la diversité floristique de la forêt classée d'Agbo I (Côte d'Ivoire), » *European Scientific Journal*, vol. 14, no. 9, pp. 346-357, 2018.
- [35] D.T. Etien, B.T.A. Vroh, Y.C.Y. Adou et K.E. N'guessan, «Diversité des espèces herbacées et lianescentes de la forêt classée du Haut-Sassandra (Centre-Ouest, Côte d'Ivoire) après plusieurs années d'exploitation forestière, » *European Scientific Journal*, vol. 14, no. 18, pp. 247-263, 2018.
- [36] S. Coulibaly, D. Ouattara, T. T. Edorh, C. M. M. Koudegnan et K. Kamanzi, «Diversité et configuration de la flore ligneuse autour d'un rucher en zone de transition forêt-savane de la Côte d'Ivoire), » *European Scientific Journal*, vol. 9, no. 6, pp. 227-239, 2013.
- [37] C. D. Diatta, M. Gueye, S. Koma et L. E. Akpo, «Diversité de la flore et de la végétation ligneuses de la réserve de Ngazobil (Joal-Fadiouth) au Sénégal, » *Journal des Sciences*, vol. 9, no. 3, pp. 1-13, 2009.
- [38] H. Abdourhamane, B. Morou, H. Rabiou et A. Mahamane, «Caractéristiques floristiques, diversité et structure de la végétation ligneuse dans le Centre-Sud du Niger: cas du complexe des forêts classées de Dan kada Dodo-Dan Gado, » *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 7, no. 3, pp. 1048-1068, 2013.
- [39] R.K.F.M. Ali, J. Odjoubere, A.B.H. Tente et A.B. Sinsin, «Caractérisation floristique et analyse des formes de pression sur les forêts sacrées ou communautaires de la Basse Vallée de l'Ouémé au Sud-Est du Bénin, » *Afrique Science*, vol. 10, no. 2, pp. 243- 257, 2014.

Relation entre les fronts redox et la minéralisation en contexte «Ouest flexure» (Bassin de Tim Mersoï, Nord Niger)

[Relationship between redox fronts and mineralization in a «West flexure» context (Tim Mersoï basin, North Niger)]

Abdoulwahid Sani¹, Mahamane Moustapha Sanda Chékaraou², Karimou Dia Hantchi³, and Moussa Konaté⁴

¹Université d'Agadez, Ecole Nationale d'Ingénierie et des Sciences d'Energies, Département d'Energies Fossiles, Niger

²Université Djibo Hamani de Tahoua, Faculté des Sciences de l'Education, Département de Didactique des Disciplines, Niger

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

⁴Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des Sciences et techniques, Département de Géologie, Niger

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

ABSTRACT: This research work focuses on the redox map of the Akola West sector. In this sector of Arlit, at the Akola level, uranium mineralization is hosted in the Guezouman, which is an originally reduced sedimentary formation. The presence of oxyhydroxides highlighted in this formation at the Akola West sector is evidence of the oxidized fluids flows. The mapping of the distribution of the different redox parameters has allowed the existence of redox fronts to be highlighted. The analysis and interpretation of these results also allowed us to highlight the factors that controlled the mineralization in the Akola West sector. These include: tectonic, lithostratigraphic, paleogeographic, redox facies and fluid circulation. To this end, a hypothesis on fluid circulation has been proposed for this sector.

KEYWORDS: Akola West, Redox parameters, Tim Mersoï Basin, Uranium Mineralization, Roll fronts redox.

RESUME: Ce travail de recherche porte sur la carte des paramètres d'oxydoréduction du secteur d'Akola Ouest. Dans ce secteur d'Arlit, au niveau d'Akola, les minéralisations uranifères sont encaissées dans le Guezouman qui est une formation sédimentaire originellement réduite. La présence des oxyhydroxydes mise en évidence dans cette formation au niveau du secteur d'Akola Ouest témoigne de la circulation des fluides oxydés. La cartographie de répartition des différents paramètres redox réalisée a permis de mettre en évidence l'existence des fronts d'oxydoréduction. L'analyse et l'interprétation de ces résultats ont aussi permis de mettre en évidence les facteurs ayant contrôlés la minéralisation au niveau de ce secteur d'Akola Ouest. Il s'agit entre autres: d'un contrôle tectonique, lithostratigraphique, paléogéographique, faciès redox et la circulation des fluides. A cet effet une hypothèse sur la circulation des fluides a été proposée pour ce secteur.

MOTS-CLEFS: Akola Ouest, paramètres redox, Bassin de Tim Mersoï, Minéralisations uranifères, fronts redox.

1 INTRODUCTION

Les ressources minérales constituent l'une des bases de la civilisation. Depuis le paléolithique (ou l'âge de la pierre taillée) jusqu'aux recherches actuelles visant des nouvelles substances minérales, elles n'ont cessé d'être non seulement le moteur de

l'économie mondiale mais également la source du progrès social de l'humanité. Ces ressources sont présentes dans tous les secteurs d'activité de l'homme: De nos constructions à nos moyens de transport en passant par nos instruments de travail. En dehors de leur utilisation dans les différentes sphères de vie de l'homme, elles demeurent l'un des principaux enjeux économiques et géopolitiques.

De nos jours, ce sont surtout le pétrole et l'uranium qui requièrent l'attention de tous. Au vu du caractère non renouvelable de ces ressources, il paraît incontournable de développer des nouvelles techniques d'exploration afin de mettre en évidence des nouveaux gisements. Aujourd'hui, pour réussir les campagnes d'exploration il est primordial de mettre en évidence des nouvelles méthodes pouvant permettre la découverte des gisements complexes. C'est dans cette optique que les compagnies minières menant leurs activités au Niger ont entrepris des nouvelles démarches avec l'utilisation des paramètres redox pour l'exploration de l'uranium. Au Niger, la découverte de ce métal remonte à 1958 à l'époque où le BRGM entreprenait des prospections pour le cuivre dans la région d'Azelik. Depuis fort longtemps il a été établi que les principales formations minéralisées du Niger sont: les formations carbonifères et permienues. Lors de la découverte de ces gisements du Niger, il était considéré que les concentrations de l'uranium à caractère détritique et sont situées à l'Est de la flexure-faille d'Arlit. Aujourd'hui, avec les nouveaux travaux sur le secteur d'Akola Ouest, il a été mis en évidence l'existence des nouveaux gisements à l'Ouest de cette grande structure régionale. Ce travail de recherche vise la compréhension du modèle métallogénique des gisements d'uranium mis en évidence en contexte Ouest flexure: Cas du secteur d'Akola Ouest.

Pour atteindre cet objectif, une approche multi technique a été mise en œuvre. Elle comprend:

Pour atteindre cet objectif, une approche multi technique a été mise en œuvre. Elle comprend:

- La synthèse bibliographie,
- Les travaux de terrain,
- La réalisation et l'interprétation des cartes de répartition des paramètres redox.

2 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

L'approche méthodologique utilisée dans le cadre de cette étude comprend:

- Les travaux de terrain comprenant la description des échantillons de cuttings et de carottes;
- Les travaux de bureau comprenant la réalisation des logs géologiques et diagraphiques, la réalisation des cartes de paramètres redox. Pour réaliser les différentes cartes, les logiciels suivants ont été utilisés: Well-Log, Sermine, MapInfo et SPSS 20.0.

3 CONTEXTE GÉOLOGIQUE

La zone d'étude correspond à la partie Nord du Niger. Du point de vue géologique, elle est constituée de deux grands ensembles:

- Le socle (massif de l'Aïr)
- et la couverture sédimentaire.

3.1 LE MASSIF DE L'AÏR:

Situé au nord du 17^e parallèle, ce massif appartient au vaste ensemble montagneux intensément plissé qu'est le bouclier Touareg. Il constitue l'appendice Sud de la zone polycyclique du Hoggar et s'étend sur 300Km du Nord au Sud et 200Km d'Est en Ouest. Sa structuration est celle d'un anticlinorium présentant des plis isoclinaux penchés vers l'Est [1], [2] and [3]. Il est composé:

- d'un socle précambrien constitué pour moitié par des dépôts de roches sédimentaires intensément plissées et métamorphisées (**catazone**), essentiellement gneiss, leptynites et schistes, et pour moitié par des formations granitiques d'âge précambrien dont: des granites calco-alcalins à deux micas (syntectoniques), des granites leucocrates à microcline (anatectiques) et des granites alcalins (tardi- à post-tectoniques);
- des complexes annulaires composés des granites alcalins à hyperalcalins appartenant à la lignée des "Younger granites" du Niger-Nigéria [4] and [5];
- de complexes annulaires sub-volcaniques d'âges variés, mais antépermien [6] and [7];
- de formations volcaniques tertiaires et quaternaires représentées par des roches basiques à olivine [8].

Du point de vue structural, le massif de l’Air présente des accidents méridiens et sub-méridiens d’origine panafricaine, mais aussi des failles N30°, N70° et N150° [8] (**Fig. 1**). Grâce à leurs jeux, ces deux dernières directions (N70° et N150°) déforment la couverture sédimentaire du bassin de Tim Mersoï en synclinaux, dômes et flexures et orientent les chenaux fluviaux [9].

Au vue de sa position en amont des paléocourants, le massif de l’Air est susceptible d’avoir contribué à l’alimentation du bassin de Tim Mersoï en éléments détritiques, uranium et autres métaux [5], [6].

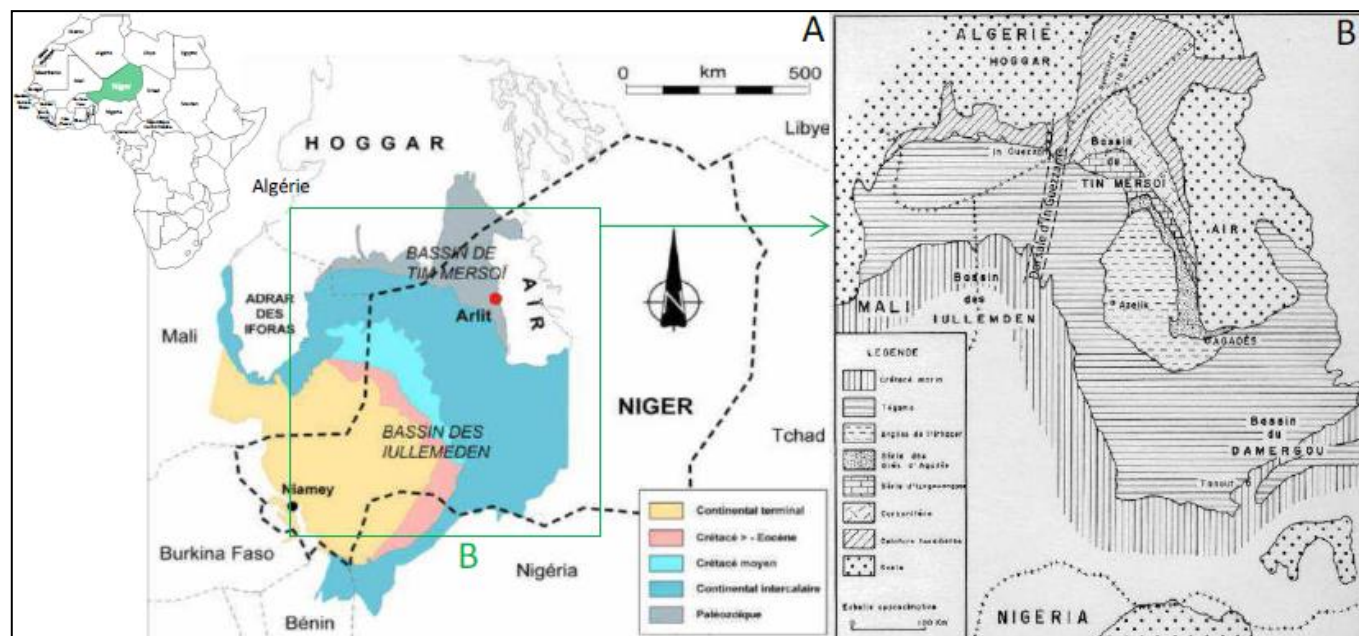


Fig. 1. Localisation du bassin de Tim Mersoï au Niger et de ses limites. Les montagnes du Hoggar et de l’Air et la crête d’In Guezzam [10]. A. Modifié d’après [2], B. Modifié d’après Pacquet [11]

3.2 LES FORMATIONS SÉDIMENTAIRES:

La couverture sédimentaire du Bassin de Tim Mersoï s'étend du Dévonien au Crétacé inférieur (**Figs. 1 et 2**) et peut dépasser les 3000 m de puissance. D'après [12], dans le secteur d'Arlit la sédimentation du Bassin peut être résumée en trois étapes principales. Toutefois, selon [13], dans le Nord du Bassin les sédiments les plus anciens datent du Cambro-ordovicien;

- Du Dévonien supérieur au Permien inférieur, l'environnement de dépôt est de type fluvio-deltaïque à plate-forme continentale. Les apports sédimentaires proviennent du démantèlement des roches cristallines et cristallophylliennes du massif de l'Aïr;
- Du Permien au Jurassique, l'environnement de dépôt est franchement continental, (dépôts de plate-forme), avec des apports détritiques en provenance du S-SW;
- Le Crétacé inférieur est caractérisé par des épandages argileux et argilo-gréseux.

L'approfondissement du milieu de dépôt est en relation avec une sédimentation plus marine au Crétacé inférieur, dans un contexte géodynamique dominé par l'ouverture des grands fossés continentaux. Dans le secteur d'Arilit, les séries sédimentaires présentent sont de la base au sommet:

- La série de Terada qui comprend du plus ancien au plus récent:
 - ✓ La formation de Teragh (100m environ), attribuée au Dévonien supérieur [14] et reposant directement sur le socle. Elle est constituée de grès grossiers conglomératiques, d'argiles et de varves avec des structures d'eskers ou de moraines témoins de l'environnement fluvio-deltaïque des dépôts [2], [12], [15] (**Fig. 2**).
 - ✓ La formation du Talak (100 – 170m environ), rattachée au Viséen [16]. C'est une puissante série sédimentaire argileuse, de tendance marine (brachiopodes) caractérisée par des minces intercalations de grès fins et la présence de niveaux gypsifères et phosphatés au sommet [2] (**Fig. 2**).
 - ✓ L'Unité d'Akokan (UA), formation peu épaisse (30 à 40m environ) reposant sur les argiles sous-jacentes du Talak. Elle est attribuée au Viséen supérieur, caractérisé à l'échelle régionale par des sédiments argilo-silteux de milieux tidaux. Elle a été reconnue dans le secteur minier d'Arlit par un faciès différent [17] (**Fig. 2**).

- La série de Tagora, constituée de quatre mégaséquences de grès et d'argiles qui sont de la base au sommet:
 - ✓ La formation du Guezouman (60-100m), d'âge Viséen à Namurien inférieur, constituée de grès fins à grossiers qui couronnent la falaise d'argilites du Talak ou reposent sur les grès de Teragh au Sud du biseau de celle-ci [12]. Le conglomérat du Teleflak tapisse de façon discontinue la base de la formation du Guezouman (**Fig. 2**).
 - ✓ La formation du Tchinezogue (60m environ), constituée de grès fins et d'argilites et datée du Viséen supérieur au Namurien inférieur [16]. Le sommet de la formation du Tchinezogue est caractérisé par de profondes surfaces de ravinement qui contrôlent la direction des dépôts de la base des grès de Tarat [18], [19] (**Fig. 2**).
 - ✓ La formation du Tarat (50m, du viséen supérieur), constituée de grès moyens à grossiers et d'argilites. La sédimentation du Tarat est caractérisée par d'importantes variations d'épaisseur attribuée par de nombreux auteurs aux jeux synsédimentaires d'accident N-S, N30° et N70° [2], [12], [20] (**Fig. 2**);
 - ✓ La formation de Madaouéla, attribuée au Namuro-Westphalien et constituée par une alternance d'argilites et d'arkoses. Ces alternances sont présentes de façon discontinue à l'Est de la faille d'Arlit et ne dépassent pas 50m d'épaisseur. A l'Ouest de la faille elles sont de l'ordre de 100 à 150 m (**Fig. 2**);
 - ✓ l'Unité d'Arlit, unité très mince (5-15 m) de grès bariolés d'origine lacustre, marquant la transition entre la fin d'un régime fluvio deltaïque du Carbonifère supérieur-Permien inférieur et le début d'un environnement de dépôt franchement continental à partir du Permien (**Fig. 2**).
- Le Continental Intercalaire, constitué par les séries rouges post- Carbonifère, comprend:
 - ✓ La série de l'Izéguande, dont la base correspond à une discordance majeure. Du bas vers le sommet de la colonne stratigraphique on distingue:
 - Les grès de l'Izéguande (110-130 m d'épaisseur), recouvrant à l'échelle régionale les formations du Tarat et de Madaouéla, ainsi que l'unité d'Arlit. Ces grès massifs ont une géométrie monotone, qui contraste avec les dépôts du sommet de la série de Tagora. Leur dépôt est très peu influencé par les structures tectoniques dans la région d'Arlit (cachetage des jeux synsédimentaires du Permien inférieur). Ces grès sont très largement représentés à l'affleurement dans le secteur minier (**Fig. 2**).
 - Les argilites de Téjia (5-20 m), constituant une petite intercalation argileuse entre les grès massif de l'Izéguande et les grès de Tamamaït (**Fig. 2**);
 - Les grès de Tamamaït (30-40 m), grès fins caractérisés par un ciment carbonaté. Cette formation, à la différence de celle de l'Izéguande, constitue une alternance de grès fins et de marnes [12] (**Fig. 2**).
 - La formation du Moradi (50 à 60 m), constituée par une alternance des grès fins et d'argilites, dans lesquels s'intercalent des lentilles de conglomérats carbonatés (**Fig. 2**).
 - ✓ La série d'Aguelal (60 m d'épaisseur), formée par les grès du Téloua I, qui sont des grès fins d'environnement éolien (milieu désertique). Ces derniers préfigurent l'épaisse série gréseuse du groupe d'Agadès, qui comble le bassin au Trias et au Jurassique (**Fig. 2**).
 - ✓ La série de Goufat (130 m d'épaisseur), constituée à la base par des grès feldspathiques (Téloua II), surmontés par des grès bariolés (Téloua III) riches en analcime, puis par un dernier terme argileux contenant des intercalations conglomératiques (Mousseden). La série de Goufat s'est déposée dans un environnement fluvio-lacustre, caractérisé par des apports volcaniques aériens (origine de l'analcime) (**Fig. 2**).
 - ✓ La série de Wagadi (70 m d'épaisseur), déposée au Jurassique, au cours duquel un régime de sédimentation fluviale à fluvio-lacustre perdure. Cette série est toujours caractérisée par l'abondance de matériel volcanique dans la fraction détritique (grès à analcime du Tchirezrine 1 et de l'Abinky) (**Fig. 2**).
 - ✓ La série de Dabla, comprenant la formation des grès arkosiques du Tchirezrine 2 (qui abrite le gisement d'Imouraren) et les argilites de l'Assaouas, situées stratigraphiquement juste au-dessus de la formation du Tchirezrine 2. Ces argilites constituent les premiers dépôts d'une sédimentation d'environnement plus profond au Crétacé supérieur. La formation d'Assaouas constitue un quatrième niveau favorable aux concentrations uranifères (gisement d'Azelik). Ces argiles sont surmontées par les argiles de l'Irhazer (300 m d'épaisseur) (**Fig. 2**).
 - ✓ Le groupe du Tegama (700 m d'épaisseur, Crétacé inférieur) représente les derniers dépôts gréseux fluviaux avant les transgressions marines du Crétacé. Ces puissantes unités se sont étendues sur le bassin des Iullemmeden, le Hoggar et le massif de l'Aïr mais n'affleurent pas dans la région d'Arlit (**Fig. 2**).

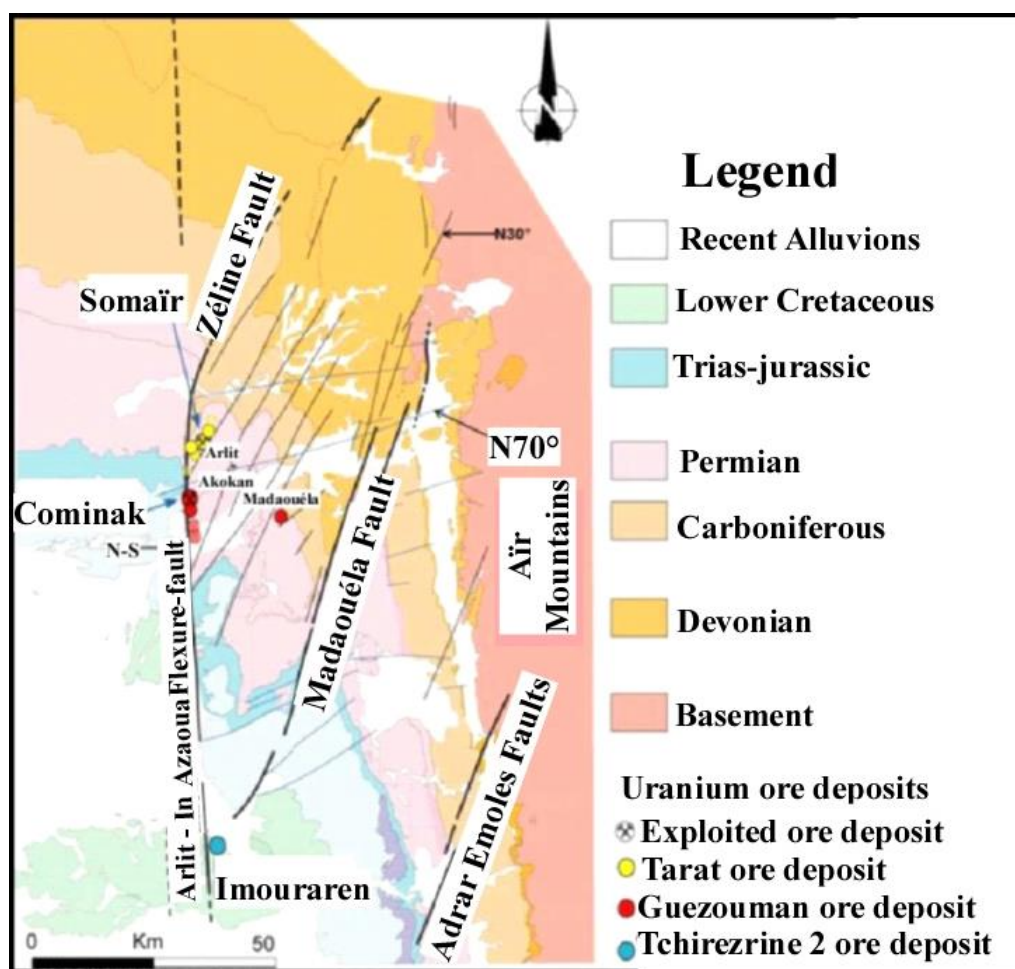


Fig. 2. Geological and structural map of the edge of the Tim Mersoï basin, in the Arlit sector (geology based on the 1: 100,000 "Afasto" map of the CEA; structures: [21], modified), and location of the main economic or sub-economic deposits in the region

4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les principaux résultats comprennent les cartes d'accumulation et de distribution des différents paramètres redox (Matière organique, Sulfures (Pyrite), Carbonates, Oxyhydroxydes de fer). La carte d'accumulation et de répartition de la minéralisation a également été réalisée.

4.1 ACCUMULATION ET DISTRIBUTION DES PARAMETRES REDOX AU NIVEAU

Cartographier l'état d'oxydoréduction d'une formation est à la fois un outil permettant la compréhension de la mise en place de la minéralisation mais aussi, il peut être utilisé comme un guide de prospection. Le tableau. 1 présente le degré d'accumulation des paramètres redox. Il faut noter que pour les sulfures, c'est la pyrite qui a été considérée comme s'est-elle qui est facilement observable à l'œil nu et pour les carbonates, c'est la calcite qui a été évaluée par test à l'acide chlorhydrique dilué à 10%.

Tableau 1. Couleur des paramètres redox en fonction de leur intensité d'accumulation dans les sédiments

Paramètres redox	Matière organique	Pyrite	Carbonates	Oxyhydroxydes
Forte accumulation	Noir	Orange	Bleu foncé	Rouille
Moyenne accumulation	Gris-noir	Jaune-orangé	Bleu	Rouge-orangé
Faible accumulation	Gris	Jaune-vif	Bleu-ciel	Rouge
Absence d'accumulation	Gris-clair	Jaune-clair	Gris	Gris

4.1.1 RÉPARTITION DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

La carte d'accumulation et de répartition de la matière organique (**Fig. 3a**) montre les zones les plus favorables à l'accumulation de ce paramètre. La matière organique est présente en quantité non moins importante au niveau du secteur d'Akola Ouest. Cependant sa répartition est faite de manière disproportionnée. Les parties où l'accumulation de ce paramètre est importante correspondent aux zones à fort potentiel réducteur alors que celles qui ne présentent pas d'accumulation de la matière organique pourraient correspondre aux zones oxydées. Les zones de fortes accumulations de la matière organique vont du faisceau de Tin Adrar jusqu'à l'accident N70° qui lui est sous-jacent. Dans cette zone, l'accumulation suit cet accident N70° d'Est en Ouest et se longe suivant le tracé de la faille d'Arlit. Plus au Sud, les quelques faibles accumulations circonscrites se trouvent au-dessus d'un accident de direction E-W. Les autres zones sont quasiment dépourvues de matière organique.

4.1.2 RÉPARTITION DES SULFURES (PYRITE)

La carte de distribution des sulfures (**Fig. 3b**) montre que ce paramètre a une répartition beaucoup plus spatiale que la matière organique. Cependant les zones de fortes accumulations en pyrite ont tendance à épouser celles de fortes accumulations en la matière organique. Les fortes accumulations vont depuis le faisceau de Tin Adrar jusqu'en dessous du second accident N70° notamment là où un accident N150° lui est sécant. Dans la partie Sud, à proximité de la faille d'Arlit la pyrite est quasi absente avec des très faibles accumulations dans la partie Sud-ouest.

4.1.3 RÉPARTITION DES CARBONATES

En observant la carte de distribution des carbonates (**Fig. 3c**) on peut constater que ce paramètre a une répartition beaucoup plus spatiale que les autres paramètres redox. Presque tout le secteur d'étude contient les carbonates, cependant on constate que la zone Sud est beaucoup plus riche en carbonates (entre les deux accidents E-W). La zone N-W a une accumulation moyenne. Le reste du secteur présente quant à lui des faibles accumulations des carbonates.

4.1.4 RÉPARTITION DES OXYHYDROXYDES

L'observation de la carte de distribution des oxyhydroxydes (**Fig. 3d**) nous permet de voir les zones les plus favorables à l'accumulation de ces derniers. Ce secteur d'Akola Ouest présente un état d'oxydation important. Ces oxyhydroxydes sont accumulés suivant le tracé N-S de la faille d'Arlit notamment en dessous du faisceau de Tin Adrar. En allant de l'Est vers l'Ouest l'état d'oxydation a tendance à diminuer progressivement pour s'annuler à l'extrémité Ouest. Les plus fortes accumulations de ce paramètre se trouvent entre deux accidents de direction E-W dans la zone Sud. L'extrémité Sud présente des accumulations moyennes.

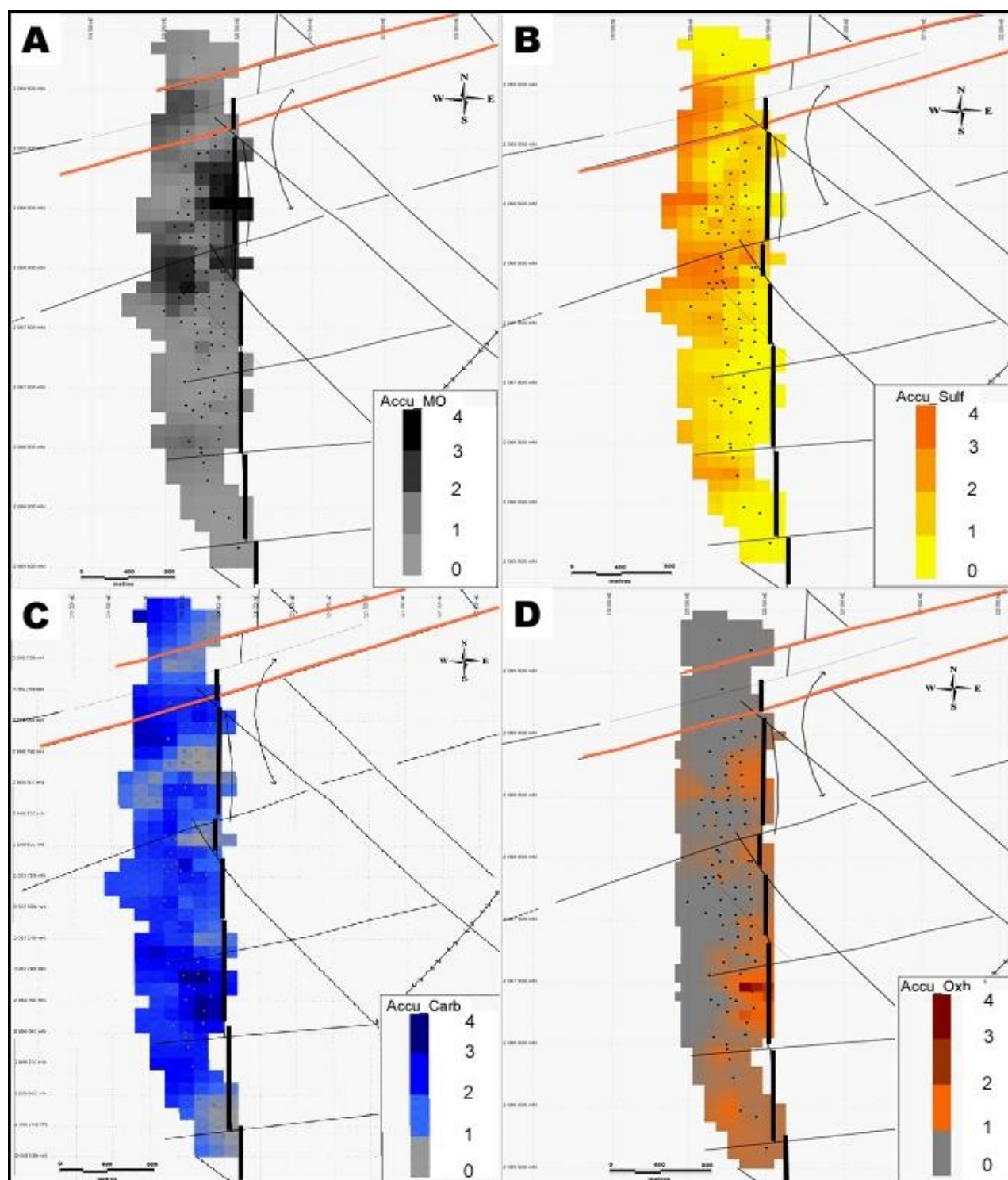


Fig. 3. Cartes montrant la répartition des paramètres redox au niveau du secteur d'Akola Ouest

4.2 CARTE D'ACCUMULATION ET DE DISTRIBUTION DE LA MINÉRALISATION ET SES RELATION AVEC LE PALEOENVIRONNEMENT

Pour ce qui est de l'accumulation radiométrique (Fig. 4a), les couleurs caractéristiques sont:

- Le Rouge qui correspond aux fortes accumulations;
- Le jaune orangé pour les accumulations moyennes;
- Le vert-bleu ciel donne les faibles valeurs d'accumulation;
- Et le bleu foncé qui indique que le secteur est dépourvu d'uranium.

L'analyse et l'interprétation de la distribution de ces paramètres redox permet de dégager les relations qui lient la minéralisation aux fronts redox ainsi que les différentes structures tectoniques du secteur d'étude.

L'objectif de l'analyse de la distribution des paramètres redox est d'arriver à mettre une limite entre les zones oxydées et les zones réduites au niveau du secteur d'Akola Ouest (**Fig. 4d**).

L'interprétation de la distribution des paramètres redox dans le secteur d'Akola Ouest doit nous renseigner sur l'état d'oxydoréduction du secteur d'Akola ouest. L'abondance de la matière organique ou de la pyrite désigne un faciès réduit. Les oxyhydroxydes désignent quant à eux les faciès oxydés. Les carbonates peuvent être rencontrés aussi bien dans le faciès réduit que oxydé, mais ils sont beaucoup plus fréquents dans les milieux oxydés.

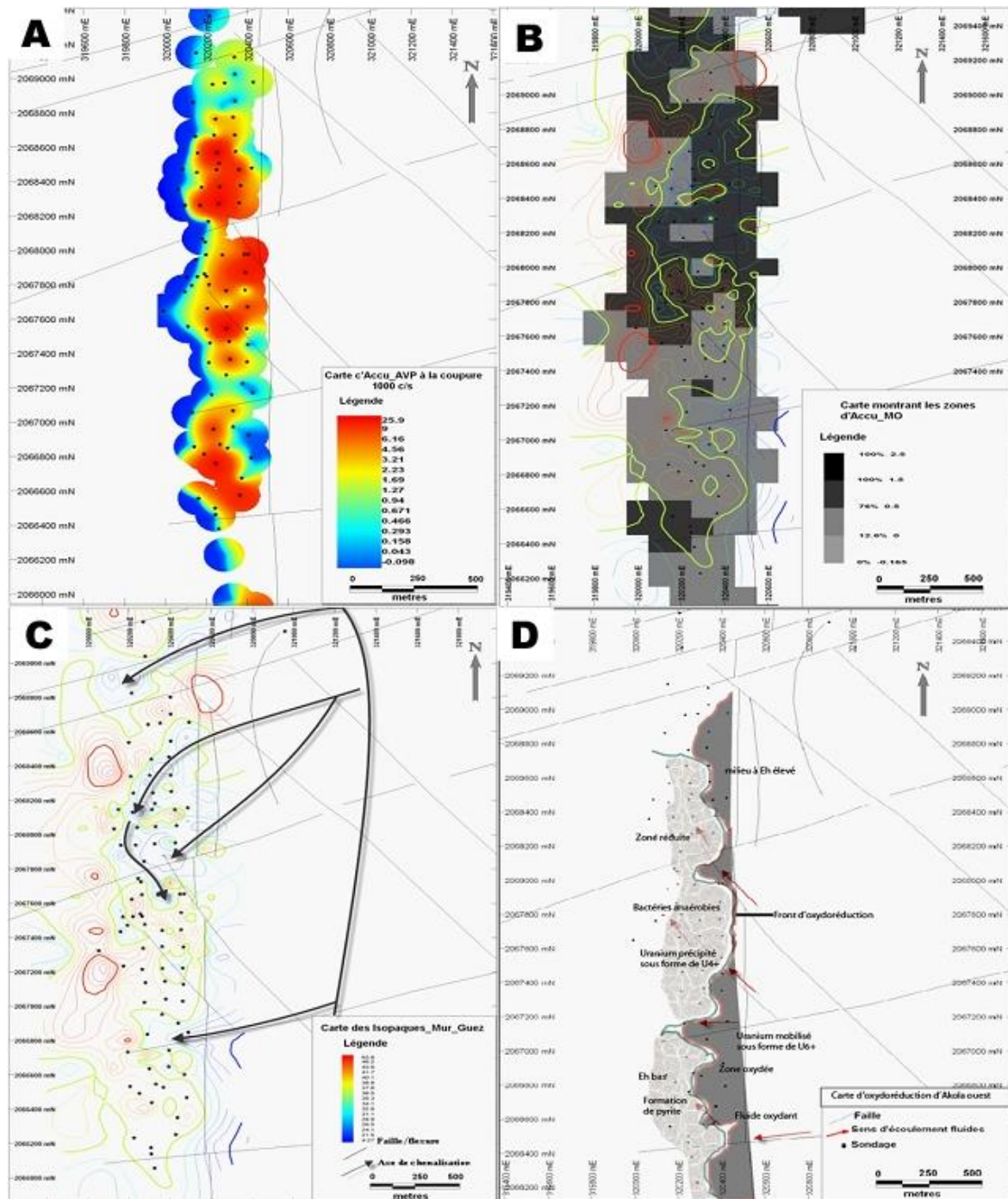


Fig. 4. Carte de répartition de la minéralisation uranifère et de ses relations avec les paramètres redox ainsi que de l'environnement de dépôt

4.3 INTERPRETATION DE LA DISTRIBUTION DES ÉLÉMENTS RÉDUITS

Dans le secteur d'Akola Ouest, la distribution des éléments réduits se fait suivant des zones préférentielles. Les zones à des fortes accumulations des sulfures correspondent généralement à des zones à fortes accumulations de la matière organique. Cela témoigne de la relation génétique qui existe entre ces deux paramètres. Dans le secteur minier d'Arlit, il a été démontré que la pyrite observée dans les formations sédimentaires réduites est presque toujours une pyrite néoformée [13], [22]. Elle provient le plus souvent de la dégradation bactérienne de la matière organique (Fig. 5). Dans le secteur cette relation est bien ressortie. Les deux éléments coexistent presque toujours. Les fortes accumulations de ces paramètres témoignent du caractère original réduit de cette formation. Lorsqu'on superpose la carte de répartition de la matière organique à celle des isopaques du mur du Guezouman on constate que ce sont les versants des paléochenaux qui constituent les milieux préférentiels d'accumulation de ce paramètre (Fig. 4b). Ces zones de dépressions auraient reçu le matériel organique provenant des zones hautes lors du dépôt de la formation du Guezouman. En termes d'oxydoréduction ce sont la zone Nord et le centre du secteur qui présentent un potentiel réducteur beaucoup plus élevé notamment entre le faisceau de Tin Adrar et l'accident N70° qui lui est sous-jacent.

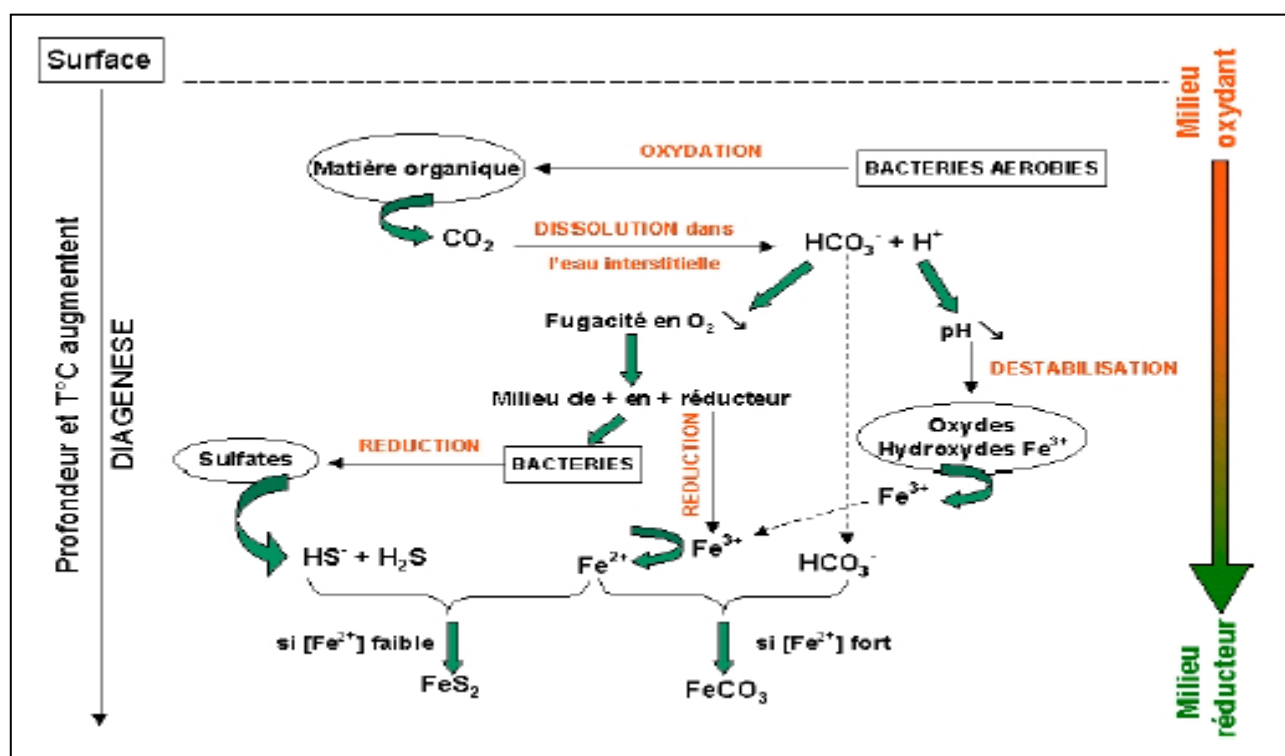


Fig. 5. Schéma des réactions diagénétiques [23]

4.4 INTERPRETATION DE LA REPARTITION DE L'OXYDATION

L'identification des zones oxydées se fait sur la base de répartition des oxyhydroxydes qui donnent des couleurs caractéristiques à la formation en fonction de l'état d'oxydation. Comme décrit précédemment, les oxyhydroxydes suivent l'orientation de la faille d'Arlit avec un gradient qui décroît d'Est vers l'Ouest. Ainsi, la formation de Guezouman étant une formation initialement réduite, toute oxydation serait logiquement postérieure à la mise en place de cette formation. On peut donc supposer que les oxyhydroxydes présents dans ce secteur seraient liés à la circulation des fluides oxydants qui sont venus du Sud-Est voir de l'Est. On peut aussi supposer que les failles N70° et N150° auraient également influencé la circulation de ces fluides oxydants [3], [24], [25].

4.5 INTERPRETATION DE LA REPARTITION DES CARBONATES

La répartition globale des carbonates montre que ces derniers sont dispersés dans le secteur d'Akola Ouest. On peut ainsi dire que les carbonates présents dans la formation du Guezouman sont des minéraux de néoformation qui seraient formés à la suite des circulations tardives des fluides oxydants [3], [24], [25], [26]. L'importance de l'accumulation de ces carbonates

peut suggérer que le Guezouman secteur Ouest d'Akola (formation initialement réduite) a fait l'objet d'une ou plusieurs phases de circulations des fluides oxydants.

La superposition des différentes cartes d'accumulation des paramètres redox avec la carte d'accumulation radiométrique, la carte d'isohypse et celles d'isopaque de la formation du Guézouman nous permis d'établir la carte d'oxydoréduction du secteur d'étude (**Fig. 4d**).

4.6 APPORT DE L'ANALYSE DES CARTES DES ISOPAQUES ET ISOHYPSES DU GUEZOUMAN

En observant la carte des isopaques (**Fig. 4d**) du mur du Guezouman on constate une variation d'épaisseur le long de la Flexure-Faille d'Arlit. Globalement les épaisseurs diminuent d'Ouest en Est avec les courbes rouges montrant les zones où le Guezouman est plus épais et les courbes bleues les zones de faible épaisseur. Pour ce secteur d'Akola Ouest, la cartographie met en évidence une série des paléochenaux qui semblent être en relation avec les structures tectoniques (**Fig. 4c**):

- Dans la partie Nord, on observe une diminution d'épaisseur de la formation du Guezouman suivant un axe N-S. Par contre au niveau des côtés Est et Ouest on constate un sur-épaississement du Guezouman. Il apparaît alors une zone de dépression qui peut être considérée comme un paléo-chenal dont la géométrie est supposée être contrôlée par la faille N-S et une faille N70°.
- Dans le centre de la carte, on constate que la dépression suit une direction N-S. Cette dépression qui pourrait correspondre à un paléo-chenal est probablement contrôlée par la Faille d'Arlit et les séries de Failles N70° et N150°. Ces failles ont très peu affecté ce paléo-chenal ce qui explique bien son individualisation. Cependant, la Faille d'Arlit a probablement provoqué un affaissement de la zone centrale qui aurait créé des zones hautes à l'Est et à l'Ouest.
- Dans la partie Sud, on observe une dépression de direction N-S. Celle-ci semble être contrôlée par la Faille N-S et la Faille N150°.

4.7 RELATION URANIUM PARAMÈTRES REDOX

En observant la carte de répartition de la minéralisation (**Fig. 4a**) au niveau du secteur d'Akola Ouest, on constate que les accumulations radiométriques ont tendance à suivre la direction N-S. En superposant à la carte de la répartition de la minéralisation celle des Isopaques on peut aisément constater que la minéralisation s'est déposée au niveau des versants des zones basses. Lorsqu'on considère la répartition de la minéralisation et celle des paramètres redox, on peut remarquer que les zones d'accumulation radiométrique coïncident généralement aux zones à fortes concentrations de la matière organique et/ou de la pyrite. Les zones de fortes concentrations des oxyhydroxydes correspondent quant à elles aux zones non minéralisées. Cependant, par endroits, il peut exister des parties minéralisées avec un faible potentiel oxydé (c'est le cas de la zone Sud de notre secteur d'étude). La relation Uranium/carbonates n'est pas facile à mettre en évidence, car ceux-ci sont repartis dans tout le secteur d'Akola Ouest. Néanmoins, ils sont plus abondants dans les milieux oxydés. Alors, les flancs des synclinaux auraient constituées les lieux d'accumulation des éléments réduits ayant à leurs tours favorisés la précipitation et l'accumulation de l'uranium. La figure 6 montre la répartition des paramètres redox ainsi que celle de l'accumulation radiométrique au niveau de certains sondages. On constate que les courbes des éléments réducteurs (matière organique et sulfures) ont la même allure. On peut aussi remarquer qu'au niveau des sondages où les pics d'Accumulation radiométrique sont élevés, les courbes des éléments réducteurs évoluées dans le même sens alors que celle des oxyhydroxydes a tendance à s'annuler.

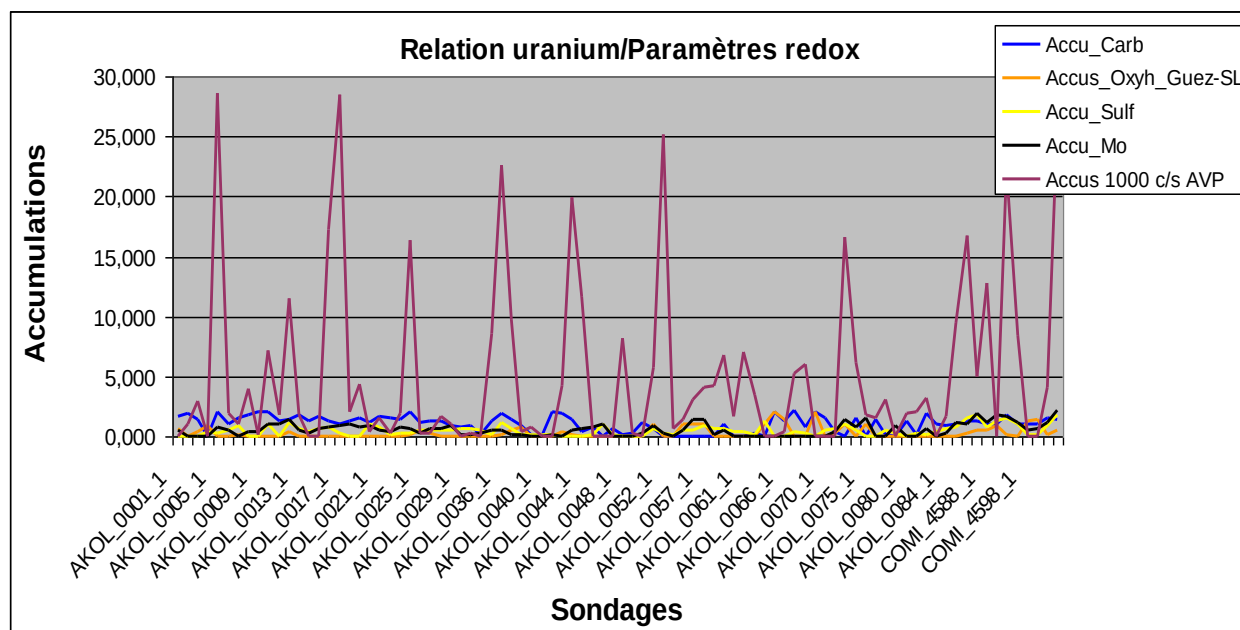


Fig. 6. Relation Uranium et paramètres redox

4.8 RELATION URANIUM ET STRUCTURES TECTONIQUES

La superposition des cartes d'accumulation de la minéralisation avec la carte structurale montre que :

- Dans un premier temps la minéralisation s'est mise en place suivant le tracé de la Flexure Faille d'Arlit (direction N-S);
- Le réseau des Failles N70° et N130° ont également joué un rôle déterminant dans la mise en place de cette minéralisation.
- En fin, les lieux où les dièdres se recoupent constituent les secteurs préférentiels de concentration de l'uranium.

4.9 RELATION STRUCTURES TECTONIQUES PARAMÈTRES REDOX

La relation structures tectoniques et paramètres redox dans le secteur d'Arlit n'est pas aisée à établir car non seulement la circulation des fluides est toujours basée sur des hypothèses mais aussi les gisements du district minier d'Arlit étaient considérés comme de types stratiformes. Au niveau du secteur d'étude, en prenant en compte les observations faites précédemment en ce qui concerne la relation uranium paramètres redox et uranium structures tectoniques, nous pouvons dire que les structures tectoniques ont servi de drains ayant permis la circulation des fluides oxydants et la collecte de l'uranium [26], [27], [28], [29]. Ces structures tectoniques peuvent alors être considérées comme des collecteurs structuraux pour l'uranium [28], [29].

5 CONCLUSION

Le premier objectif de ce travail été de réaliser une carte d'oxydoréduction du secteur d'Akola W et ensuite de voir la ou les relations qui lie (ent) la minéralisation de ce secteur aux fronts d'oxydoréduction en contexte d'ouest Flexure. Ainsi, seule la formation du Guezouman qui constitue la cible minéralisée a été prise en compte dans le cadre de ce travail. Comme pour l'ensemble du secteur d'Arlit, la formation du Guezouman au niveau d'Akola W se serait déposée dans un environnement fluvio-deltaïque riche en éléments réducteurs (matériel organique et pyrite). Les fluides oxydants postérieurs au dépôt de cette formation ont donc favorisé le développement des fronts d'oxydoréduction créant ainsi des zones oxydées et des zones réduites. Les cartes donnant la répartition des paramètres redox ont permis de circonscrire ces fronts d'oxydoréduction. Au niveau du secteur d'Akola W, la minéralisation est bien liée à un phénomène d'oxydoréduction qui serait combiné à plusieurs autres paramètres dont entre autres :

- Contrôle structural;
- Contrôle lithostratigraphique;
- Contrôle hydrogéologique.

REFERENCES

- [1] Wagani, I. 2007. Potentialités uranifères des sources volcaniques envisageables pour la formation des minéralisations de la région d'Arlit (Niger). Thèse de l'université de Paris XI, Orsay, 283p.
- [2] Gerbeaud, O. 2006. Evolution structurale du Bassin de Tim Mersoï: Déformations de la couverture sédimentaire, Relations avec la localisation des gisements d'uranium du secteur d'Arlit (Niger). Thèse de doctorat Université de Paris-Sud UFR scientifique d'Orsay, 270 pages.
- [3] Moussa, Y. 1992. Dynamique sédimentaire du Guézouman et des formations viséennes sous-jacentes en liaison avec la tectonique, le volcanisme et le climat paléomilieux des gîtes uranifères d'Arlit (Niger). Thèse Doctorat 3ème cycle, Université de Dijon, (1992) 357 p.
- [4] Jacobson R. R. E., Mac Leod W. N. et Black R. (1958). Ring complexes in the Younger granite Province of Northern Nigeria. Geol. Soc. Of London, Mem., 1, 72 p.
- [5] Bowden P., Van Breemen O., Hutchison J. et Turner D. C. (1976). Palaeozoic and Mesozoic age trends for some ring complexes in Niger and Nigéria, Nature, 259, pp. 297-299.
- [6] Karche J-P., Vachette M., 1978. Age et migration de l'activité magmatique dans les complexes paléozoïques du Niger. Conséquences. Bull. Soc. Géol. France, 20 (7): 941-953.
- [7] Karche J. P. et Vachette M. (1976). Migration des complexes sub-volcaniques à structures annulaires du Niger. Conséquences. C. R. Acad. Sci., Paris, 282.
- [8] Black R. et Latouche L., Liegeois J.P., Caby R. and Bertrand J. M., 1994. Pan-African displaced terranes in the Tuareg shield (central Sahara). Geology, 22, 641-644.
- [9] Bigotte, G., Obellianne, J.M., 1968. Découverte de minéralisations uranifères au Niger. Mineral Deposita, 3: 317-33.
- [10] Billon, S. 2014. Minéraux argileux dans le gisement uranifère d'Imouraren (Bassin de Tim Mersoï, Niger): implications sur la genèse du gisement et sur l'optimisation des processus de traitement du minerai. Thèse Terre solide et enveloppes superficielles. Poitiers: Université de Poitiers, 2014. <http://theses.univ-poitiers.fr>.
- [11] Pacquet, A. 1968. Analcimes et argiles diagénétiques dans les formations sédimentaires de la région d'Agadès (République du Niger) [Ph.D. thesis]: Université de Strasbourg, 258 p.
- [12] Valsardieu, C. 1971. Etude géologique et paléogéographique du bassin de Tim Mersoï, région d'Agadès (République du Niger). Thèse de doctorat, université de Nice, 518p.
- [13] Forbes, P. 1989. Rôles des structures sédimentaires et tectoniques, du volcanisme alcalin régional et des fluides diagénétiques-hydrothermaux pour la formation des minéralisations à U-Zr- Zn-V-Mo d'Akouta (Niger): mémoire édité par le Centre de Recherches sur la Géologie de l'Uranium (CREGU), Nancy, v. 17, 376 p.
- [14] Joulia, F. 1963. Carte géologique de reconnaissance de la bordure sédimentaire occidentale de l'Aïr au 1/500000. Orléans, France: Éditions du BRGM.
- [15] Elhamet, M.O., 1983. Analyse géologique et pétrographique de la formation de Tarat dans les carrières Somaïr (Paléozoïque supérieur). Essai d'interprétation paléoclimatique à la lumière de l'épisode glaciaire dévono-carbonifère (Région d'Arlit – Niger septentrional) [Ph.D. thesis]: Université de Dijon (France) et Université de Niamey (Niger), 279 p.
- [16] Coquel, R., Lang, L. and Moussa, Y. 1995. Palynologie du Carbonifère du Nord Niger et de la plate-forme saharienne - implications stratigraphiques et paléogéographiques. Review of Palaeobotany and Palynology, 89- 319 – 334.
- [17] Yahaya, M., Lang, J., 2000. Tectonic and sedimentary evolution of the Akokan Unit during Viséan times in the Tim Mersoï Basin (Arlit region, Niger). Journal of African Earth Sciences, 31 (2): 415-431.
- [18] Sempere, T. & Beaudoin, B. 1984. Discontinuités et séquences dans la formation de Tarat (Viséen supérieur) et l'unité d'Arlit (Namuro-Westphalien) à Arlit (Niger). Evolution sédimentaire, climatique et tectonique de la région au Carbonifère. Bulletin de la Société Géologique de France, 296 (1984) 995 – 1014.
- [19] Sempéré, T. 1981. Le contexte sédimentaire du gisement d'uranium d'Arlit (République du Niger). Thèse de l'école nationale supérieure des sciences de Paris.
- [20] Gauthier, J. M. 1972. Analyse tectonique du demi-degré carré (Nord) d'Afasto. CEA-GAM.
- [21] Hirlemann, G., et Robert, J. P. (1980). Analyse structurale du permis minier Imouraren. CEAGAM.INS.
- [22] Cavellec, S. 2008. Evolution diagénétique du bassin de Tim Mersoï et conséquences pour la genèse des minéralisations uranifères dans les formations du Guézouman et du Tarat (district Arlit-Akokan, Niger). Thèse de Doctorat de l'Université de Paris-Sud, 463 p.
- [23] Murielle, P. 2004. Réactivité des matériaux argileux dans un contexte de corrosion métallique. Thèse doctorat Institut National Polytechnique de Lorraine, 280p.
- [24] Mamane, M. M., Michel, C., Etienne, D., Reisberg, L., Olivier, C., Jean, V., Marc, B. 2022. The Tim Mersoï Basin uranium deposits (Northern Niger): Geochronology and genetic model. *Ore Geology Reviews*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.104905>.

- [25] Sani, A. 2020. Rôle des accidents N70° dans la mise en place des minéralisations uranifères du bassin de Tim Mersoï: cas du graben de DASA, bordure occidentale de l'Aïr (Nord Niger). Thèse de Doctorat, UAM.
- [26] Mamane, M. M., Michel, C., Etienne, D., Rémi S., and Marc, B. 2019. Cenozoic oxidation episodes in West Africa at the origin of the in situ supergene mineral redistribution of the primary uranium ore bodies (Imouraren deposit, Tim Mersoï Basin, Northern Niger). *Mineralium Deposita*, <https://doi.org/10.1007/s00126-019-00945-w>.
- [27] Moussa, D. D. B., Sanda, C. M. M., Sani, A., Moussa, K., Yacouba, A., Mallam, M. H., and Maman, H. A. (2023). Parameters Controlling the Uranium Mineralization in the Ingall Sector, Tim Mersoï Basin (Northern Niger). *Current Journal of Applied Science and Technology* Volume 42, Issue 10, Page 1-14, 2023; Article no.CJAST.97856 ISSN: 2457-1024. DOI: <https://doi.org/10.9734/CJAST/2023/v42i104094>.
- [28] Sani, A., Konaté, M., Karimou, D. H., and Wollenberg, P. 2020. Polyphasic tectonic history of the N70° DASA Graben (northern, Niger). *Global Journal of Earth and Environmental Science*, Volume 5 (3), Pages 58-72. <https://doi.org/10.31248/GJES2020.075>.
- [29] Mamane, M. M. 2016. Le système métallogénique des gisements d'uranium associé à la faille d'Arlit (Bassin de Tim Mersoï, Niger): diagenèse, circulation de fluides et mécanismes d'enrichissement en métaux (U, Cu, V). Thèse de doctorat.

Capacité de charge des pâturages et qualité des espèces fourragères appréciées par les bovins Lagunaires dans les savanes sub-humides du Bénin

[Pasture carrying capacity and quality of forage species grazed by Lagune cattle in the sub-humid savannahs of Benin]

Bossima Ivan Koura¹, Sènouwa Léopold Guidimé^{1,2}, Elie Sonon¹, and Boya André Aboh¹

¹Ecole de Gestion et Exploitation des Systèmes d'Elevage, Université Nationale d'Agriculture, Kétou, Bénin

²Laboratoire d'Écologie, de Santé et de Production Animales (LESPA), Département des Sciences et Techniques de Productions Animale et Halieutique, Faculté d'Agronomie, Université de Parakou. 01 BP 123 Parakou, Bénin

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

ABSTRACT: The aim of this study was to assess biomass production in grazing lands used by cattle (under and outside palm groves), as well as the quality of fodder species grazed. Four herds were monitored during grazing, enabling to identify the animals' preferred grazing areas. A GPS (GARMIN 64s) was used to determine the animals' grazing routes. In addition, grazing monitoring carried out with farmers enabled to identify the species consumed by the animals. The chemical composition of these most palatable resources was assessed through the contents of Dry Matter, Organic Matter, Ash, Protein, Fiber and Fat (Ethereal Extract). Results showed that pasture productivity was 1198.43 ± 743.63 t.DM/ha (in Ouemey Valley district) and 768.69 ± 135.03 t.DM/ha (Pobe district) under palm groves, and it was 1264.43 ± 700.88 t. MS/ha (Ouemey Valley) and 702.69 ± 38.24 t.MS/ha (Pobè) outside the palm grove. For grazing, the herds covered approximately 1.65 ± 0.70 km (Pobe district) and 1.90 ± 0.50 km (Ouemey Valley) under palm groves, while the grazing length was higher in pastures outside palm groves; 7.86 ± 1.07 km (in Pobe) and 6.27 ± 0.97 km (Oueme Valley) outside palm groves. Grasses in addition to Legumes like *Mallotus oppositifolius* and *Tridax procumbens* were the most consumed species. These species showed protein contents higher than 8 %DM, demonstrating their quality as feed for cattle. This study clearly shows availability of pasture of good quality in sub-humid zones and their suitability for feeding Lagune cattle.

KEYWORDS: indigenous lagune cattle, biomass production, forage species, crude protein, tropical areas.

RESUME: Cette étude avait pour but d'évaluer la productivité des pâturages au pic de biomasse, ainsi que la qualité des espèces fourragères appréciées dans les aires de pâturages de bovins lagunaires (sous et hors palmeraie). Quatre troupeaux ont ainsi été suivis au pâturage, permettant d'identifier les aires préférentielles de pâturage des animaux. Un GPS (GARMIN 64s) a été utilisé afin de déterminer les itinéraires de pâturage des animaux. De plus, le suivi au pâturage effectué avec les éleveurs des deux zones a permis d'identifier les espèces appréciées par les animaux. La qualité chimique de ces ressources les plus appréciées a été évaluée à travers la teneur en Matière Sèche, Matière Organique, Cendres, Protéine Brute, Fibres et Matières Grasses (Extrait Éthéré). Les résultats ont montré que la productivité des pâturages s'élevait à $1198,43 \pm 743,63$ t.MS/ha (phytodistrict de la Vallée de l'Ouémé) et $768,69 \pm 135,03$ t.MS/ha (phytodistrict de Pobè) sous palmeraie, et s'élevait à $1264,43 \pm 700,88$ t.MS/ha (Vallée de l'Ouémé) et $702,69 \pm 38,24$ t.MS/ha (phytodistrict de Pobè) hors palmeraie. Au pâturage, les troupeaux parcouraient environ $1,65 \pm 0,70$ km (phytodistrict de Pobè) et $1,90 \pm 0,50$ km (Vallée de l'Ouémé) sous palmeraie, contre $7,86 \pm 1,07$ km (phytodistrict de Pobè) et $6,27 \pm 0,97$ km (phytodistrict de la Vallée de l'Ouémé) hors palmeraie. Les animaux consommaient des graminées, en plus des légumineuses telles que *Mallotus oppositifolius* et *Tridax procumbens*. Ces espèces avaient des teneurs en protéine supérieure à 8 %MS, montrant bien leur qualité pour l'alimentation de ces animaux. Cette étude montre

bien la disponibilité de ressources fourragère et leur qualité en zones sub-humides, révélant leur adéquation pour du bétail notamment des bovins lagunaires.

MOTS-CLEFS: races taurins lagunaires, production de biomasse, espèces fourragères, protéine brute, zone tropicale.

1 INTRODUCTION

La production des ruminants notamment des bovins est une pratique largement répandue en élevage au Bénin [1]. Au nombre des différentes races de bovins élevées dans le pays, la race taurine Lagunaire semble être une bonne candidate face au changement climatique, notamment dans les zones sub-humides. A l'instar des autres races taurines, la race lagunaire est tolérante à la trypanosomiose et pourrait donc s'adapter aux piqûres de mouches tsé-tsé dans les zones humides. Il s'agit d'une race naine bien adaptée aux conditions d'élevage extensif, dont la viande est appréciée pour sa tendreté ([2], [3]).

La facilité de conduite de la race offre la possibilité de pouvoir l'élever sur des espaces pâturables réduits. Ces animaux en effet donc capables de pâturer dans les prairies marécageuses où l'incidence des glossines serait dangereuse pour les Zébus. Les animaux sont souvent maintenus dans deux systèmes de pâturage, attachés sous les palmeraies ou laissés en libre pâturage dans les prairies autour de l'exploitation [4]. Cette caractéristique couplée avec la résistance de la race aux maladies, montre bien son intérêt et son utilisation comme une stratégie face au changement climatique, et pour l'exploitation efficace des pâturages en zones sub-humides.

Les pâturages en zone sub-humides offrent une diversité de ressources fourragères [5]. Ils sont également connus pour leur grande disponibilité en phytomasse pour les animaux tout au long de l'année. Cette disponibilité de ressources fourragères favorise l'accueil des troupeaux transhumants, et permet aux éleveurs autochtones de s'adonner à un type d'élevage où l'éleveur peut être absent tout en laissant les animaux pâturer librement dans les habitations et les terroirs environnants ou sont attachés au pâturage [6]. Cette pratique bien connue en élevage des petits ruminants [7], est aussi employée dans les élevages bovins de taurins, notamment la race Lagunaire et la Somba. Une telle exploitation des ressources fourragères pourrait jouer un rôle socio-économique important, générant des ressources aux petits éleveurs sédentaires qui n'ont donc plus besoin de bouviers pour conduire les animaux. Cependant, la diversité des formations végétales pâturées par cette race et la production réelle de biomasse de ces derniers ont fait l'objet de peu d'attention scientifique. Une connaissance de l'utilisation des ressources fourragères par ces taurins permettrait d'évaluer le statut nutritionnel des animaux et serait une étape vers une meilleure valorisation de la race dans la quête d'une production bovine durable.

La présente étude a donc pour but de caractériser la disponibilité de fourrage dans les pâturages exploités par les taurins Lagunaires et la qualité des ressources appréciées. Une connaissance de la disponibilité et de la qualité des ressources fourragères exploitées par ces taurins, sont importantes pour une prise de décision judicieuse visant l'amélioration des stratégies de gestion pastorale, pour l'amélioration des productivités animales et la durabilité des pâturages.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

La méthodologie d'étude utilisée comprend essentiellement des méthodes de collecte de données biophysiques de la végétation et des analyses au laboratoire.

2.1 MILIEU D'ÉTUDE

L'étude a été menée dans les savanes subhumides du Sud-Est du Bénin notamment (Figure 1), dans le berceau de la race Lagunaire. Il s'agit des phytodistricts de Pobè (commune d'Adja-Ouèrè) et de la Vallée de l'Ouémé (commune d'Adjohoun). L'étude a été effectuée au pic de biomasse, entre en juin-juillet, afin d'évaluer la production réelle de ces pâturages et identifier au mieux les espèces appréciées.

La commune d'Adja-Ouèrè est située au Sud-Est du Bénin et est localisée aux 7°00'00"Nord, 2°37'00"Sud. Un climat de type subéquatorial y règne avec deux saisons pluvieuses (une grande d'avril à juillet, et une petite de septembre à novembre) et deux saisons sèches (une petite d'août à septembre, et une grande de décembre à mars). Les précipitations atteignent 1100 à 1200 mm par an et la température moyenne à Adja-Ouèrè est de 27,1°. La végétation est composée de l'Est à l'Ouest par un fourré arbustif où dominant palmiers à huile et graminées; de savane arborée avec des îlots forestiers dont le plus important est la forêt classée d'Itchede-Toffo dans la banlieue d'Adja-Ouèrè [8].

La commune d'Adjohoun est aussi située au Sud-Bénin et est localisée aux 6°41'44" Nord, 2°28'52" Sud. Le climat est aussi de type sub-équatorial, la température moyenne à Commune de Adjohoun est de 27,4°C et les précipitations sont en moyenne de 1217,1 mm. La végétation est composée de savane herbacée, de la savane arbustive, des prairies et des marécages dont certains sont en voie de comblement du fait de l'ensablement [8].

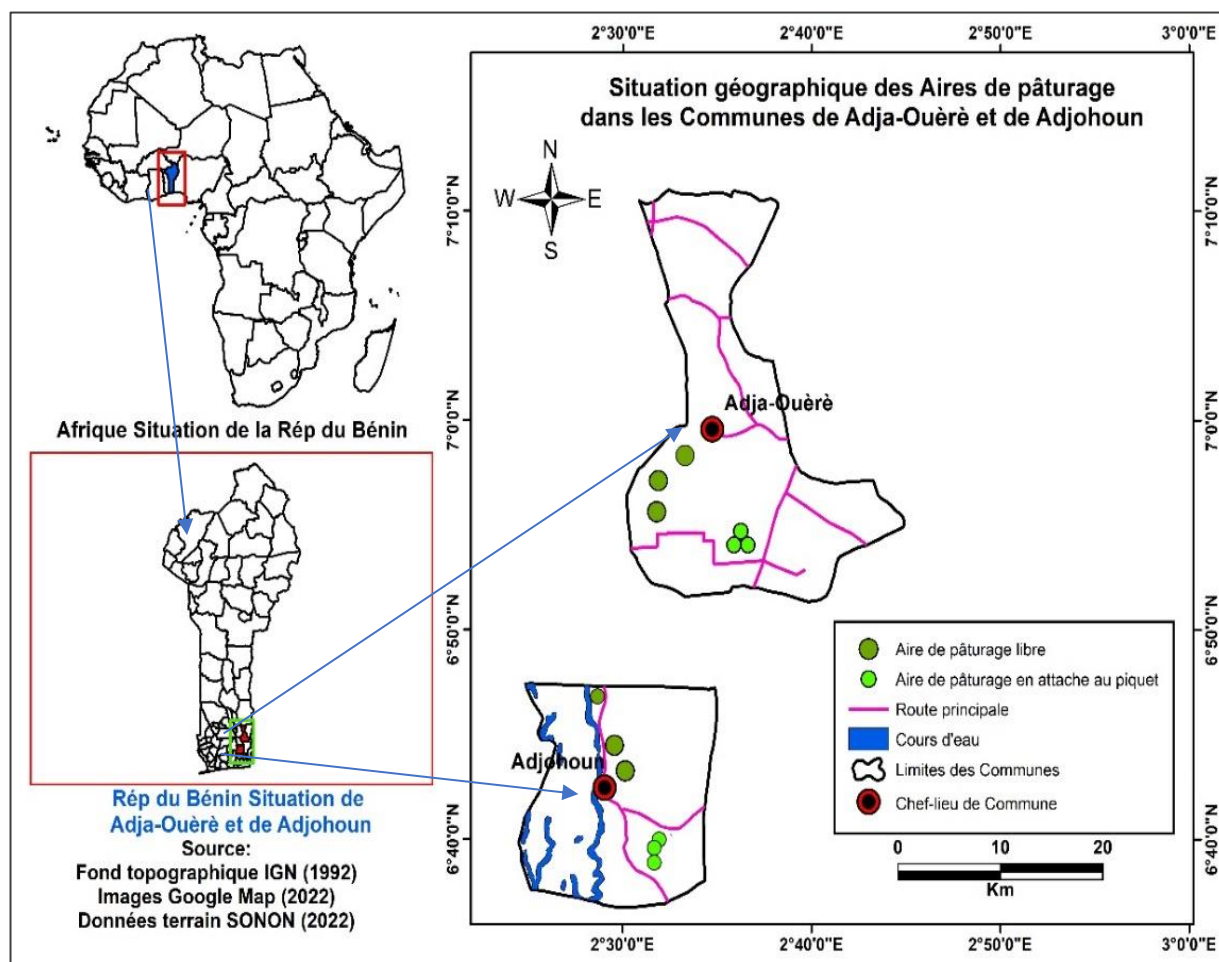


Fig. 1. Localisation des milieux étude (adapté de [9])

2.2 IDENTIFICATION DES TROUPEAUX D'ÉTUDE

La liste des éleveurs de lagunaire de chaque commune a été obtenue dans les Agences Territoriales de Développement Agricole (ATDA, Bénin). Les éleveurs concernés ont été visités pour la plupart afin de s'informer sur leur pratique de production et les zones de pâturages. Par la suite, deux troupeaux les plus représentatifs (avec au moins 10 têtes de lagunaires) dans chaque commune ont été sélectionnés. Le mode d'élevage "Attache au piquet" ou "Pâturage sous le contrôle d'un bouvier" a été considéré au cours du choix. Le mode d'attache au piquet se remarque par l'exploitation exclusif du pâturage « Sous palmeraie » alors qu'en pâturage contrôlé les animaux exploitent les jachères, champs récoltées et zones humides, nous l'avons nommée pâturage « Hors palmeraie ». Un élevage a été sélectionné dans chacun des modes dans chaque commune. Les éleveurs des 04 fermes sélectionnées ont au préalable été entretenus sur les objectifs de l'étude et leur adhésion à participer à l'activité a été reçue par consentement verbal.

2.3 ITINÉRAIRES DE PÂTURAGE

Pour la détermination de l'itinéraire de pâture, les troupeaux ont été suivis au pâturage en compagnie, soit d'un bouvier (phytodistrict de la Vallée), soit d'un propriétaire ou de ses enfants (phytodistrict de Pobè) depuis le départ du parc le matin entre 8h et 10h jusqu'au retour le soir entre 15h et 18h. Mais avant, trois jours ont été passés avec chaque troupeau afin que les animaux s'habituent à la présence de l'observateur. Une (01) vache parmi les plus docile et représentative du

comportement général du troupeau, a été choisie dans chaque troupeau, pour le suivi [10]. Ensuite, trois (03) jours de suivi ont été effectués pendant lesquels ce dernier était muni d'un GPS de marque GARMIN 64s mis dans un petit sac et attaché à l'animal. Le GPS a permis l'enregistrement de certains points des lieux pâturés et le tracking de l'itinéraire des animaux depuis le parc jusqu'au retour des animaux du pâturage. Le GPS était toujours éteint au même point géographique pour avoir un circuit fermé. Il renseignait également sur les distances de chaque itinéraire qui représente en effet, la distance journalière parcourue par les lagunaires au pâturage. Les shapefiles générés par le GPS ont été extraits et importés dans le logiciel QGIS pour la réalisation des cartes de circuits de chaque troupeau.

L'identification des aires préférentielles de pâturage a été effectuée lors du suivi des taurins lagunaires au pâturage pendant les trois jours consécutifs. Au cours de ces trois jours, les aires de pâturages les plus fréquemment exploitées par chaque troupeau ont été identifiées, et les trois aires de pâturages les plus visitées par chaque élevage ont été choisies pour l'évaluation de la production de biomasse. Au total, six aires de pâturage ont été identifiées dans chacun des phytodistricts investigués, dont trois sous palmeraie et trois hors palmeraie.

2.4 EVALUATION DE BIOMASSE ET CAPACITE DE CHARGE DE PATURAGE

La biomasse est la quantité de matière sèche des espèces végétales vivantes sur pied sur une superficie donnée. Elle permet une bonne expression de la productivité quand elle est mesurée à la période de la fructification des herbacées [11]. Pour l'évaluer, la méthode de la récolte intégrale telle que décrite par [12] a été utilisée. Cette méthode même qu'étant destructrice, longue et souvent fastidieuse, demeure la méthode la plus directe pour la mesure de la biomasse. Elle a l'avantage d'être simple, précise et constitue un outil de terrain particulièrement fiable. Dans cette étude, la détermination de la biomasse a été effectuée dans six aires de pâturage dans chacune des deux phytodistricts. Ainsi, trois placeaux de 100 m² ont été délimités dans chaque aire de pâturage. Vingt-une (21) placettes de 1m² ont été définies de façon aléatoire pour la coupe, à raison de 07 dans chaque placeaux. Dans ces placettes, les espèces végétales ont été coupées intégralement par une coupe rase à l'aide d'un sécateur dans chaque aire de pâturage, soit un total de 60 dans chaque phytodistrict. Après la récolte, le tri des espèces constitutives de chaque placette coupée a été effectué afin de faire la répartition des espèces en deux catégories (graminées et autres espèces dont des légumineuses). Ensuite, ces espèces sont pesées par catégorie pour déterminer les poids frais totaux dans chacune des 20 placettes. Toutes les espèces d'une même catégorie ont été regroupées et mélangées. Un échantillon de cinq cents grammes a été prélevé dans chacune des deux catégories et séché à l'étuve à 60°C pendant 72h afin d'obtenir le poids sec pour le calcul du taux de matière sèche suivant la relation:

$$\text{Taux de Matière Sèche} = [\text{Poids de la matière sèche (g)} / \text{Poids total de l'échantillon frais (g)}] \times 100$$

Sur la base des poids frais et du taux de matière sèche, la productivité moyenne de la biomasse au m² a été estimée puis extrapolée à l'hectare suivant la relation.

$$P = B \times 10.000$$

avec P la productivité, B la biomasse d'une placette de 1m² en Kg.MS, en sachant que 1 ha = 10000 m²)

La Capacité de Charge (CC) quant à elle a été déterminée selon la formule suivante:

$$CC = [k_i \times \text{Biomasse (kg.MS/ha)}] / (6,25 \text{ kg.MS/j} \times 365j)$$

La CC est exprimée en kg de poids vif à l'ha, ou encore en nombre de jours de pâture d'une UBT [13]. Avec $k_i = \{k_1, k_2\}$, la fraction consommable de la biomasse disponible, et $k_1 = 1/3$ pour les savanes; $k_2 = 1/2$ pour les jachères; MS = Matière Sèche. La fraction consommable $k_2 = 1/2$ a été utilisée dans cette étude en raison non seulement des formations végétales mais aussi de la zone de l'étude qui, selon [13], seulement la moitié de la partie apprêtée est consommée en zone soudanienne.

2.5 IDENTIFICATION DES ESPÈCES APPRÊTÉES

L'évaluation de la diversité des espèces apprêtées a pour but de caractériser la gamme de ressources fourragères disponibles pour les taurins lagunaires dans chaque zone de la recherche. Dans les deux phyto districts, les animaux ont été accompagnés au pâturage pendant la période d'adaptation à chaque troupeau, les espèces apprêtées ont été identifiées et un échantillon de chacune de ces espèces apprêtées par les taurins lagunaires dans les aires de pâturage des quatre élevages étudiés a été

collecté. Toutes les espèces végétales broutées au moins une fois par un animal du troupeau pendant le pâturage quotidien ont été recensées. Ces espèces ont été herborisées pour l'identification et la caractérisation à l'Herbier National du Bénin.

2.6 COMPOSITION CHIMIQUE

Des échantillons (300g) des fourrages les plus consommées (04 dans chaque phytodistricts) ont été prélevés pour l'évaluation de leur composition chimique au laboratoire. Tous les échantillons ont été séchés au four à 60°C pendant 48 heures et broyés pour passer un tamis de 1 mm (moulin Brabender Wiley, Brabender OHG, Duisburg, Allemagne). Les échantillons ont été analysés pour la Matière Sèche (MS), la Protéine Brute (PB), l'extrait d'éther (EE) et les cendres selon les procédures standard (numéro d'identification: 2001.12, 978.04, 920.39, et 930.05 pour la MS, la PC, l'EE, et les cendres, respectivement) comme suggéré par l'AOAC [14].

2.7 ANALYSES STATISTIQUES

Les données ont été saisies dans le tableur Excel. Les moyennes et écart-types ont été calculés pour les paramètres étudiés notamment la distance du pâturage, la production de biomasse, la capacité de charge et la composition chimique des fourrages appréciés. Les valeurs de ces paramètres ont été comparées soit entre les phytodistricts ou les types de pâturage (sous ou hors palmeraie) en utilisant la procédure de modèle linéaire général (PROC GLM) dans le logiciel SPSS statistics version 26 suivant la formule $y_{ij} = \mu + F_i + \varepsilon_{ij}$; où y est la donnée unique, μ est la moyenne, F est l'effet de la zone ($i = 2$), et ε est le terme d'erreur.

3 RÉSULTATS

3.1 ITINÉRAIRES ET DISTANCES DE PÂTURAGE

Les figures 2-3 et le tableau 3 présentent respectivement les itinéraires de parcours, les distances de parcours des bovins lagunaires suivis dans les deux modes d'élevage et les phytodistricts (Pobè et Vallée de l'Ouémé). Les animaux entretenus hors palmeraie (HP) se déplaçaient loin des parcs de stabulation pour le pâturage (Figure 2) et circulaient dans les habitations, les jachères, et dans des dépressions et bas-fonds. Ceux entretenus sous palmeraie (SP) étaient souvent donc dans les palmeries de leur propriétaire, proches de leur parc de stabulation (Figure 3). En mode SP, les mouvements plus ou moins linéaires de va et vient étaient observés autour du piquet d'attache alors qu'en mode HP, de longues courbes sinusoïdales étaient observées, permettant au troupeau d'explorer une diversité de formations végétales.

Les distances de parcours étaient significativement ($p < 0,001$) plus importantes en mode HP qu'en mode SP. Les animaux parcouraient des distances plus longues en mode HP ($7,07 \pm 1,26$ km) que dans le cas du mode SP ($1,77 \pm 0,59$ km). Les distances parcourues variaient suivant les phytodistricts. En mode HP, le troupeau de bovins lagunaires dans le phytodistrict de Pobè parcourait une distance moyenne relativement plus élevée ($7,86 \pm 1,07$ km) que celui du phytodistrict de la Vallée ($6,27 \pm 0,97$ km). Par contre, le contraire était observé en élevage SP, le troupeau de bovins lagunaires du phytodistrict de la Vallée parcourait $1,90 \pm 0,50$ km contre $1,65 \pm 0,70$ km dans le phytodistrict de Pobè.

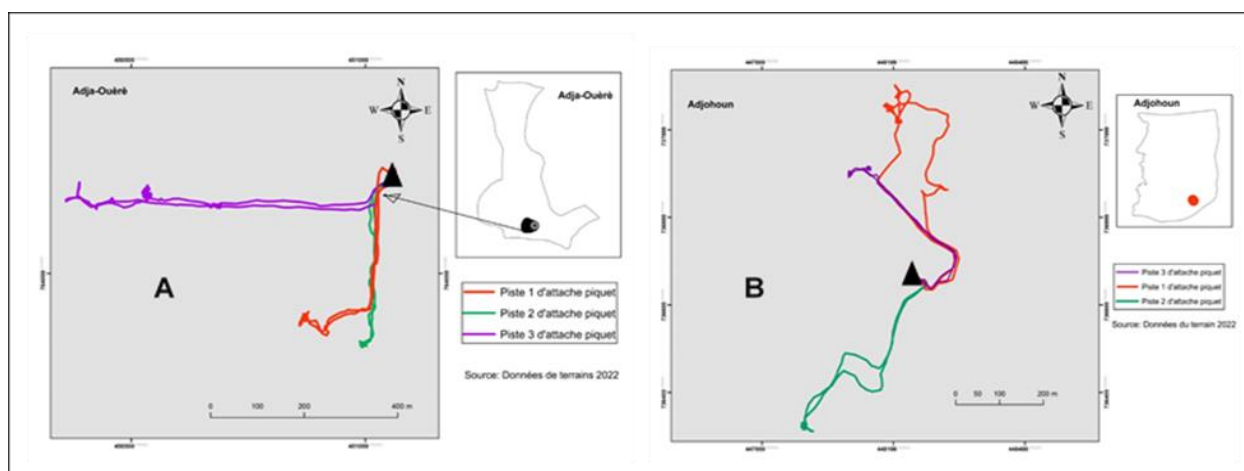


Fig. 2. Cartes des itinéraires de parcours des bovins lagunaires en attache au piquet (A et B)

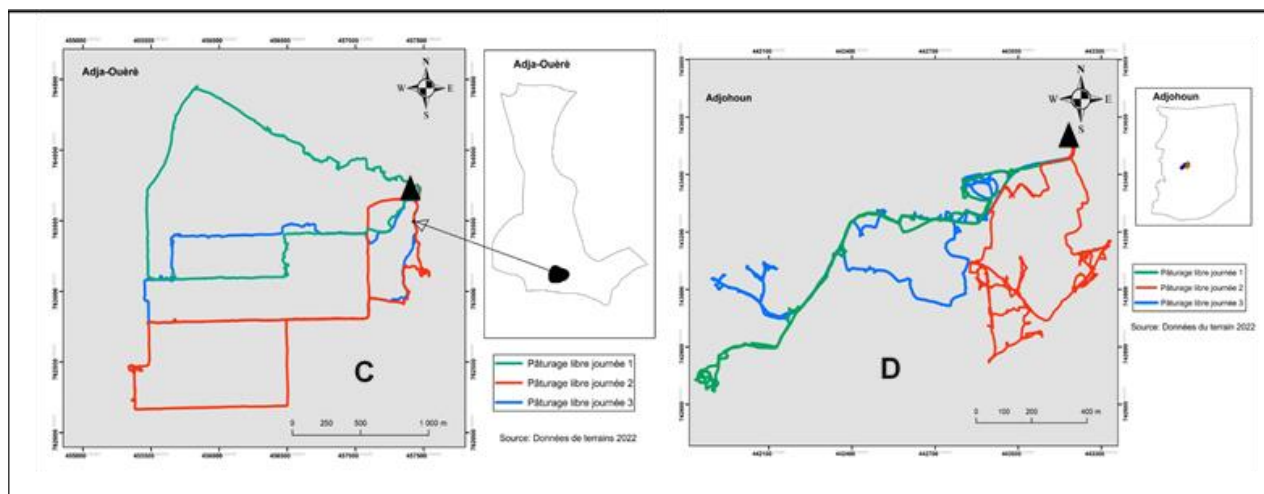


Fig. 3. Cartes des itinéraires de parcours des bovins lagunaires en pâturage contrôlé (C et D)

Tableau 1. Distance parcourue et temps de pâturage des bovins lagunaires

Sous palmeraie (SP)		Moyenne	Hors palmeraie (HP)		Moyenne	Effet type	Effet Zone	Effet Type* Zone
Pobè	Vallée		Pobè	Vallée				
1,65 ± 0,70	1,90 ± 0,50	1,77 ± 0,59	7,86 ± 1,07	6,27 ± 0,97	7,07 ± 1,26	0,001	0,001	0,114

3.2 BIOMASSE ET CAPACITE DE CHARGE DES PATURAGES

La production moyenne de biomasse ne variait pas significativement dans les types de pâturages visités (Tableau 2). Il a été remarqué une différence suivant les types de végétation exploitées et les phytodistricts pour la biomasse totale et la biomasse des légumineuses ($p < 0,05$), avec les valeurs les plus élevées dans la vallée. Ainsi, que ce soit dans les champs et jachères ou sous les palmeraies, la production moyenne de biomasse totale et aussi bien celle des graminées et des légumineuses étaient plus grandes dans Vallée qu'à Pobè. La biomasse des graminées ($564,08 \pm 331,09$ Kg.MS/ha) était plus importante que celle des légumineuses ($419,48 \pm 245,96$ Kg.MS/ha).

Par ailleurs, les capacités de charge des pâturages exploités par les bovins lagunaires sont présentées dans le Tableau 3. En général, la capacité de charge était élevée hors palmeraie dans le phytodistrict de la Vallée ($1,53 \pm 0,75$) que dans celui de Pobè ($0,89 \pm 0,07$). Sous palmeraie, elle était par contre plus grande dans le phytodistrict de Pobè ($1,16 \pm 0,04$ UBT/ha/an contre $1,08 \pm 0,21$ UBT/ha/an dans la Vallée).

Tableau 2. Production de biomasse (t.MS/ha) dans les pâturages des bovins lagunaires des phytodistricts de Pobè et de la Vallée

Groupe d'espèces	Moyenne	Phytodistrict de Pobè		Moyenne	Phytodistrict de la Vallée		Moyenne Générale	SEM	Sig (Effet zones)
		Hors palmeraie	Sous palmeraie		Hors palmeraie	Sous palmeraie			
Graminées	409,37 ± 101,53	404,74 ± 95,89	414,72 ± 107,17	718,43 ± 416,56	723,42 ± 413,56	713,44 ± 419,68	564,08 ± 331,09	88,42	0,068
Légumineuses	325,87 ± 87,04	297,75 ± 73,64	353,98 ± 100,44	513 ± 319,7	541,01 ± 303,68	484,98 ± 335,72	419,48 ± 245,96	71,53	0,049
Total	735,69 ± 85,64	702,69 ± 38,24	768,69 ± 135,03	1231,43 ± 722,26	1264,43 ± 700,88	1198,43 ± 743,63	983,56 ± 556,79	154,28	0,049

Tableau 3. Capacité de charge (UBT/ha/an) dans les pâturages des bovins lagunaires des phytodistricts de Pobè et de la Vallée

Mode d'élevage	Moyenne	Phytodistrict de Pobè		Moyenne	Phytodistrict de la Vallée		SEM	Sig (Effet zones)
		Hors palmeraie	Sous palmeraie		Hors palmeraie	Sous palmeraie		
BMoy	695,86 ± 39,97	714,69 ± 56,76	677,08 ± 23,18	1264,43 ± 494,13	1682,16 ± 822,95	846,70 ± 165,31	121,48	0,047
CC (UBT/ha/an)	1,03 ± 0,055	0,89 ± 0,07	1,16 ± 0,04	1,30 ± 0,48	1,53 ± 0,75	1,08 ± 0,21	0,11	0,248

3.3 ESPÈCES FOURRAGÈRES APPÉTÉES

Le régime alimentaire des bovins Lagunaires était principalement composé d'herbes. En effet, une vingtaine d'espèces fourragères, appartenant à 14 familles étaient pâturées. La plupart des espèces appartiennent aux familles des Poacées (34,78%), des Convolvulaceae (8,7%) et des Euphorbiaceae (8,7%) (Figure 4). Les espèces les plus appréciées dans le phytodistrict de Pobè comprennent *Tridax procumbens*, *Mallotus oppositifolius*, *Spolobolus pyramidalis* et *Panicum maximum*. Dans le phytodistrict de la Vallée de l'Ouémé, il s'agissait de *Mariscus cylindristachyus*, *Andropogon gayanus*, *Commelina benghalensis* et *Digitalia horizontalis*.

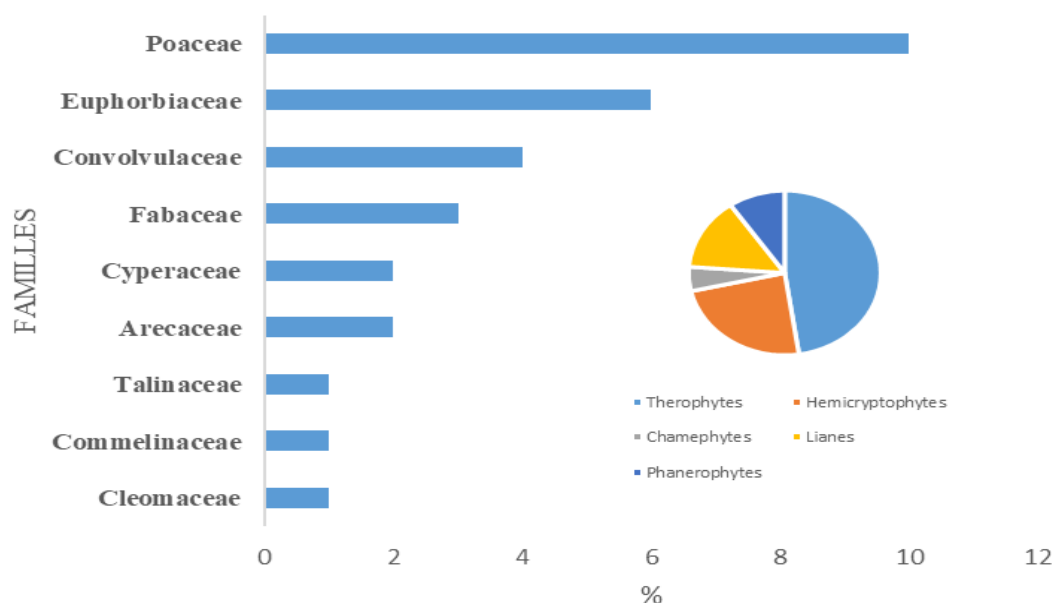


Fig. 4. Familles des espèces fourragères appréciées

Th: Therophytes, mp: Microphanerophytes, H: Hemicryptophytes, np: Nanophanerophytes, Ch: Chaméphytes, Lnph: Lianes nanophanérophytes

Les espèces appréciées dans le phytodistrict de Pobè présentaient des taux de protéine variant de 8,28 %MS (*Panicum maximum*) à 22,50 %MS (*Tridax procumbens*), alors que dans le phytodistrict de la vallée, la teneur en protéine variait de 8,10 %DM (*Digitalia horizontalis*) à 10,80 %MS (*Mariscus cylindristachyus*) (Tableau 4). Toutefois, le taux de fibres des fourrages était plus élevé dans les fourrages collectés dans le phytodistrict de Pobè (24,90 à 43,50 %DM).

Tableau 4. Composition chimique des espèces fourragères les plus appréciées par les bovins Lagunaires

Espèces fourragères	Matière Sèche	Cendres totaux	Protéines Brutes	Fibres Brutes	Matière grasse
	%	%DM			
Phytodistrict de Pobè					
<i>Tridax procumbens</i>	95,52	10,24	22,50	36,10	2,30
<i>Mallotus oppositifolius</i>	89,86	12,16	10,10	24,90	2,30
<i>Spolobolus pyramidalis</i>	97,59	15,27	12,03	43,50	2,40
<i>Panicum maximum</i>	97,08	4,34	8,28	31,50	3,10
Phytodistrict de la Vallée de l’Ouémé					
<i>Mariscus cylindristachyus</i>	87,74	5,11	10,80	30,10	3,10
<i>Adropogon gayanus</i>	83,72	5,17	8,10	27,50	3,40
<i>Commelina benghalensis</i>	91,77	18,22	9,02	28,80	2,20
<i>Digitalia horizontalis</i>	93,54	6,30	8,90	30,30	2,50

4 DISCUSSION

4.1 ITINÉRAIRES ET DISTANCES DE PÂTURAGE

La prise de décision par rapport aux lieux de pâturage revenait aux éleveurs en fonction de la disponibilité d'espèces sur les pâturages. Dans la Vallée de l'Ouémé, pâturer dans les bas-fonds permettait aux animaux de satisfaire continuellement leur besoin d'ingestion au pâturage et aussi de s'abreuver à la fois [1]. Pâturant dans ces zones, les lagunaires y passaient plusieurs heures et se déplaçaient plusieurs fois sur les mêmes périmètres. Au-delà de ces considérations, la nature du berger qui était un Peulh pour le pâturage libre dans la Vallée était essentiel. En effet, la technicité des peulhs dans la gestion des troupeaux pourrait être un atout dans la recherche de ressources alimentaires et du choix des zones de pâturage pour les bovins [15]. Ces raisons pourraient être la cause de la réduction de la distance parcourue par les bovins lagunaires en pâturage libre dans cette zone par rapport à Pobè ($6,27 \pm 0,97$ Km vs $7,86 \pm 1,07$ Km) ($p < 0,05$). Ces résultats sont similaires à ceux de [16] qui ont montré que les bergers influencent le parcours du troupeau en favorisant l'accessibilité aux ressources fourragères et en eau. Les propriétaires de bovins lagunaires jouaient un rôle important dans le déplacement des animaux en mode d'élevage hors palmeraie et influençaient considérablement le comportement du troupeau. Pour ce faire, ils jetaient des pierres sur les animaux qui avaient tendance à vite se déplacer ou de s'écarter du troupeau. Ces observations sont en concordance avec celles de [16] qui ont révélé que le berger joue un rôle important sur le déplacement et le comportement du troupeau.

Les bovins sous palmeraie étaient souvent installés dans les palmeraies proches de leur parc de stabulation dans les deux zones [17]. Mais contrairement aux Lagunaires en mode hors palmeraie, les lagunaires du phytodistrict de Vallée se déplacent plus que ceux de Pobè. Cela pouvait s'expliquer par la plus grande distance entre le parc de stabulation et les points d'attache dans le phytodistrict de Vallée comparée au phytodistrict de Pobè.

4.2 PRODUCTION DE BIOMASSE ET CAPACITÉ DE CHARGE

La production moyenne de biomasse ne variait pas significativement dans les deux types de pâturage. Cependant, il a été remarqué une différence entre les zones pour la biomasse totale et la biomasse des légumineuses ($p < 0,05$), avec les valeurs les plus élevées dans la vallée. Ainsi, que ce soit, en mode hors ou sous palmeraie, la production moyenne de biomasse totale et aussi bien celle des graminées et des légumineuses étaient plus grande dans les zones humides de la vallée que dans celle de Pobè. Toutefois, la biomasse des graminées ($564,08 \pm 331,09$ Kg.MS/ha) était plus importante que celle des légumineuses ($419,48 \pm 245,96$ Kg.MS/ha). Cette production plus importante de biomasse dans la Vallée de l'Ouémé a été remarquée par [18]. Les capacités de charge des pâturages des bovins lagunaires en sous et hors palmeraie, a montré que dans les deux phytodistricts, il faut en moyenne plus d'un hectare pour chaque U.B.T. (Unité Bétail Tropicale) qui pâture. Ce résultat est proche de celui [19] qui a obtenu une capacité de charge comprise entre 0,91 et 0,93 UBT/ha dans plusieurs zones de parcours. Toutefois, il est nettement moins élevé que celui de [13] selon qui, la production potentielle suivant le type de sol dans les pâturages guinéens varie de 2,5 à 3 tonnes de MS/ha à 13 tonnes de MS/ha, soit une capacité de charge de 145 jours UBT à 690 jours UBT de pâture. Cela justifie bien la dégradation actuelle des pâturages dans ces phytodistricts [20]. Plusieurs facteurs sont à l'origine de cette dégradation et inclus, le surpâturage dû à la transhumance du fait de la migration dans ces zones de

troupeaux venus des autres régions du pays y compris des pays limitrophes du Bénin [21]. Ainsi, pour maintenir un niveau d'exploitation durable de la zone étudiée, il serait important de respecter la capacité de charge obtenue et de mettre en place un système permettant la réglementation de la pâture des bovins lagunaires et la limitation des effectifs des troupeaux transhumants.

4.3 ESPÈCES FOURRAGÈRES APPÉTÉES

Les animaux durant le parcours consommaient une diversité d'espèces fourragères. Ils pâturaient souvent une vingtaine d'espèces, comme l'a aussi montré des travaux similaires ([1], [22]). La famille des Poacées est souvent la plus représentée, justifiant bien que les pâturages des zones sub-humides offrent les fourrages graminées, devant permettre de couvrir une partie des besoins des animaux [20].

La contribution des espèces telles que *Panicum maximum* et *Digitalia horizontalis* a été reconnue aussi dans les pâturages périurbains en Côte d'Ivoire [23]. Ces espèces fourragères sont des graminées fourragères qui résistent bien au piétinement et sont donc d'un grand intérêt pour l'affouragement en toute saison des animaux.

La teneur en protéine des espèces appréciées est dans la plupart des cas supérieure à 7 %MS et des taux de 22,5 %MS ont été observés chez certaines légumineuses. Ces résultats montrent bien que les ressources appréciées par les Lagunaires offrent des teneurs en protéine suffisante pour couvrir les besoins des animaux. Toutefois, les taux de fibres brutes étaient élevés pour certains des fourrages du phytodistrict de Pobè, tel que *Spolobolus pyramidalis*, du fait que l'espèce a été collectée à un stade de développement avancé en pleine saison pluvieuse. Les graminées à un stade de maturité avancée sont bien connues pour avoir une teneur élevée en éléments structuraux ([24], [25]).

5 CONCLUSION

Les pâturages exploités par les bovins lagunaires avaient des capacités de charge faible, moins d'un UBT à l'ha. Une vingtaine d'espèces étaient majoritairement appréciées par les bovins Lagunaires. Les espèces appréciées étaient principalement des graminées fourragères en plus d'autres espèces telles que *Tridax procumbens* et *Commelina benghalensis*. Les taux de protéines de ces espèces sont assez élevés 10 à 22 %MS, montrant bien que ces ressources sont adéquates pour l'alimentation de ces bovins dans ces zones. Des travaux futurs pourraient s'intéresser à la consommation alimentaire réelle des bovins Lagunaires et le statut nutritionnel des animaux, afin de mieux justifier l'adéquation des pâturages en zone sub-humide pour la conduite des Lagunaires sans complémentation.

REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leur gratitude aux éleveurs de Lagunaires des communes d'Adja-ouèrè et d'Adjohoun pour leur participation effective à toutes les étapes de la collecte des données relative à cette étude. Les auteurs remercient également la Fondation internationale pour la Science (IFS) pour le soutien financier à la réalisation de cette étude.

FINANCEMENT

La Fondation internationale pour la science (IFS), Stockholm, Suède, a soutenu financièrement cette étude par le biais de la subvention de recherche individuelle n° B/5863-2, qui a été accordée au premier auteur.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

BIK et BAA a conçu, planifié et supervisé l'étude; ES et SLG ont collecté, ES, SLG et BIK ont analysé, interprété les données; rédigé la première version du manuscrit; BAA a révisé le manuscrit.

CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêt.

REFERENCES

- [1] I. B. Koura, L. H. Dossa, B. D. Kassa & M. Houinato, «Adaptation of periurban livestock production systems to environmental changes: Feeding strategies of herdsmen in Southern Benin», *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 39 (1), 83-98p, 2015.
- [2] C. Salifou, M. Dahouda, G. Ahounou, S. Kassa, P. Tougan, S. Farougou, G. Mensah, S. Salifou, A. Clinquart & A. Youssao, «Evaluation of carcass traits of Lagunaire, Borgou and Zebu Fulani bulls raised on natural pasture in Benin», *JAPS, Journal of Animal and Plant Sciences* 22 (4): 857-871, 2013.
- [3] S. Kassa, G. Ahounou, G. Dayo, C. Salifou, O. Dotché, T. Issifou, P. Gandonou, G. Kountinhouin, G. Mensah & V. Yapi-Gnaoré, «Assessment and modeling of the milk production of Girolando, Borgou, Lagunaire and Azawak × Lagunaire crossbred cows raised in the semi-improved system in Benin», *Journal of Applied Biosciences*, 103 (1): 9829-9840, 2016.
- [4] B. I. Koura, A. Vastolo, D. D. Kiatti, M. I. Cuttrignelli, M. Houinato & S. Calabrò S, «Nutritional Value of Climate-Resilient Forage Species Sustaining Peri-Urban Dairy Cow Production in the Coastal Grasslands of Benin (West Africa)», *Animals*, 12 (24), 3550, 2022.
- [5] B. Kombate, M. Dourma, F. Folega, A. Y. Woegan, K. Wala & K. Akpagana «Diversité floristique et caractérisation structurale des formations boisées du domaine Soudano-Guinéen au Centre du Togo», *Afrique Science*, 17 (6), 29-43, (2020).
- [6] M. C. Ahozonlin & L. H. Dossa, «Diversity and resilience to socio-ecological changes of smallholder Lagune cattle farming systems of Benin», *Sustainability*, 12 (18): 7616, 2020.
- [7] S. O. Houessou, S. F. U. Vanvanhossou, F. P. Yassegounbe, A. D. Adenile, M. Dahouda, V. P. Guimaraes & L. H. Dossa, «Typology of goat farming systems in rural areas in Benin with a view to a subsequent study of their sustainability», *Archivos de zootecnia*, 70 (271), 318-330, 2021.
- [8] A. Akouegninou, W. J. Van der Burg & L. J. G. Van der Maesen, «Flore Analytique du Bénin», Wageningen University. p. 1034, 2006.
- [9] IGN, «Fond topographique du Bénin», République du Bénin, Cotonou, 1992.
- [10] N. Zampaligre & S. Eva, «Livestock foraging behavior on different land use classes along the semi-arid to sub-humid agro-ecological gradient in West Africa», *Environ Dev Sustain*, 2017. DOI 10.1007/s10668-017-9907, 2017.
- [11] O. Diatta, «Dynamique saisonnière et interannuelle de la strate herbacée des parcours sahéliens du Sénégal (crz-dahra, nord-Sénégal)», *Doctoral dissertation*, UCAD, 2021.
- [12] P. Lesse, M. Houinato, F. Azihou, J. Djèntonin & B. Sinsin, «Typologie, productivité, capacité de charge et valeur pastorale des pâturages des parcours transhumants au Nord Est de la République du Bénin», *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 14 (1), 132-150, 2016.
- [13] G. Boudet, «Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères», *La documentation française*, Paris, France, 266 p., 1991.
- [14] AOAC (Official Methods of Analysis), Vol. 2, 18th ed.; Association of Official Analytical Chemists: Arlington, VA, USA, 34, 2005.
- [15] H. S. Korombé, I. Soumana, A. A. M. Lawal, I. Djibo & S. Atta, «Typologie et caractéristiques des pâturages de la commune urbaine de Téra dans l'ouest du Niger», *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 77, 1-12, 2024.
- [16] A. Diallo, «Savoir locaux et pratiques de conduite des troupeaux au pâturage. Élaboration d'une méthode d'étude», *Mémoire d'ingénieur du Développement Rural de l'université polytechnique de Bobo Dioulasso*, Option: Elevage. Bobo Dioulasso, Burkina Faso. 86 pp, 2006.
- [17] M. C. Ahozonlin & L. H. Dossa, «Productive and reproductive performances of smallholder West African shorthorn Lagune cattle herds under village conditions in Southern Benin», *Tropical Animal Health and Production*, 54 (2), 1-10, 2022.
- [18] P. C. Tobada, S. G. Ahounou, O. I. Dotché, M. Dilanon, C. A. A. G. Ahokpossi & I. A. K. Youssao, «Caractéristiques de l'élevage des bovins de race lagunaire dans la vallée de l'Ouémé», *Revue internationale des sciences appliquées*, 1 (3), 20-28, 2018.
- [19] L. E. Akpo, D. Masse & M. Grouzis, «Length of Fallow Period and Pastoral Value of Herbaceous Plants in the Sudanese Zone of Senegal», *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 55 (4): 275-283, 2002. doi: 10.19182/remvt. 9815.
- [20] S. H. S. Honvou, B. A. Aboh, C. Sewade, O. Tekka, B. C. Gandonou, M. Oumorou & B. Sinsin, «Diversité floristique, structure et distribution des groupements végétaux des parcours d'accueil des transhumants dans la Basse et Moyenne Vallée de l'Ouémé au Bénin», *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15 (1), 81-96, 2021.
- [21] S. H. S. Honvou, A. B. Aboh, T. E. K. A. Oscar, C. Sewade, B. C. Gandonou, M. Oumorou & B. Sinsin, «Modélisation de la dynamique de l'occupation du sol des parcours des transhumants dans la Basse et Moyenne Vallée de l'Ouémé (Bénin)», *Sciences and Technologies for Sustainable Agriculture*, 2 (1), 18-29, 2022.

- [22] E. Sonon, G. G. Alowanou, B. I. Koura, O. J. Makinde & A. B. Gbangboche, «Grazing Behavior of the Endemic Lagune Cattle in the Sub-Humid Savannahs of Benin», IGC Proceedings (1993-2023). 33., 2023. <https://doi.org/10.13023/zp0e-7440>.
- [23] G. S. Kouadja, A. F. Kouassi & K. E. Kouadio, «Biodiversité, typologie et qualité du fourrage des parcours naturels périurbains de Bouaké au Centre de la Côte d'Ivoire», *Journal of Animal & Plant Sciences (J.Anim.Plant Sci.* ISSN 2071-7024) Vol.52 (1): 9362-9376, 2022. <https://doi.org/10.35759/JAnmPLSci.v52-1.2>.
- [24] G. Lemaire & G. Belanger, «Allometries in plants as drivers of forage nutritive value: A review», *Agriculture*, 10 (1), 5, 2019.
- [25] B. I. Koura, A. Vastolo, L. H. Dossa, M. I. Cutrignelli, N. Musco, M. Houinato & S. Calabrò «Nutritive value and in vitro methane production of two perennial grasses under different stocking rates in periurban areas of west-Africa», Vol 24 (2), 2021. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3471>.

Real Profiles of the Temperature and the Photovoltaic Parameters in an Uncooled Silicon PV cell Submitted to an Increasing Light Concentration

Idrissa Sourabie¹⁻², Mahamadi Savadogo¹, Amadou Konfe¹, Assane Diouf³, Lamine Zida¹, Issa Zerbo¹, and Martial Zoungrana¹

¹Laboratoire d'Énergies Thermiques Renouvelables (L.E.T.RE), Département de Physique, UFR Sciences Exactes et Appliquées, Université Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou, Burkina Faso

²Laboratoire de Chimie Analytique, de Physique Spatiale et Énergétique (L@CAPSE), UFR Sciences et Technologies, Université Norbert ZONGO, Koudougou, Burkina Faso

³Equipe de Recherche en Énergies Renouvelables, Matériaux et Laser (2ERML), Département de Physique, Université Alioune DIOP de Bambey, Bambey, Senegal

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

ABSTRACT: The main objective of this study is to determine the real impact of light concentration increase on the parameters of an uncooled PV cell. To obtain results close to the reality, this study takes into consideration the effect of the PV cell heating inherent to light concentration and which is characterized by temperature increase. On the Basis of the thermal model, the temperature profile versus light concentration is determined. And photovoltaic parameters are extracted from the electrical model. Subsequently concentration ratio influence on these photovoltaic parameters is studied. The results indicate that the PV cell's temperature increases rapidly with light concentration. It appears that diffusion parameters rise when concentration ratio varies from $C = 1$ Sun where the temperature is $T=323.31$ K to $C = 12.51$ Suns where the temperature is $T=507.32$ K. Beyond $C = 12.51$ Suns, these diffusion parameters decrease. The results also indicate a strong increase in current density with concentration ratio. This is explained by the fact that concentration ratio and temperature increase are favorable factors for the current. Contrary to many authors, this work shows that the photo-voltage and the conversion efficiency decrease with increasing concentration. This is explained by the antagonism of the effects of concentration and temperature increase on photo-voltage. For concentrations ranging from $C = 1$ Sun to $C = 6$ Suns the maximum power increases and decreases beyond $C = 6$ Suns. For an uncooled silicon PV cell, these results reflect the performance drop with increasing light concentration ratio.

KEYWORDS: Thermal model, Temperature profile, Concentration ratio, Photo-voltage, Conversion efficiency, operating point.

1 INTRODUCTION

Many authors have worked on light illumination level influence on photovoltaic parameters. Some of them realized their works under illumination levels lower than one Sun [1-7]. Others have also worked under illumination levels higher than one Sun, where the illumination is said to be concentrated [8-19].

Geisz et al. [8], Chancerel et al. [9], Peters et al. [10], Zoungrana et al. [11] and Khan et al. [15] showed in their works that the light concentration increase leads to the rise of the open-circuit voltage, to that of the conversion efficiency and to that of the fill factor. Zhe Li et al. [1] and Glowienka et al. [2] also obtained the same results under non-concentrated illumination levels. Zoungrana et al. [11] and Khan et al. [15] showed that short-circuit current increases linearly with increasing light concentration ratio. This result was also confirmed under non-concentrated illumination by Zhe Li et al. [1] and Glowienka et al. [2]. However, in the studies listed above, the PV cell is cooled and its temperature is assumed to be constant and equal to ambient temperature.

Indeed, a concentration photovoltaic system is often associated to a cooling system to obtain a concentrated photovoltaic-Thermal (CPV/T) hybrid system. A coolant fluid circulating in the cooling system collects the heat from the photovoltaic device. The PV panel or cell can thus be cooled. The hybrid concentration photovoltaic-thermal system (CPV/T) therefore provides energy not only in electrical form but also in the form of heat [20-24]. But, conventional cooling fluids (air and water) present a low thermal conductivity. One of the most recent methods of improving heat transfer is the use of nano-enhanced paraffin and nanofluids. Numerous studies showed that this new technique considerably improves the electrical and the thermal efficiency of the PVT hybrid system [25-30].

However, when the PV cell is uncooled, authors like Wang et al. [12] and Cui Min et al. [13] showed the rapid rise of the PV cell's temperature with light concentration increase. This was also showed by Nicoletti et al. [3] under non-concentrated illumination. In addition, several studies highlighted the temperature negative impact on the photovoltaic parameters. Thus, Elias et al. [4], Ciulla et al. [5], Singh et al. [7], Savadogo et al. [14] and Khan et al. [16] showed that temperature increase leads to a very small rise in current density and a strong drop in voltage, electric power and conversion efficiency. It therefore appears that a study of illumination level influence which does not consider the temperature variation impact, cannot lead to realistic results.

In one of our previous researches [18], we examined the influence of the light concentration on carriers' density. There, we took into account the PV cell's heating linked to the light concentration rising. It resulted that carriers' density is maximum at the rear-side of the PV cell's base. This conclusion contradicted with several studies by different researchers who worked on the same topic. In fact, these ones had assumed that the temperature remained constant and shown that carriers' density is maximum near the illuminated face.

This present study represents the continuation of our previous researches [18]. The main objective of this present work is to study the influence of light concentration ratio on the diffusion and the electric parameters of an uncooled silicon PV cell (diffusion coefficient, diffusion length, photocurrent, photovoltage, electric power and efficiency). We first determine the PV cell's temperature profile versus light concentration ratio. Thereafter, we study light concentration ratio influence on the photovoltaic parameters. The temperature variation effect which is a direct consequence of the light concentration ratio variation is also taken into consideration.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 THERMAL MODEL AND THE PV CELL TEMPERATURE PROFILE DETERMINATION

The Figure 1 illustrates a PV cell under light concentration. A convergent optical system placed before the PV cell allow the concentration of the incident light. The light concentration PV cell therefore receives the light power which is partially converted into electrical power. The rest of the power received is dissipated in thermal forms by natural convection and by radiation.

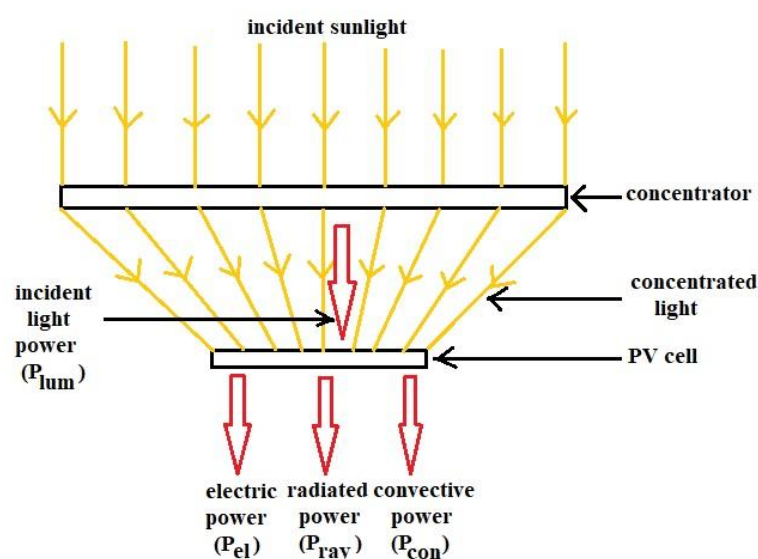


Fig. 1. Light concentrated PV cell's thermal model

The heat exchanges by convection and radiation take place at the front and back of the cell and are neglected on the lateral edges. The thermal convection coefficient is assumed to be the same at the front and the back of the cell. The emissivity is also assumed to be the same at the front and back of the cell. Due to its thin thickness, the PV cell's temperature is assumed to be uniform.

On the basis of these assumptions, the powers exchanged by the PV cell are:

- The absorbed light power: $P_{lum} = \tau_0 \alpha_0 A_0 C P_{in}$ (1)

- The output electric power: $P_{el} = \eta \tau_0 \alpha_0 A_0 C P_{in}$ (2)

η gives the conversion efficiency [13,18]: $\eta = a(1 - bT)$ with $a = 0.425$ and $b = 0.00176$ (3)

- The power dissipated by radiation: $P_{ray} = A_{ray} \varepsilon \sigma (T^4 - T_0^4)$ (4)

- The power dissipated by convection: $P_{con} = A_c h (T - T_0)$ (5)

In steady-state, the light power absorbed by the PV cell is the sum of the output electric power and the powers dissipated in thermal forms. This results in the following thermal equation 6:

$$A_t \cdot T^4 + D_t \cdot T + E_t = 0 \quad (6)$$

With $A_t = -A_{ray} \varepsilon \sigma$; $D_t = \tau_0 \alpha_0 A_0 C P_{in} ab - A_c h$ and $E_t = \tau_0 \alpha_0 A_0 C P_{in} (1 - a) + A_r \varepsilon \sigma T_0^4 + A_c h T_0$.

τ_0 is the concentrator transmissivity and α_0 the cell's absorption coefficient, A_0 the PV cell's surface, C light concentration ratio. P_{in} the incident solar light power density which is $P_{in} = 1000 \text{ W} / \text{m}^2$ under AM 1.5 standard conditions [11,14]. A_{ray} is the radiative surface, ε its emissivity and $A_{ray} = 2A_0$. $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W} / \text{m}^2 \text{K}^4$ is the Stefan-Boltzmann coefficient. A_c is the convective surface, h its convection coefficient and $A_c = 2A_0$.

Table 1. Nomenclature

Input parameters		N_b	the doping density (cm^{-3})
τ_0	concentrator transmissivity	A_n	constant linked to intrinsic density ($\text{cm}^{-3} \cdot \text{K}^{-\frac{3}{2}}$)
α_0	PV cell absorption coefficient	ε	PV cell surface emissivity
A_0	PV cell surface (m^2)	T_0	ambient temperature (K)
A_{ray}	radiative surface (m^2)	Output parameters	
A_c	convective surface (m^2)	T	PV cell temperature (K)
h	PV cell surface convection coefficient ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)	D^c	diffusion coefficient ($\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
k	The Boltzmann coefficient (J/K)	L^c	diffusion length (cm)
q	Elementary charge (C)	J_{ph}	current density ($\text{A} \cdot \text{cm}^{-2}$)
C	light concentration ratio (Suns)	V_{ph}	photovoltage (V)
P_{in}	incident solar light power density (W / m^2)	P	electric power ($\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2}$)
a, b	coefficient in electric efficiency expression	P_{max}	maximum power ($\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2}$)
C_{th}	Coefficient linked to the thermal-generation rate	P_{inc}	absorbed power ($\text{mW} \cdot \text{cm}^{-2}$)
σ	Stefan-Boltzmann coefficient ($\text{W} / \text{m}^2 \text{K}^4$)	η	conversion efficiency (%)

2.2 ELECTRICAL MODEL AND DETERMINATION OF THE PV CELL DIFFUSION AND ELECTRIC PARAMETERS

In this study, we use a back-surface field (BSF) PV cell of (n⁺-p-p⁺) type [14,18]. The PV cell is illuminated with an incident light of variable concentration C (in Suns). The contribution of the emitter to the current density is neglected and we only consider the base contribution [14,18]. In the cell base, electrons distribution is non-uniform because of the illumination high level [14,18]. The non-uniform distribution of the electrons in the cell base leads to the taking into account of the electric field related to electrons concentration gradient in the base [11,14,18]. Figure 2 shows how the electric field of the concentration gradient of the electrons is oriented.

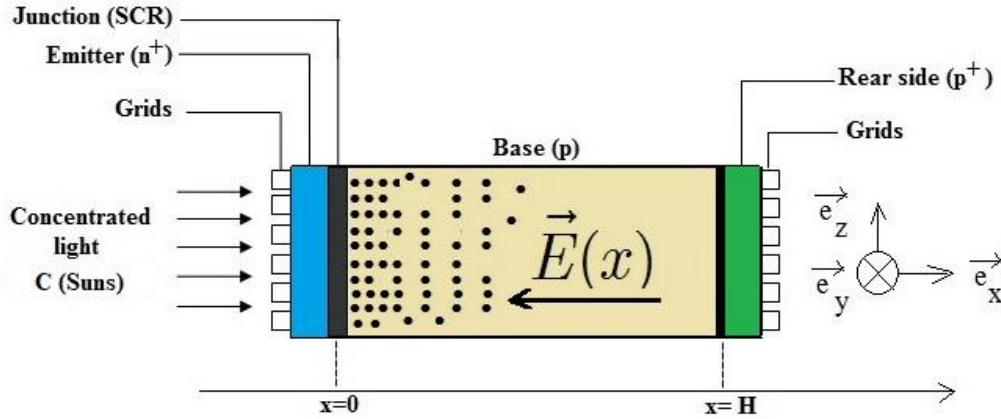


Fig. 2. Electrical model of a silicon PV cell under light concentration

The electric field of the concentration gradient of the electrons is expressed by the equation 7 below [11,14,18]:

$$E(x) = \frac{D_p - D_n}{\mu_n + \mu_p} \cdot \frac{1}{\delta(x)} \cdot \frac{\partial \delta(x)}{\partial x} \quad (7)$$

On the Basis of our assumptions, we determine the carrier's continuity equation given by:

$$\frac{\partial^2 \delta(x)}{\partial x^2} - \frac{\delta(x)}{(L^c(T))^2} = -\frac{G_n}{D^c(T)} \quad (8)$$

• The diffusion parameters

In equation 8, $\delta(x)$ represents the carrier's density at the PV cell base depth x. $D^c(T)$ and $L^c(T)$ respectively represents the diffusion coefficient and length versus temperature T given by equation 9 and 10:

$$D^c(T) = \frac{\mu_n(T)[2D_n(T) - D_p(T)] + \mu_p(T)D_n(T)}{\mu_n(T) + \mu_p(T)} \quad (9)$$

$$L^c(T) = \sqrt{D^c(T) \tau} \quad (10)$$

In these equations 9 and 10, $D_n(T)$ and $D_p(T)$ respectively represents electrons and holes intrinsic diffusion coefficients versus temperature. $\mu_n(T)$ and $\mu_p(T)$ are respectively electrons and holes mobility coefficients versus temperature. G_n represents carriers generation rate which corresponds to the sum of two components as show in equation 11 [14,18, 31]:

$$G_n = G(x) + G_{th} \quad (11)$$

- $G(x)$ is the photo-generation rate: $G(x) = C \cdot \sum_{i=1}^3 a_i e^{-b_i x}$ (12)

- G_{th} is the thermal-generation rate: $G_{th} = C_{th} \times n_i^2$ (13)

C_{th} is given by $\tau = \frac{1}{C_{th} N_b}$ with N_b the doping density. n_i represents electrons intrinsic density and is expressed by [14,18,20]:

$$n_i = A_n \times T^{\frac{3}{2}} \times \exp\left(-\frac{Eg(T)}{2kT}\right) \quad (14)$$

A_n is a constant and for the silicon $A_n = 3.87 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3} \cdot \text{K}^{-\frac{3}{2}}$. k is the Boltzmann constant. $Eg(T)$ represents the energy gap and is expressed by [14,18, 32]:

$$Eg(T) = 1.1557 - \frac{7.021 \times 10^{-4} T^2}{T + 1108} \quad (15)$$

- **The current density**

The current density expression given by following equation 16 is obtained from Fick's law [11,14, 31].

$$J_{ph}(Sf, C) = q \cdot D^c(T) \cdot \left. \frac{\partial \delta(x, Sf, C)}{\partial x} \right|_{x=0} \quad (16)$$

- **The voltage**

The voltage expression is determined by applying Boltzmann relation and is given by equation (17) [11,14, 31]:

$$V_{ph}(Sf, C) = V_T \cdot \ln \left[\frac{\delta(x=0, Sf, C)}{n_0} + 1 \right] \quad (17)$$

In this expression, $V_T = \frac{kT}{q}$ is the thermal voltage and $n_0 = \frac{n_i^2}{N_b}$ represents carriers concentration at the thermodynamic equilibrium.

- **The electric power**

The output electric power resulting of the PV cell is given by equation (18) [11,14, 31]:

$$P(Sf, C) = V_{ph}(Sf, C) \times J_{ph}(Sf, C) \quad (18)$$

- **The conversion efficiency**

The conversion efficiency at different concentration ratios is calculated by using the following formula [11,14, 31]:

$$\eta(C) = \frac{P_{\max}(C)}{P_{inC}(C)} \quad (19)$$

$P_{\max}(C)$ and $P_{inC}(C) = \tau_0 \alpha_0 C P_{in}$ are respectively the maximum output power and the absorbed power density at light concentration C .

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 PV CELL TEMPERATURE PROFILE VERSUS LIGHT CONCENTRATION RATIO

This study is numerically conducted with the Matlab software. The extracted data are then used to plot the temperature profile by using the OriginPro 8 software. As shown by the thermal equation above, the heating of the light concentration PV cell is linked to the light concentration ratio. It is then possible to study the profile of the PV cell temperature, and so its heating through the light concentration ratio.

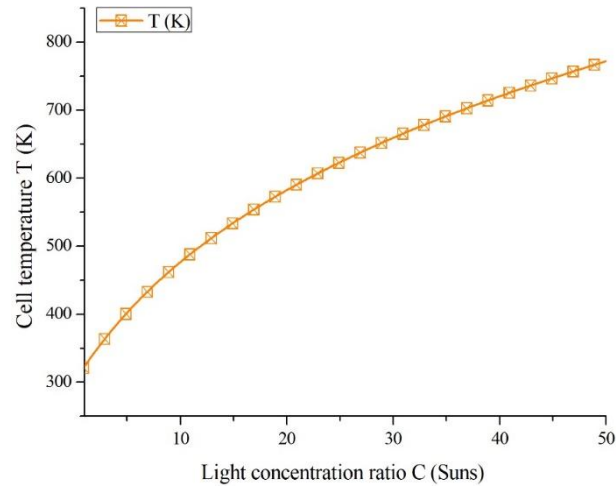


Fig. 3. The PV cell temperature profile versus light concentration ratio

Figure 3 gives the PV cell temperature profile versus light concentration ratio. Figure 3 shows an increase of PV cell temperature with the increasing light concentration ratio. Indeed, when the light concentration ratio increases, the heat quantity received by the PV cell rises and so does its temperature. When the concentration ratio goes from $C = 1$ Sun to $C = 50$ Suns, the PV cell temperature increases from 323.31 K to 771.97 K. This is equivalent to an increase of 157.32% in the PV cell's temperature. As the temperature increase in the bulk of the PV cell leads the decrease of its electric parameters [4, 5, 14,16], this significant variation rate of the temperature must necessarily be taken into consideration to obtain results close to reality.

3.2 INFLUENCE OF CONCENTRATION RATIO ON SILICON PV CELL DIFFUSION PARAMETERS

Figures 4 and 5 give respectively variations of the diffusion coefficient and the diffusion length in the PV cell base and under a variable light concentration ratio.

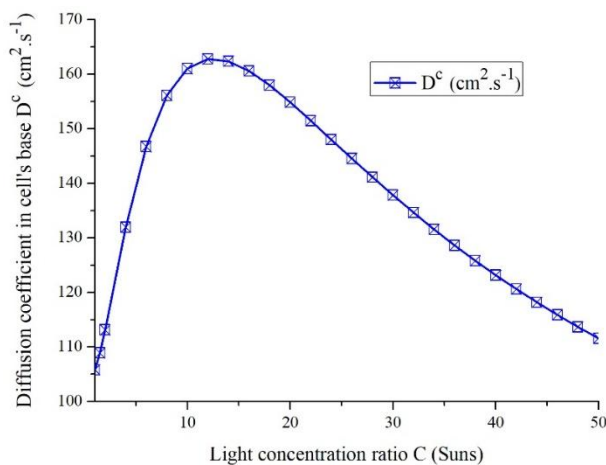


Fig. 4. Diffusion coefficient variations versus light concentration

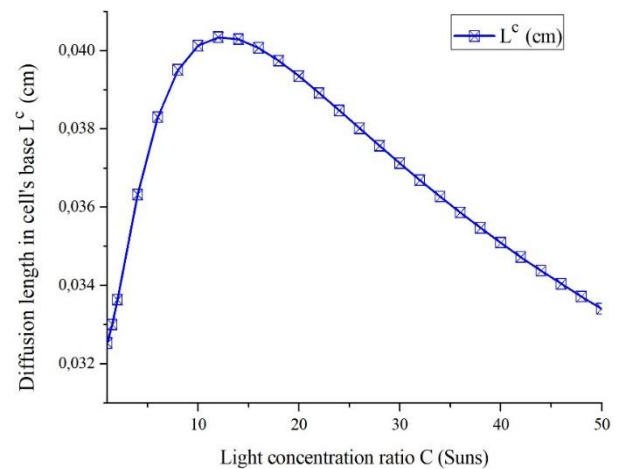


Fig. 5. Diffusion length variations versus light concentration

Figures 4 and 5 show that, when light concentration increases, the diffusion parameters rise to reach their maximums at $C = 12.51$ Suns which corresponds to the temperature $T=507.32$ K. At this value of light concentration, the maximum values of the PV cell diffusion parameters are respectively: $D_{\max}^c = 162.83 \text{ cm}^2.\text{s}^{-1}$ for the diffusion coefficient and $L_{\max}^c = 0.04 \text{ cm}$ for the diffusion length. This increase of the diffusion parameters with increasing light concentration can be explained by the increase of carrier density maxima shown in our previous study [18]. The increase of the carrier density maxima induces at the junction, an increase of the slope of the density curves. This translates into an increase in the number of carriers diffusing through the junction. This is equivalent to the diffusion parameters increasing with light concentration.

The increase of the diffusion coefficient characterizes that of the quantity of electrons which can cross the junction to participate to the photocurrent. This behavior of the diffusion coefficient suggests an increase of the current and a decrease of the voltage with the rise of concentration ratio. The increase of the diffusion length means that of average distance traveled by carriers before recombining. These results characterize a reduction of recombinations in the PV cell bulk, and then leads to the improvement of its performance.

Beyond $C = 12.51$ Suns, the diffusion parameters values drop with light concentration increase. The decrease in diffusion parameters beyond $C = 12.51$ Suns (the PV cell temperature is $T = 507.32$ K) is essentially explained by the negative effect of temperature on charge carrier diffusion. The decrease in carrier diffusion was shown in our previous article [18]. It so appears that beyond $C = 12.51$ Suns, an increase of light concentration causes the reduction of the PV cell electric parameters and then its performance.

The concentration ratio presents a positive effect on diffusion parameters for its values up to $C = 12.51$ Suns. The value $C = 12.51$ Suns of light concentration ratio which coincides to a temperature $T=507.32$ K corresponds to the maximum values of diffusion parameters. In the rest of our study, we consider light concentration ratios between $C = 1$ Sun ($T=323.31$ K) and $C = 12$ suns ($T=501.32$ K) to stay in the positive domain of light concentration ratio. In this interval, we work under temperatures $T \leq 501.32 \text{ K} < \theta_D = 645 \text{ K}$ where equations 14 and 15 remain valid [32, 33].

3.3 INFLUENCE OF LIGHT CONCENTRATION RATIO ON CURRENT DENSITY PROFILE

The curves in figure 6 give the current density profile for different values of light concentration ratio.

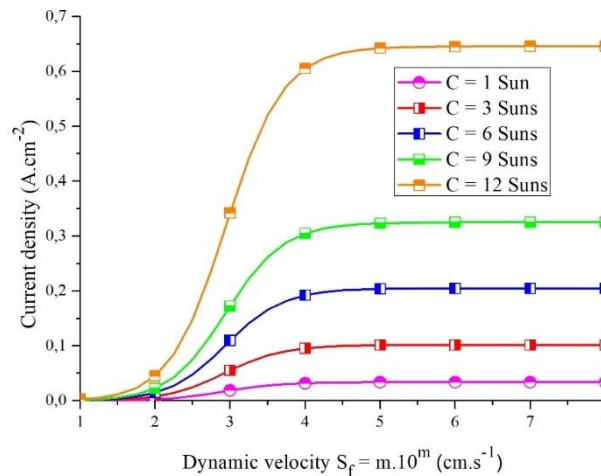


Fig. 6. Current density profile for different concentrations

We observe on these curves, an increase of current density with that of light concentration ratio. This increase in photocurrent can be explained by the increase in diffusion parameters with concentration. This was shown in the previous subsection for concentration ratios below 12.51 Suns ($C \leq 12.51$ Suns).

Thus, the increase of current density agrees with the behavior of the PV cell diffusion parameters under concentration ratio presented above. The increase of diffusion parameters with the rise of the light concentration ratio will lead to the augmentation of the quantity of electrons that can cross the junction and then the PV cell photocurrent.

Also, the rise of current density with concentration ratio observed in this study is greater than that observed by Zoungrana et al. [11] who have worked with a cooled concentration PV cell. Indeed, under concentration $C = 25$ Suns Zoungrana et al. [11] obtained a short-circuit current density of 0.783 A.cm^{-2} whereas at only $C = 12$ Suns, a short-circuit current density of 0.646 A.cm^{-2} is obtained in this present study. The strong increase of current density in this present study is due to temperature increase linked to the heating caused by concentration ratio increase. Both, temperature and concentration ratio increase, favor current density. Thus, under concentration and without cooling, the effects of concentration ratio and temperature combine to give a very strong current density.

3.4 INFLUENCE OF LIGHT CONCENTRATION ON THE PHOTOVOLTAGE PROFILE

Figure 7 shows for different concentration ratio, the photo-voltage profile versus the junction dynamic velocity (S_f).

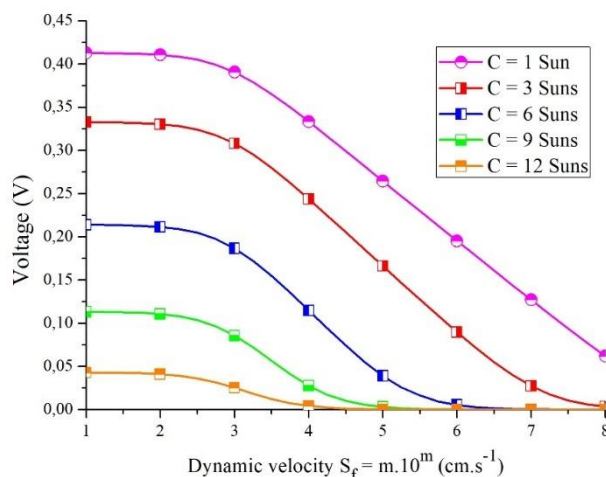


Fig. 7. Photo-voltage profile for different concentrations

It appears on curves of Figure 7, that the PV cell photovoltage decreases with the increase of light concentration ratio. This result agrees with the variation of diffusion parameters under concentration ratio which predicted a decrease in photo-voltage. This result disagrees with Geisz et al. [8], Chancerel et al. [9], Peters et al. [10] and Zoungrana et al. [11] who showed an increase in photo voltage with increasing concentration ratio. Indeed, in their works these authors did not take into consideration the temperature effect which is inherent to light concentration increase. As shown by many works [4,5,14,16], the temperature has a negative effect on the photo voltage. This negative effect of temperature increases with light concentration increasing. The temperature profile plotted above shows that cell temperature goes from 332.31 K to 501.32 K when concentration ratio goes from $C = 1$ Sun to $C = 12$ Suns.

The decrease in photo voltage is explained by the negative effect of temperature. Admittedly, the concentration of light has a positive effect on photo-voltage, which increases. However, the temperature negative effect turns out to be more important than concentration ratio positive effect, which is supposed to increase the photo-voltage.

3.5 INFLUENCE OF LIGHT CONCENTRATION ON THE POWER OUTPUT PROFILE

The curves in figure 8 give for different light concentration ratios, output power profile versus dynamic velocity (S_f).

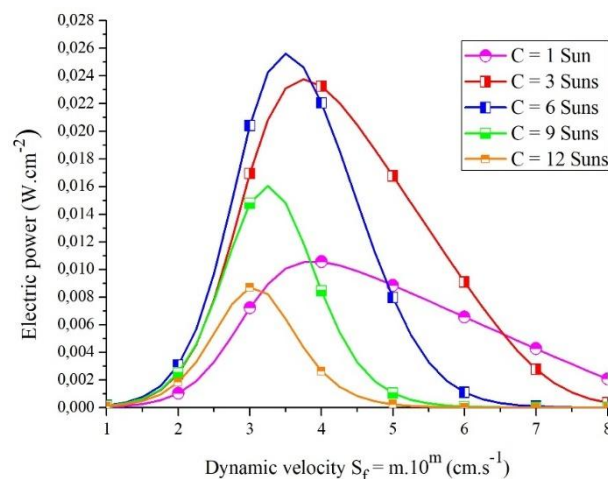


Fig. 8. Electric power output profile for different concentration ratios

Figure 8 shows that when the concentration ratio varies from $C = 1$ Sun to $C = 6$ Suns, the maximum output power increases. However, from $C = 6$ Suns to $C = 12$ Suns, this maximum power decreases. Indeed, from $C = 1$ Sun to $C = 6$ Suns, the increase in photocurrent is greater than the decrease in photo-voltage and therefore the output power increases. Beyond $C = 6$ Suns, the increase in photo-current becomes less important than the decrease in photo-voltage and therefore the power decreases with concentration ratio increase.

Figure 8 also shows that increasing concentration ratio causes a displacement of the maximum power point towards the open circuit. This displacement of the maximum power point is due to temperature effect. Indeed, Zounggrana et al. [11] worked on the concentration ratio influence and assumed a constant temperature and equal to ambient temperature ($T = 300$ K). In their work these authors did not notice the operating point displacement. However, Savadogo et al. [14] worked on the temperature influence on a solar cell subjected to a constant light concentration ($C = 50$ Suns). Contrary to the first ones, these authors showed the displacement of the maximum power point toward the open circuit with temperature increase.

3.6 INFLUENCE OF LIGHT CONCENTRATION ON THE CELLS OPERATING POINT AND CONVERSION EFFICIENCY

Table 2 gives, for various concentration ratios the corresponding values of the maximum output power, absorbed light power and conversion efficiency.

Table 2. Concentration ratios and corresponding values of maximum output power, absorbed light power and conversion efficiency

C (Suns)	1	3	6	9	12
Maximum power P_{max} ($mW.cm^{-2}$)	10.60	23.77	25.62	16.05	8.74
Absorbed power P_{inC} ($mW.cm^{-2}$)	56	168	336	504	672
Conversion efficiency η (%)	18.93	14.15	07.63	03.18	01.30

Table 2 shows that the conversion efficiency decreases with light concentration increase. Also, the study of the electric power showed an increase of the maximum power which goes from $10.60 mW.cm^{-2}$ to $25.62 mW.cm^{-2}$, when light concentration varies from $C = 1$ Sun to $C = 6$ Suns. This increase in maximum power corresponds to a variation rate of 141.70%. However, in the same concentration interval, the absorbed light power goes from $56 mW.cm^{-2}$ to $336 mW.cm^{-2}$. This is equivalent to a 500% increase in light power absorbed. It appears that maximum power output increase is slower compared to that of the absorbed light power. This fact induces the decrease of the conversion efficiency with concentration ratio increase. This decrease of the conversion efficiency is explained by temperature negative impact mainly on the photo-voltage and the maximum output power.

This result also disagrees with Geisz et al. [8], Chancerel et al. [9], Peters et al. [10], Zounggrana et al. [11] and Pérez-Higueras et al. [34] who did not take into account temperature effect and showed an increase of conversion efficiency with light concentration ratio.

4 CONCLUSION

In this work, we have investigated the influence of light concentration ratio on the performance of an uncooled silicon PV cell. This study is based on two models: a thermal model and an electrical one. On the Basis of the thermal model, the temperature profile of an uncooled PV cell submitted to a variable concentration ratio is determined. The diffusion and the electric parameters were extracted from the electrical model. Subsequently light concentration ratio influence on these parameters is studied. This study takes into account effect of heating caused by concentration ratio variation and which is characterized by the temperature increase.

The results indicate that the PV cell temperature increases very rapidly with light concentration. It also appears that diffusion parameters increase when concentration ratio varies from $C = 1$ Sun where temperature is $T=323.31$ K to $C = 12.51$ Suns where temperature is $T=507.32$ K. Beyond $C = 12.51$ Suns, these diffusion parameters decrease. The results also indicate a strong increase in current density with concentration ratio of an uncooled PV cell. This result is explained by the fact that current increases not only with concentration ratio but also with temperature. Concentration ratio and temperature are favorable factors for the current density.

Contrary to many authors, this work shows that the photovoltage and conversion efficiency decrease with increasing concentration ratio in an uncooled photovoltaic system. This is explained by the antagonism of the effects of light concentration and temperature on voltage. Indeed, light concentration contributes to increase the voltage while the generated temperature contributes to the reduction of this voltage.

ACKNOWLEDGMENT

The authors are thankful to Uppsala University, Sweden, for its support through the International Science Program (ISP).

REFERENCES

- [1] Z. Li, J. Yang, and P. A. N. Dezfali, «Study on the Influence of Light Intensity on the Performance of Solar Cell,» *International Journal of Photoenergy*, vol. 2021, Article ID 6648739, 2021.
- [2] D. Glowienka, and Y. Galagan, «Light Intensity Analysis of Photovoltaic Parameters for Perovskite Solar Cells,» *Advanced Materials*, vol. 34, no. 2, 2105920, 2022.
- [3] F. Nicoletti, M.A. Cucumo, V. Ferraro, D. Kaliakatsos, A. Gigliotti, «A Thermal Model to Estimate PV Electrical Power and Temperature Profile along Panel Thickness,» *Energies*, vol. 15, 7577, 2022.
- [4] E. M. Salilih, and Y. T. Birhane, «Modeling and Analysis of Photo-Voltaic Solar Panel under Constant Electric Load,» *Journal of Renewable Energy*, vol. 2019, Article ID 9639480, 2019.
- [5] G. Ciulla, V. L. Brano, and E. Moreci, «Forecasting the Cell Temperature of PV Modules with an Adaptive System,» *International Journal of Photoenergy*, vol. 2013, Article ID 192854, 2013.
- [6] F. Khan, S.N. Singh, and M. Husain, «Effect of illumination intensity on cell parameters of a silicon solar cell,» *Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol. 94, pp. 1473–1476, 2010.
- [7] P. Singh, and N. M. Ravindra, «Temperature dependence of solar cell performance—an analysis,» *Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol. 101, 36–45, 2012.
- [8] J. F. Geisz, R. M. France, K. L. Schulte, M. A. Steiner, A. G. Norman, H. L. Guthrey, M. R. Young, T. Song, and T. Moriarty, «Six-junction III-V solar cells with 47.1% conversion efficiency under 143 suns concentration» *Nature Energy*, vol. 5, pp. 326–335, 2020.
- [9] F. Chancerel, P. Regreny, J.-L. Leclercq, M. Volatier, A. Jaouad, M. Darnon, S. Fafard, M. Gendry, and V. Aimez, «Comparison of various InGaAs-based solar cells for concentrated photovoltaics applications,» *AIP Conference Proceedings*, vol. 2550, 020002, 2022.
- [10] I. M. Peters, C.D. Rodríguez Gallegos, L. Lüer, J. A. Hauch, C. J. Brabec, «Practical limits of multijunction solar cells,» *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 2023, pp. 1-10, 2023.
- [11] M. Zoungrana, I. Zerbo, M. Savadogo, S. Tiedrebeogo, B. Soro, and D. J. Bathiebo, «Effect of light intensity on the performance of silicon solar cell,» *Global Journal of Pure and Applied Sciences*, vol. 23, pp. 123-129, 2017.
- [12] Z. Wang, H. Zhang, W. Zhao, Z. Zhou, and M. Chen, «The effect of concentrated light intensity on temperature coefficient of the InGaP/InGaAs/Ge triplejunction solar cell,» *The Open Fuels and Energy Science Journal*, vol. 8, pp.106-111, 2015.
- [13] C. Min, C. Nuofu, Y. Xiaoli, W. Yu, B. Yiming, and Z. Xingwang, «Thermal analysis and test for single concentrator solar cells,» *Journal of Semiconductors*, vol. 30, no. 4, 2009.

- [14] M. Savadogo, B. Soro, R. Konate, I. Sourabié, M. Zoungrana, I. Zerbo, and D.J. Bathiebo, «Temperature Effect on Light Concentration Silicon Solar Cell's Operating Point and Conversion Efficiency,» *Smart Grid and Renewable Energy*, vol. 11, pp. 61-72, 2020.
- [15] F. Khan, S.-H. Baek, and J. H. Kim, «Intensity dependency of photovoltaic cell parameters under high illumination conditions: An analysis,» *Applied Energy*, vol. 133, pp. 356–362, 2014.
- [16] F. Khan, S.-H. Baek, and J. H. Kim, «Wide range temperature dependence of analytical photovoltaic cell parameters for silicon solar cells under high illumination conditions,» *Applied Energy*, vol. 183, pp. 715–724, 2016.
- [17] F. Pelanchon, C. Sudre, and Y. Moreau, «Solar cells under intense light concentration: Numerical and analytical approaches,» 11th European Photovoltaic Solar Energy Conference Montreux, 12-16 October, 1992.
- [18] M. Savadogo, P. O. F. Ouedraogo, A. Ouedraogo, L. Zida, M. Zoungrana, and I. Zerbo, «Uncooled PV cell under variable light concentration: Determination of profiles of the temperature, the intrinsic properties and the carrier density,» *International Journal of Physical Sciences*, vol. 17, no. 3, pp. 96-107, 2022.
- [19] F. Khan, S.-H. Baek, Y. Park, and J. H. Kim, «Extraction of diode parameters of silicon solar cells under high illumination conditions,» *Energy Conversion and Management*, vol. 76, pp. 421-429, 2013.
- [20] I. Ceylan, A. E. Gürel, A. Ergün, I. H. G. Ali, Ü. Agbulut, and G. Yıldız, «A detailed analysis of CPV/T solar air heater system with thermal energy storage: A novel winter season application,» *Journal of Building Engineering*, vol. 42, 103097, 2021.
- [21] Y. Ji, S. Lv, Z. Qian, Y. Ji, J. Ren, K. Liang, and S. Wang, «Comparative study on cooling method for concentrating photovoltaic system,» *Energy*, vol. 253, 124126, 2022.
- [22] D. Santos, A. Azgın, J. Castro, D. Kizildag, J. Rigola, B. Tunçel, R. Turan, R. Preßmair, R. Felsberger, and A. Buchroithner, «Thermal and fluid dynamic optimization of a CPV-T receiver for solar co-generation applications: Numerical modelling and experimental validation,» *Renewable Energy*, vol. 211, pp. 87–99, 2023.
- [23] G. Wang, Z. Zhang, Z. Chen, «Design and performance evaluation of a novel CPV-T system using nano-fluid spectrum filter and with high solar concentrating uniformity,» *Energy*, vol. 267, 126616, 2023.
- [24] S. Jowkar, X. Shen, M. R. Morad, and G. Olyaei, «A numerical modeling of thermal management of high CPV arrays using spray cooling,» *Applied Thermal Engineering*, vol. 230, 120823, 2023.
- [25] O. Mahian, A. Kianifar, S. A. Kalogirou, I. Pop, S. Wongwises, «A review of the applications of nanofluids in solar energy,» *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 57, pp. 582–594, 2013.
- [26] H. Celik, M. Mobedi, O. Manca, and B. Buonomo, «Enhancement of heat transfer in partially heated vertical channel under mixed convection by using Al₂O₃ nanoparticles,» *Heat Transfer Engineering*, vol. 39, no. 3, pp. 229-240, 2017.
- [27] M. Sannad, A. Btissam, B. Lahoucine, «Numerical Simulation of the Natural Convection with Presence of the Nanofluids in Cubical Cavity,» *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2020, Article ID 8375405, 2020.
- [28] M. Arun, D. Barik, K. P. Sridhar, M. S. Dennison, «Thermal Performance of a Dimpled Tube Parabolic Trough Solar Collector (PTSC) with SiO₂ Nanofluid,» *International Journal of Photoenergy*, vol. 2022, Article ID 8595591, 2022.
- [29] D. Barik, S. S. R. Chandran, M. S. Dennison, T. G. Ansalam Raj, and K. E. Reby Roy, «Investigation on Fluid Flow Heat Transfer and Frictional Properties of Al₂O₃ Nanofluids Used in Shell and Tube Heat Exchanger,» *International Journal of Photoenergy*, vol. 2023, Article ID 6838533, 2023.
- [30] A. Kazemian, M. Khatibi, S. R. Maadi, and T. Ma, «Performance optimization of a nanofluid-based photovoltaic thermal system integrated with nano-enhanced phase change material,» *Applied Energy*, vol. 295, 116859, 2021.
- [31] N. Dieme, B. Seibou, M. A. Ould El Moujtaba, I. Gaye, and G. Sissoko, «Thermal behavior of a parallel vertical junction Silicon photocell in static regime by study of the series and shunt resistances under the effect of temperature,» *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, vol. 2, no. 1, 2015.
- [32] N. M. Ravindra, and V.K. Srivastava, «Temperature Dependence of the Energy Gap in Semiconductors,» *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, vol. 40, pp. 791-793, 1979.
- [33] S. Reggiani, M. Valdinoci, L. Colalongo, M. Rudan, and G. Baccarani, «An Analytical, Temperature-dependent Model for Majority- and Minority-carrier Mobility in Silicon Devices,» *The Gordon and Breach Science Publishers imprint*, vol. 10, no.4, pp. 467-483, 2000.
- [34] P. Pérez-Higueras, E. Munoz, G. Almonacid, and P.G. Vidal, «High concentrator photovoltaics efficiencies: present status and forecast,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 1810–1815, 2011.

Caractérisation de la chaîne de valeur bétail sur pied au marché autogéré de Bermo

[Characterization of livestock value chain at the Bermo self-managed market]

ADAM Mamadou¹, MAMN Garba², AMADOU Djafarou³, and MAHAMAN Sabiou⁴

¹Département d'Economie, Sociologie Rurales et Transfert de Technologies, Institut National de la Recherche Agronomique (INRAN), Niger

²Département de Gestion des Ressources Naturelles, Institut National de la Recherche Agronomique (INRAN), Niger

³Association pour le Redynamisation de l'Elevage (AREN), Master en économie et politique d'élevage, Niger

⁴Département de Gestion des Ressources Naturelles, Institut National de la Recherche Agronomique (INRAN), Niger

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

ABSTRACT: The marketing of livestock is an activity that adds value to animal products. It conducted in Niger, through more than 635 livestock markets managed by local authorities. This traditional management method has limited performance and has shown no room for improvement. Self-management is being tested to assess the impact of livestock marketing on the Bermo self-managed market. The methodology consisted of the development of questionnaires and interview guides following the strata of players driving the market based on bibliographic research. These tools were administered at the level of eleven strata bringing together 160 actors to collect primary data. Data analysis showed that the self-managed market improves livestock presentations and sales. It facilitates fair transactions and offers better prices, according to 90% to suppliers, in a testimonial system without additional charges. Wholesalers and collectors benefit from facilitating the process of purchasing livestock within the market. Despite the improvements in sale prices, the added values of suppliers and processors remain low compared to the added value of traders (more than 50%). Tax revenues constitute a significant source of income, the redistribution of which on the basis of a distribution key allows for proper functioning and shared and sustainable management of infrastructure. The self-managed market has a positive impact on the social and economic development of the community. It is an interesting model that can be popularized and applied on larger scales.

KEYWORDS: Self-managed market, livestock, management, transactions, added value, Niger.

RESUME: La commercialisation du bétail est une activité de valorisation des produits animaux. Elle se matérialise au Niger, par plus de 635 marchés à bétail gérés par les autorités locales. La gestion traditionnelle de marchés à bétail a montré des résultats. Face à ce constat, le marché autogéré est expérimenté dans la commune de Bermo. Ce travail vise l'évaluation de l'impact de ce marché autogéré. La méthodologie a consisté en l'élaboration et l'administration des questionnaires et des guides d'entretien au niveau de onze strates regroupant 160 acteurs animant le marché. Les résultats ont montré que le marché autogéré améliore les présentations et les ventes des bestiaux. Il facilite des transactions transparentes et offre de meilleurs prix selon 90% des enquêtés aux fournisseurs, dans un système de témoignage sans charges supplémentaires. Les grossistes et les collecteurs gagnent dans la facilitation du processus d'achat des bétails qui se font à l'intérieur du marché. Malgré, les améliorations des prix de vente, les valeurs ajoutées des fournisseurs et des transformateurs restent faibles comparativement au 50 % de valeur ajoutée des commerçants. Les recettes des taxes constituent une source importante de revenu dont la redistribution permet un bon fonctionnement, une gestion partagée et durable des infrastructures. Le marché autogéré a un

impact positif sur le développement social et économique de la collectivité. Il est un modèle intéressant pouvant être vulgarisé et appliqué sur des plus grandes échelles.

MOTS-CLEFS: Marché autogéré, cheptel, gestion, transactions, valeur ajoutée, Niger.

1 INTRODUCTION

Au Niger, la commercialisation du bétail et des produits d'élevage est une activité de valorisation des produits animaux sur des marchés traditionnels (hebdomadaires) ou modernes autogérés. Elle contribue au PIB ([1]) et est un excellent pourvoyeur d'emploi ([2], ([3]) pour les éleveurs et une source de revenus pour un grand nombre d'acteurs à travers leur intervention dans les transactions [2]. Elle contribue également pour une part importante à la mobilisation des ressources financières en faveur des communes. Elle se matérialise généralement sur le marché à bétail, caractérisé par non seulement un lieu de rencontre entre l'offre et la demande des produits animaliers [4] mais aussi comme un lieu de rencontre et d'échanges d'informations entre les principaux acteurs de la chaîne de commercialisation des animaux sur pieds et des produits d'élevages.

Il est répertorié plus de 635 marchés traditionnels à bétails [5], regroupés en marchés de collecte, de regroupement et terminaux et / ou frontaliers. La structuration des marchés dépend des champs spécifiques de leurs rayonnement géographique, de la nature des acteurs qui les animent et aux formes des transactions qui s'y opèrent [6]. Les modes de gestion strictement assurée par la mairie ou de gestion associée entre la mairie et les usagers, sont courants mais avec des performances mitigés [7]. Les municipalités collaborent avec les pouvoirs locaux et des intermédiaires appelés « Dillali en Haoussa » [8] qui tirent le maximum de profit au détriment de fournisseurs [2], [9], [10]. Les transactions sont souvent sujettes à des conflits [8] entre les parties prenantes par manque de transparence. Les modes de gestion traditionnelle des marchés ont montré leurs limites. Ils sont fortement remis en cause pour leurs mauvaises conditions de travail parfois dangereuse pour la santé [7], le faible taux recouvrement des taxes et une utilisation opaque des recettes des taxes, bien qu'une clé de répartition ait été établi par arrêté ministériel au Niger.

Par contre, le type de marché autogéré (en gérance libre) est un exemple probant pour un meilleur fonctionnement et une bonne gestion des marchés [7]. Le marché à bétail autogéré est une approche originale, née à Gogounou au Bénin dans les années 1970, permettant une meilleure distribution des retombés relatifs aux processus de commercialisation. L'autogestion permet également des transactions transparentes au niveau de ces marchés à bétail. Elle assure une augmentation des revenus des fournisseurs (éleveurs) sans incidence sur les intérêts des autres acteurs [8]. Elle est bien organisée car elle implique tous les acteurs dans sa gestion [6], [11]. Dans ce système de gestion, les intermédiaires sont remplacés par des témoins de vente. Ce type de gestion de marché est expérimenté depuis 2012 sur le marché à bétail de Bermo.

Ce travail vise à évaluer les avantages économiques et sociaux du marché autogéré de Bermo par l'analyse de son fonctionnement et les revenus qu'il génère pour une éventuelle mise à échelle.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIELS

2.1.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE DE L'ÉTUDE

Le marché de Bermo est une expérience unique d'autogestion de marché à bétail au Niger. Il a été créé en 2012 dans la commune urbaine de Bermo, situé dans la partie nord du pays, entre 2° 10' et 2° 14' de longitude Est et 13° 33' et 13° 36' de latitude Nord. Bermo couvre une superficie de 6496 km², pour une population de 51 121 habitants répartie entre les communes de Bermo et de Gadabedji, essentiellement des Peulh bororos et des Touareg.

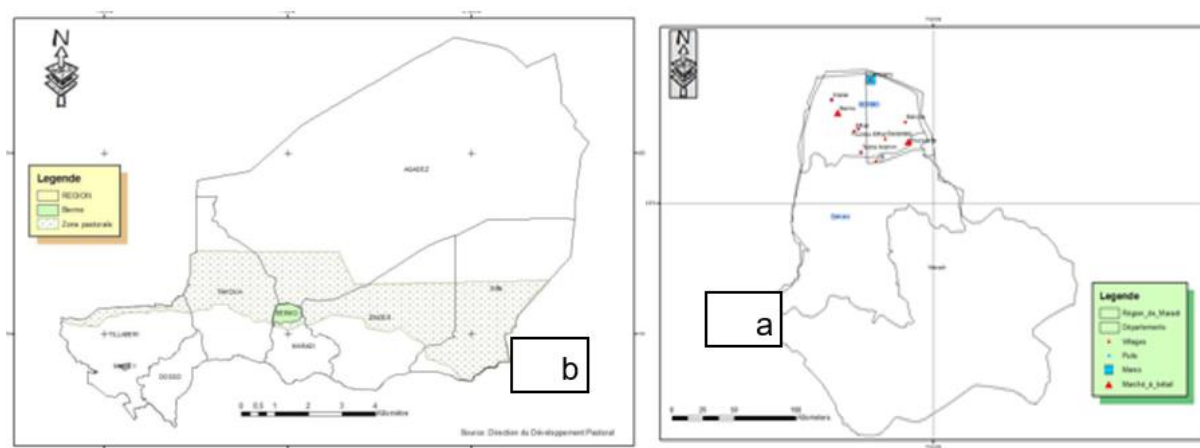


Fig. 1. Présentation de la zone d'étude

2.1.2 ECHANTILLONNAGE

Le calcul d'un plan d'échantillonnage idéal a été compliqué à cause de la disparité des acteurs et des difficultés de dénombrement des groupes d'acteurs souvent en transhumance/déplacement dans plusieurs régions d'un même ou différents pays. L'échantillon a été constitué en tenant compte non seulement de la mobilité et la diversité des acteurs mais aussi de la sporadicité et de l'irrégularité de leurs fréquentations du marché. Ainsi, une sélection raisonnée a permis de constituer un échantillon représentatif par groupe d'acteurs intervenants sur le marché. L'échantillon est constitué de tous les acteurs dont les effectifs sont connus et peu nombreux (maire, chefs traditionnels, percepteurs, témoins, convoyeurs, transporteurs, bouchers, etc.) et de quelques des acteurs dont le recensement est impossible (éleveurs, agropasteurs, etc.) compte tenu de plusieurs facteurs (ressources, temps limités, etc.). Ainsi 11 groupes d'acteurs ont constitué la taille de l'échantillon.

Tableau 1. Echantillonnage

Types d'acteurs	Nombre d'enquête	Pourcentage
Municipalité	1	0,6
Chefs traditionnels	3	1,9
Percepteurs de taxes	8	5,0
Intermédiaires/témoins	12	7,5
Eleveurs	74	46,3
Commerçants	16	10,0
Convoyeurs	15	9,4
Transporteurs	10	6,3
Bouchers	17	10,6
Organisation de base	3	1,9
Projets et ONG	1	0,6
Total	160	100

2.1.3 OUTILS DE COLLECTE DES DONNEES

La recherche bibliographique a été le premier outil utilisé pour la collecte des données de la littérature grise. Elle a été complétée du matériel technique de collecte des données, constitué des questionnaires physiques élaborés pour chaque type d'acteur fréquentant le marché de Bermo et des guides d'entretien pour la mairie, les services techniques d'élevages et ONG /associations de développement et de deux fiches de suivi hebdomadaire de présentation/ vente des animaux et leur prix sur le marché de Bermo. Ces outils ont été testés et stabilisés avant leur application les jours d'animation du marché autogéré.

2.2 MÉTHODES

2.2.1 COLLECTE DES DONNÉES

La synthèse de la littérature grise a permis de peaufiner les questionnaires sur le fonctionnement des marchés à bétail en général et celui des marchés autogérés en particulier.

Des entretiens systématiques et guidés ont été réalisés pour compléter la synthèse bibliographique. Ils ont été adressés aux services d'encadrement technique, à la municipalité, aux associations, aux membres du comité de gestion du marché et aux leaders pastoraux de la zone, afin d'approfondir les questionnaires appropriés pour chaque catégorie d'acteur. Ils ont porté sur les rôles et les missions des acteurs, les opinions des acteurs sur le mode de gestion des marchés à bétail, les contributions de ces marchés aux budgets de la commune, les succès et insuffisances enregistrés et enfin les propositions d'amélioration.

Les questionnaires individuels ont été administrés en trois tours. Ils ont permis de collecter des informations sur l'identité et l'environnement de chaque acteur, ses activités et sa perception sur les types de gestion des marchés. Les difficultés rencontrées dans la gestion des marchés traditionnels et autogérés ont été aussi recensées.

Onze différents groupes d'acteurs ont été interviewés et 160 questionnaires ont été renseignés. Deux fiches de suivi hebdomadaire des présentations et des identifications des animaux sur le marché ont été renseignées en huit semaines. Ils ont permis de faire des observations générales sur le marché et de recenser les espèces animales transitées sur le marché et leur prix de vente.

2.2.2 RECUEIL, TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNÉES

Les questionnaires ont été saisis, traités et analysés avec le tableur Microsoft office Excel 2007, afin d'analyser les données et d'établir éventuellement des tableaux et des figures.

3 RÉSULTATS

3.1 CARACTÉRISTIQUES SOCIALES DES ENQUÊTÉS

Les acteurs du marché de Bermo sont essentiellement des Haoussas, Peuls, Touaregs et Arabes, d'âges moyens compris entre 35 et 55 ans comme le montre les statistiques du tableau 3. Il est à noter la prédominance (63%) des agents de moins de 35 ans au niveau des percepteurs des taxes. Les femmes sont faiblement représentées qu'aux maillons fournisseurs /éleveurs (12,2%) et commerçants (31%). Plus de 60% acteurs sont mariés hormis les convoyeurs qui sont essentiellement des célibataires.

Tableau 2. *Caractéristiques sociologiques des enquêtés*

Variables	Modalités	Éleveurs (%)	Percepteurs (%)	Intermédiaires (%)	Convoyeurs (%)	Commerçants (%)	Bouchers (%)
Age	<35 ans	36,5	62,5	25	60	18,8	35,3
	35-55ans	47,3	37,5	33,3	20	31,3	47,1
	>55ans	16,2	0	41,7	20	50	17,6
Sexe	Homme	87,8	100	100	100	68,8	100
	Femme	12,2	0	0	0	31,3	0
Situation Matrimoniale	Marié	71,6	62,5	100	20	75	64,7
	Célibataire	20,3	37,5	0	80	6,3	29,4
	Divorcé (e)	4,1	0	0	0	6,3	5,9
	Veuf/veuve	4,1	0	0	0	12,5	0
Ethnie	Peulh	52,7	50	58,3	40	18,8	0
	Touareg	36,5	25	25	26,7	25	0
	Haoussa	6,8	25	16,7	33,3	43,8	100
	Arabe	4,1	0	0	0	12,5	0

3.2 CARTOGRAPHIE DE LA CHAÎNE DE VALEUR COMMERCIALISATION DU BÉTAIL

Cette cartographie est basée sur les deux maillons clés de la chaîne de valeur bétail sur pied (la production et la commercialisation) qui concernent le fonctionnement et la gestion du marché autogéré de Bermo. Cette limitation de l'étude permet de bien cerner les valeurs ajoutées créées et les avantages du marché autogéré. Ces deux fonctions sont assurées par plusieurs groupes d'acteurs directs et indirects. Les acteurs directs (Éleveurs, commerçants, bouchers, etc.) sont les plus nombreux mais n'interviennent pas dans les transactions de vente de bétail sur les marchés traditionnels. Par contre les quelques acteurs indirects (témoins/intermédiaires, collecteurs des taxes,) sont plus actifs dans la transaction de vente.

3.2.1 MARCHÉ AUTOGÉRÉ DE BERMO

Le marché autogéré de Bermo est un marché de regroupement où convergent principalement des animaux des fournisseurs directs et ceux achetés par des collecteurs spéculateurs sur des marchés de collecte, situés à la lisière des zones pastorales et agro-pastorales. Ces animaux sont vendus à des collecteurs ou des grossistes exportateurs qui les acheminent vers des marchés plus importants de consommation des grandes villes ou des marchés frontaliers. Les principaux acteurs sont des transformateurs et des consommateurs familiaux.

3.2.2 ACTEURS DIRECTS

Les acteurs directs sont les agents économiques directement concernés par les transactions (Offre/demande) sur le marché. Ce sont des fournisseurs (éleveurs, collecteurs revendeurs) et des acheteurs (grossistes, collecteurs et transformateurs du bétail).

La plupart des fournisseurs sont des éleveurs sur les marchés de collecte et de regroupement. Les éleveurs sont au début de la chaîne et constituent surtout la base de la chaîne de commercialisation du bétail. La fourniture du bétail sur pied est complétée par quelques collecteurs spécialisés dans la spéculation des animaux achetés sur les marchés environnant de collecte.

Les demandeurs sont surtout des commerçants grossistes et collecteurs spécialistes des spéculations qui achètent plusieurs bétails souvent en détail pour les revendre sur place ou sur un autre marché dès qu'une marge bénéficiaire intéressante est proposée. Les transformateurs sont des bouchers qui abattent quelques petits ruminants pour couvrir les demandes en viande surtout du jour du marché.

3.2.3 ACTEURS INDIRECTS

Le témoignage est l'une des innovations des marchés autogérés. Il facilite gratuitement les transactions entre les vendeurs et les acheteurs sans aucune influence directe sur les accords de vente et sans aucune obligation financière, contrairement aux poids importants et des incidences financières des intermédiaires sur les marchés traditionnels.

Les convoyeurs et les transporteurs assurent le déplacement d'un marché à un autre, d'un village à un autre, et parfois des marchés terminaux vers des marchés de consommation des grandes villes des pays voisins principalement le Nigéria.

Les autorités traditionnelles avaient une influence importante dans la gestion des marchés traditionnels. Quant aux autorités communales, elles assuraient la gestion et le fonctionnement du marché. A partir de 2012, certaines prérogatives des autorités traditionnelles et de la Mairie ont été confiées au Groupement d'Intérêt Economique, Kautal Lumaaku Duroobe (GIE/KLD) dans le cadre de l'autogestion du Marché de Bermo.

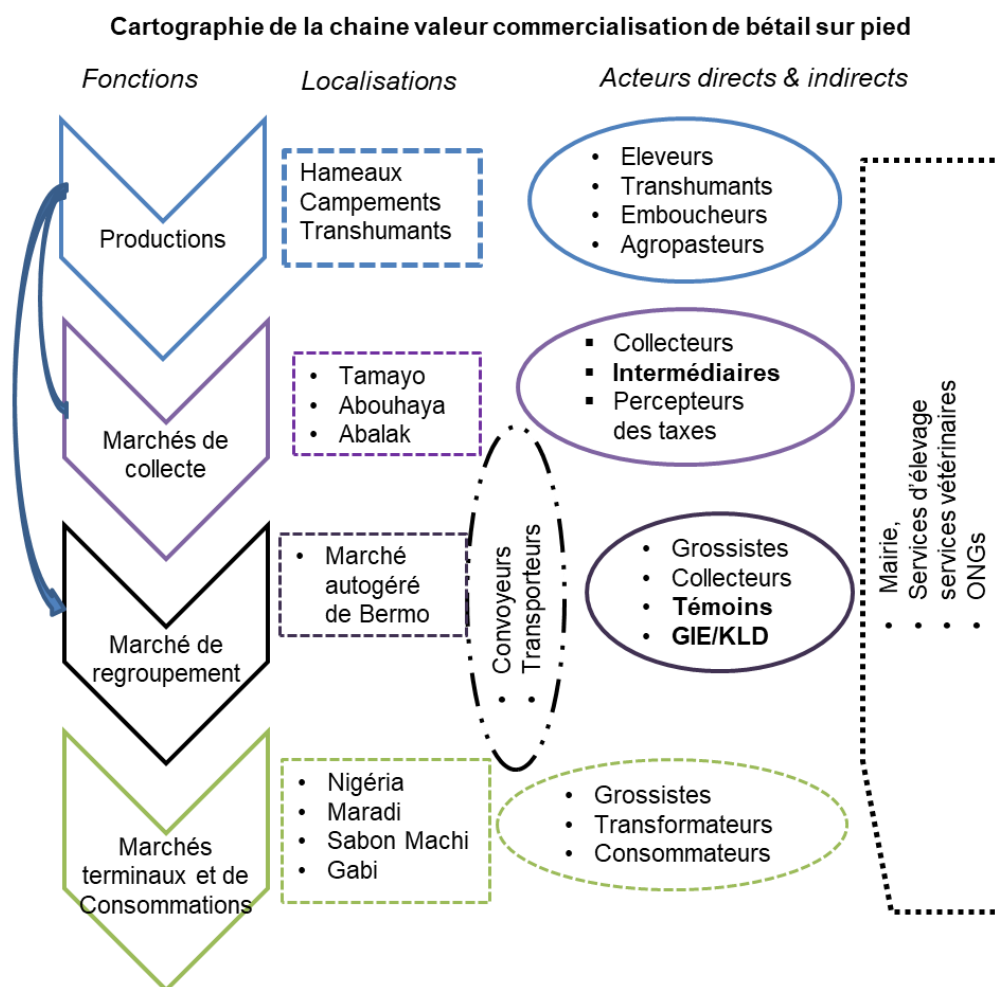


Fig. 2. Cartographie de la chaîne de valeur commercialisation du bétail sur pied

3.3 DYNAMIQUE DU MARCHÉ AUTOGERE DE BERMO

3.3.1 ACTEURS DE COMMERCIALISATION DE BETAIL DU MARCHÉ AUTOGERE DE BERMO

Les fournisseurs de bétail sont essentiellement des éleveurs transhumants (66%), des agro-éleveurs (22%) et des emboucheurs (12%). Quatre-vingt-dix pour cent 90% des fournisseurs ont estimé que le marché autogéré de Bermo offre des meilleurs prix de vente. Les clients sont des grossistes (37,5%) et des collecteurs (62,5%) spécialisés dans l'achat des petits ruminants (63 %), des bovins (25 %) et des asins (13%). Les transformateurs de la viande en sous-produits divers complètent la liste des acteurs. Ils sont actifs avec plus de 35% d'achats des animaux pour la transformation (vente de la viande et des abats) ou la revente dans une autre localité.

Le GIE/KLP assure la gestion du marché, des conflits entre les différents agents économiques et désigne les témoins de vente et les percepteurs. Le témoignage a permis des transactions transparentes, des ventes formelles cash et des conflits quasi inexistantes sur le marché, selon 85% des enquêtés. Les percepteurs recouvrent les taxes de présentation et d'identification des animaux.

Les convoyeurs sont chargés de conduire des animaux à pied sur une distance moyenne de 25 km par jour. Le convoyage est exclusivement pratiqué par des hommes (40 % des Peulhs, 33% des Haussa et 27% des Touaregs). Un convoyeur conduit en moyenne 30 têtes de petits ruminants, 8 têtes de gros ruminants et 15 têtes d'ânes par voyage. Les transporteurs utilisent des véhicules de volumes variables pour déplacer plus de 40% des animaux achetés par exemple sur le marché de Bermo.

3.3.2 OFFRE ET DEMANDE DE BETAIL LE MARCHE AUTOGERE DE BERMO

La commercialisation des petits ruminants domine les activités du marché autogéré de Bermo. Elle représente 73 % (42 % des ovins et 31 des caprins). Celle des gros animaux est de 27 % (23 % de bovins, 03 % d'asins et 1 % de camelins). Elle est plus importante durant la première période des enquêtes (figure 3). Plus de la moitié des animaux présentés est généralement vendue. Le taux de vente est 63,05 % des caprins, 58,06% des bovins, 53,73 % des ovins, 48,04% des asins et 43, 75% des camelins. Les effectifs des présentations et des ventes d'animaux sont présenté par la figure 3.

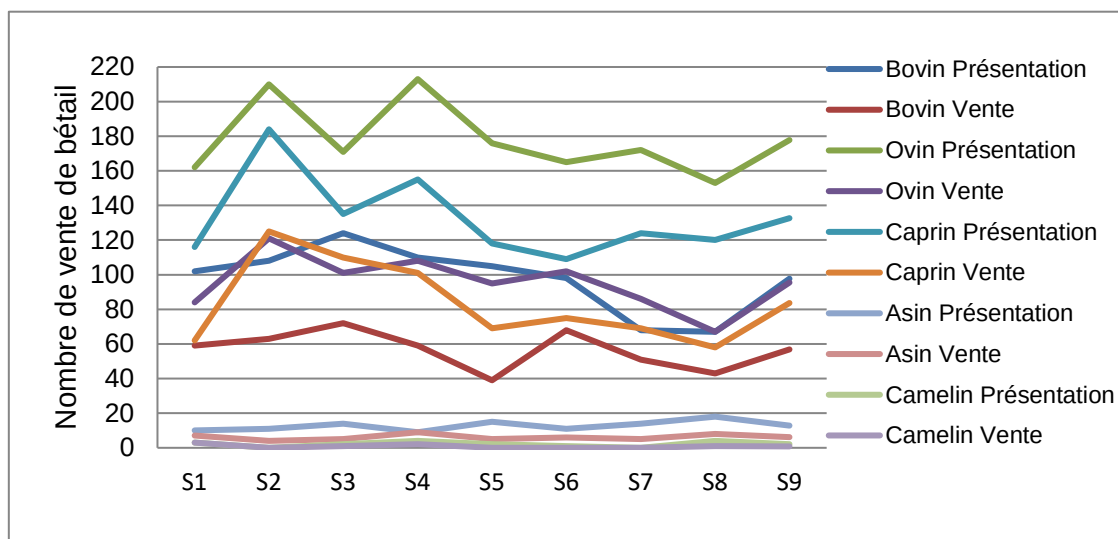


Fig. 3. Statistiques des présentations et des ventes durant neuf semaines

3.3.3 DÉTERMINANTS DU MARCHÉ AUTOGÉRÉ

Cette recette pourrait augmenter sensiblement si le taux de vente s'améliore sensiblement. Les taxes de présentation ne sont prélevées que sur les animaux vendus, la recette actuelles est constituée de 60% seulement des potentiels des ventes. Par contre le montant collecté des taxes d'identification ne changera pas puisqu'elles sont prélevées sur tous les animaux entrant dans le marché.

Tableau 3. Taxes de présentation et d'identification de bétail

	Année 1	Année 2	Année 3	Total	Moyenne	Ecart-type
Taxe Identification	40 66 524	5 576 931	6 362 887	16 006 342	5 335 447	845 949
Taxe présentation	354 557	551 187	571 562	1 477 306	492 435	91 919
Total	4 421 081	6 128 118	6 934 449	17 483 648	5 827 883	937 868

Les taxes collectées sont redistribuées entre les principaux responsables du fonctionnement et de la gestion du marché. Elles couvrent la redevance de la mairie (33%), le salaire des personnels employés sur le marché (25 %), l'entretien des infrastructures du marché (20%) et le reste (22%) revient au GIE/KLD, prestataire de services. Ce dernier formalise la rémunération jadis informelle de certains agents. Le salaire d'un témoin est fixé à 25 000 FCFA par mois, plus une gratification forfaitaire de 4 000 FCFA par jour de marché. La gratification d'un percepteur est fixée à 10% des recettes de la collecte des taxes par jour de marché.

Les fournisseurs négocient le prix de vente de leur bétail directement avec les acheteurs. Ils sont encadrés par des témoins afin qu'ils bénéficient des avantages et des informations sur les caractéristiques du marché. Ce faisant, ils arrivent à vendre leur bétail à des prix bien intéressants. Plus de 90% des fournisseurs enquêtés affirment que le prix de ventes des animaux est bien plus intéressant avec le mode d'autogestion que celui des marchés traditionnels ([18] Djafarou, 2019). Seuls les montants des taxes de présentation et d'identification sont de l'argent de la vente, puisque les témoins (intermédiaires dans les marchés traditionnels) ont désormais une gratification fixée par les textes du marché autogéré.

Les collecteurs et les grossistes bénéficient aussi de la restructuration apportée par l'autogestion du marché. Les collecteurs et les transformateurs créent de la valeur ajoutée fluctuant entre 20 et 25 % suivant la catégorie de bétail après déduction des coûts de transport/convoiyage et des coûts de transformation (salaire, investissements, autres charges). Les grossistes ont des marges bénéficiaires allant de 20 à 25 % des prix d'achat du bétail sur des grands marchés de regroupement, de consommations et terminaux. La valeur ajoutée varie entre 1 750 FCFA par petit ruminant et 12 500 FCFA par gros ruminant.

Les convoyeurs/transporteurs améliorent également leurs revenus grâce à l'augmentation des volumes des transactions bien que les frais de convoiyage/transport dépendent de la catégorie du bétail, de la période de l'activité et de la distance du trajet. A titre indicatif, sur une distance de 100 km, le frais de transport par véhicule d'un gros ruminant est de 3 565 FCFA en moyenne et celui d'un petit ruminant est de 930 FCFA. Les frais de convoiyage à pied des animaux sont variables et ne suivent plus une logique physique. Ils tournent autour de 500 FCFA sur une distance allant de 50 à 100 km et de 250 FCFA sur des distances inférieures 250 km. Les gros ruminants sont convoyés à 1 500 FCFA sur des distances allant de 50 à 100 km et 500 FCFA sur des distances inférieures à 50 Km.

4 DISCUSSION

L'approvisionnement en bétail du marché de Bermo est identique à la plupart des marchés de regroupement. L'offre est hebdomadaire et est constituée des animaux des agropasteurs riverains du marché et des quelques spéculateurs et collecteurs provenant des autres marchés [12-17]. Elle est majoritairement constituée des petits ruminants et surtout des males tel que décrit par [17-18].

Le marché autogéré est une amélioration de la gestion traditionnelle de marché à bétail vers une gestion rigoureuse et dynamique. Il est matérialisé par des infrastructures en matériaux définitifs et bien entretenus. Il est régi par des documents formels (statut/règlement) facilitant la tenue régulière des organes de gestion et une comptabilité à jour et bien gérée. Les différents coûts de transaction sont formalisés et les informations sur les caractéristiques du marché sont bien partagées et connues de tous les acteurs. Ce mode de gestion participative crée la confiance entre les acteurs animant le marché d'autant qu'il assure la transparence des transactions et de la gestion des revenus résultants par [6]. Il joue pleinement ses fonctions économiques, sociales et politiques tel que décrit par [7].

Le marché autogéré de Bermo est dominé par les petits ruminants, comme le confirment les travaux de Hadi [2], [18]. Cela s'explique par le fait que ce travail a été réalisé en saison des pluies, périodes d'abondance des fourrages naturels et frais permettant des productions abondantes en sous-produits laitiers (lait, fromages, beurre, etc.). La vente des sous-produits laitiers permet de générer de l'argent pour subvenir au besoin financier et alimentaire des ménages. En cas d'insuffisance des recettes pour subvenir au besoin du ménage, la vente de petits ruminants est suffisante pour combler les besoins supplémentaires. La vente de gros ruminants est pratiquement rare durant la saison des pluies surtout à cause de leur prix mois bénéfique.

Le marché autogéré a permis aux fournisseurs de vendre leur bétail à des prix plus intéressants que le marché traditionnel. Il gagne en plus les frais d'intermédiation puisque les intermédiaires sont convertis en témoins de vente sans frais et sans influence sur les négociations du prix entre les acheteurs et les revendeurs. Plus de 90 % des fournisseurs affirment avoir eu de meilleurs prix sur le marché autogéré. Bien que des données et des évidences manquent, on peut dire que ces améliorations sont proches des 25 % d'augmentation calculés sur les marchés autogérés de Gogounou au Bénin [10]. Il est également évident que la valeur ajoutée des fournisseurs s'améliore bien que son estimation reste assez compliquée à cause des difficultés d'évaluation des coûts de productions. Plusieurs charges sont très complexes à estimer dans le contexte actuel des élevages. La gestion des effectifs des animaux n'est pas raisonnée en termes de coûts/bénéfice ou de rentabilité. La mise en vente des animaux se fait en fonction des besoins du ménage sans tenir compte des conditions du marché notamment les prix tel que décrit par [9].

La suppression des intermédiaires de vente est bénéfique aussi pour les collecteurs et les grossistes. Cette catégorie d'agents économiques bénéficie plus de la formalisation des transactions et de la rigueur de gestion des marchés puisque les marges bénéficiaires et les valeurs ajoutées ne change pas pour eux conformément aux résultats présentés par [10] sur les travaux du marché de Gogounou au Bénin. Ils sont les principales bénéficiaires de la répartition de la valeur ajoutée, cumulant à eux seuls, plus de 50 % de la valeur ajoutée (25,38 % pour les collecteurs et 24,72% pour les grossistes) de la chaîne de commercialisation du bétail sur pied selon les estimations de [6].

Les témoins ont des tâches bien définies et des salaires formels. Ils se stabilisent socialement, avec plus de responsabilité notamment le rôle de formateurs des fournisseurs de bétails sur le marché. Le témoignage a permis de créer la confiance entre les parties prenantes et de réduire quasiment les conflits récurrents relatifs à la mauvaise gestion des accords de transaction.

Le marché autogéré apporte des revenus non négligeables à la commune. Ces revenus sont explicitement constitués des prélèvements des taxes de présentation et d'identification du bétail du maillon commercialisation sur le marché autogéré. L'autogestion a permis de réduire les pertes (incivisme, fraudes) de collecte des taxes et une augmentation régulières des recettes consécutive à une plus grande fréquentation des fournisseurs par rapport aux marchés traditionnels. Des améliorations similaires ont été observées tout comme celles observées sur les marchés à bétail autogérés au Bénin [10] et sur le marché en gérance libre de Ngelkolo dans la région de Diffa [6].

La distribution des recettes de la taxe est relativement équitable et conforme à une gestion acceptable et durable. Elle est similaire à celle des marchés autogérés et en gérance libre [6], [10]. Néanmoins, il faut souligner que le fonds collecté doit aussi couvrir d'autres charges financières, sociales et des infrastructures de développement, la construction des cases de santé, les écoles, etc.

En plus, des nouveaux emplois stables se créent pour les femmes et les jeunes. Plusieurs acteurs pratiquant des AGR (vente d'eau, des fourrages, des nourritures, etc.) connexes à la commercialisation du bétail méritent d'être mentionnés puisqu'ils procurent des avantages significatifs au niveau des ménages et de la commune. Cependant, l'analyse de leur contribution a été explicitement écartée pour mieux cadrer cette étude sur les apports directs du marché autogéré.

La répartition de la valeur ajoutée a montré des avantages assez importants au niveau des maillons des commerçants (collecteurs et grossistes) qui s'accaparent plus de 50% de la valeur ajoutée totale. Le maillon des fournisseurs de bétail est le moins rémunéré en termes de valeur ajoutée, suivi de celui des transformateurs qui gagnent à peine 4% de la valeur ajoutée totale. Ces résultats confirment les analyses de [7], [14] bien que les estimations sont sommaires et produites à titre indicatif puisque certains paramètres ne sont pas pris en compte dans les calculs par manque des données. L'estimation de la valeur ajoutée des fournisseurs est établi par rapport aux ventes sur les marchés sans tenir compte des charges de production.

Malgré ces imperfections, le marché autogéré a le mérite d'établir une meilleure distribution transparente des retombés de la commercialisation du bétail. Il est jugé intéressant de le vulgariser et de le porter à une plus large échelle afin de mieux structurer les marchés traditionnels afin d'améliorer les recettes des communes.

Ce mode d'auto gestion de marché est très intéressant pour une meilleure contribution au développement communautaire. Il permet une meilleure organisation et une gestion transparente de la commercialisation du bétail, avec des taux de recouvrement de taxes assez intéressants et des recettes bien redistribuées entre les gestionnaires du marché. Il permet également une meilleure redistribution des valeurs ajoutées entre les principaux acteurs clés de la commercialisation. Ces résultats sont conformes aux résultats obtenus par [19] dans le cadre de l'étude de l'organisation et la modernisation des marchés ruraux dans la région de Dosso. La mise à échelle de ce modèle de gestion contribuera sans doute à la transformation positive de la commercialisation du bétail.

5 CONCLUSION

Le marché autogéré a des avantages avérés sur le développement économique et social du monde rural notamment la traçabilité et la durabilité. Il favorise un bon fonctionnement, une bonne et transparente gouvernance du marché. Par ailleurs la plupart des acteurs de la chaîne de commercialisation sont gagnants avec le marché autogéré. Les fournisseurs se vendent leurs bestiaux à des meilleurs prix, les collecteurs de taxes ont des taux de recouvrement très intéressants, etc. Ces améliorations de la gestion ont créé la confiance entre les acteurs entraînant la disparition des conflits relatifs aux transactions. Cependant, ces améliorations dissimulent des inégalités en termes de distribution de la valeur ajoutée globale. Plus de 50% de la valeur ajoutée revient aux grossistes et colleteurs, 20% à la mairie, 16% les salaires, 10% le transport et 4% la transformation. Les retombés de la commercialisation de bétail sont mieux redistribués entre les principaux acteurs en charge du fonctionnement et de la gestion du marché à bétail autogéré. Ce mode de gestion mérite une attention particulière pour une plus grande diffusion et mise à échelle dans toutes les zones de commercialisation du bétail.

REMERCIEMENT

Nous exprimons ici notre profonde reconnaissance à la Banque Mondiale, à travers le Programme de Productivité Agricole en Afrique de l'Ouest (PPAAO) Niger, pour avoir financé la formation en master et facilité les travaux de terrain ayant permis de réaliser un mémoire de master et la production de cet article.

REFERENCES

- [1] INS, «Le Niger en chiffres 2014», Publication annuelle des statistiques, 84p, 2013.
- [2] M. Hadi, «Etude sur les marchés à bétail dans la région de Maradi et les Etats du Nord Nigeria», Rapport d'étude, 100p, 2009.
- [3] H. Marichatou, H. Kore, H. K. M'Motcho, G. VIAS, «Synthèse sur les filières laitières au Niger», Série « Documents de travail», Document de travail n° 04, Coordination ISRA-BAME, 40 p, 2005.
- [4] M. P. Ouedrago, «Etude diagnostic du fonctionnement des marchés à bétail sécurisés du Sahel», Programme pastoral régional pour l'Afrique de l'Ouest (PPR/AO), 42p, 2004.
- [5] Projet GCP//NER//004411//EC, Recensement général de l'agriculture et du cheptel 2005-2007: analyse des résultats des enquêtes sur les marchés à bétail et le cheptel aviaire. Rapport d'évaluation, 85P, 2008.
- [6] B. Guibert, M. Banzhaf, B. G. Soulé, D. H. Balami, G. Idé, «Etude régionale sur les contextes de la commercialisation du bétail/accès aux marchés et défis d'amélioration des conditions de vie des communautés pastorales», Rapport final, 101p, 2009.
- [7] FIDA., «Etude sur le fonctionnement des marchés ruraux de demi-gros et les flux de commercialisation des produits agro-pastoraux des régions de Tahoua, Maradi et Zinder», Rapport d'étude-138p, 2013.
- [8] SOS FAIM, «Les marchés de bétail autogérés: un exemple Béninois», Bulletin Numéro 10 Juillet 2006; 8p, 2006.
- [9] Boutrais J., «Du pasteur au boucher: le commerce du bétail en Afrique de l'Ouest et du Centre», Autre part 2001/3 (n° 19), p. 49-70. DOI 10.3917/ autr.019.0049, 2002.
- [10] P. Onibon, «Capitalisation et évaluation des marchés à bétail autogérés au Nord du Bénin. Articulation avec le développement local», CTA/MAE, Inter-réseaux, 56 p, 2004.
- [11] B. Bonnet, B. Guibert, «Commerce du bétail en Afrique de l'Ouest, atouts et défis pour les éleveurs», Grain de sel n° 48 — septembre — décembre 2009. 37-38pp, 2006.
- [12] A. O. Mahamadou, «Analyse de la chaîne de valeur de la viande et ses sous-produits en zone pastorale, urbaine et périurbaine. Cas de la région de Tahoua», Rapport d'activités, 53 pages, 2012.
- [13] A. Mamadou, MAINASSARA Zoubeirou, YAHOUSSA Gambo et ABDOU OUSSEINI Mahamadou, «Synthèse: Analyse de la chaîne de valeur de la viande et ses sous-produits en zone pastorale, urbaine et périurbaine», Rapport d'activités PAASSP, 36 pages, 2012.
- [14] M. Zoubeirou, «Analyse de la chaîne de valeur de la viande et ses sous-produits en zone pastorale, urbaine et périurbaine. Cas de la région de Maradi», Rapport d'activités, 53 pages, 2012.
- [15] Y. Gambo, «Analyse de la chaîne de valeur de la viande et ses sous-produits en zone pastorale, urbaine et périurbaine: Cas de la région de Dosso». Rapport d'activités, 53 pages, 2012.
- [16] Niger, «RGAC (Recensement Général de l'Agriculture et du cheptel)», Résultats définitifs, production animale, répartitions régionales de 2005-2007, 47p, 2007.
- [17] A. Djafarou, «Analyse du fonctionnement et de la gestion des marchés à bétail autogérés au Niger: cas du marché à bétail de Bermo», Mémoire de master en productions animales et développement durable, Spécialité: économie et politiques d'élevage, Université Cheikh Anta Diop, EISMV de Dakar, 41 pages, 2019.
- [18] A. M. B. Amadou, M. Chaibou, A. Yahaya, H. Issa, «Rôle de l'exploitation commerciale du bétail dans l'économie des ménages pastoraux: cas des éleveurs de la zone de Bermo au Niger», *Journal of Animal and Plant Sciences*, Vol.35 (2): 5639-5650; ISSN 2071-7024, 2018.
- [19] CSAO -PRN, «Etude de l'organisation et la gestion des marchés à bétail mis en place par Lux-développement dans le département de Dosso», Rapport provisoire, 53p, 2009.

Commercialisation de la viande rouge dans la communauté urbaine de Niamey (Niger)

[Red meat marketing in the urban community of Niamey (Niger)]

M. Bahari Amadou Abdoulaye¹, Djibo Ibrahim², and Abdoul Aziz Maman Lawal³

¹Département d'Economie Sociologie Rurale et Transfert des Technologies, Institut National de la Recherche Agronomique du Niger, BP 429, Niamey, Niger

²Département d'Agriculture en Zone Aride, Université d'Agadez, BP 199, Agadez, Niger

³Département des Productions Animales, Institut National de la Recherche Agronomique du Niger, BP 429, Niamey, Niger

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

ABSTRACT: The purpose of this study is to analyze the process of red meat marketing in the urban community of Niamey, through livestock markets and the various meat sales points.

The study first affected the staff of the Niamey refrigerated slaughterhouse, the directorate for the promotion of animal sectors and industries, the associations of professionals in the livestock-meat sector and two consumer rights associations. Then traders, intermediaries, wholesale butchers, retail butchers (raw meat, grilled meat and dried meat), restaurateurs and consumers were approached. It made it possible to trace the marketing circuit and identify the different players in the livestock-meat sector, and to understand the process of forming the price of meat. Thus, it appears that the marketing of meat begins from the refrigerated slaughterhouse in Niamey, and ends at the points of sale or markets in the capital, from which consumers come to obtain their supplies. The study also reveals that the practice of butchery is exclusively held by the Hausa ethnic group. The results show a regular frequency in the market of low-income and large households. The income generated from the sale of grilled meat is higher than that of raw meat. The wholesale butcher's profit is conditioned by the sale of the fifth quarter.

At the end of this study, the constraints were identified and appropriate solutions were proposed.

KEYWORDS: red meat, marketing, market, income, urban community of Niamey.

RESUME: La présente étude a pour but d'analyser le processus de la commercialisation de la viande rouge dans la communauté urbaine de Niamey, à travers les marchés à bétail et les différents points de vente de la viande. L'étude a d'abord touché le personnel de l'abattoir frigorifique de Niamey, de la direction de la promotion des filières et des industries animales, les associations des professionnels de la filière bétail-viande et deux associations de défense des droits des consommateurs. Ensuite les commerçants, les intermédiaires, les bouchers grossistes, les bouchers détaillants (viande crue, viande grillée et viande séchée), les restaurateurs et les consommateurs ont été abordés. Elle a permis de tracer le circuit de commercialisation et d'identifier les différents acteurs de la filière bétail-viande, de comprendre le processus de la formation du prix de la viande. Ainsi, il ressort que la commercialisation de la viande commence à partir de l'abattoir frigorifique de Niamey, et se termine au niveau des points de vente ou marchés de la capitale, auprès desquels viennent s'approvisionner les consommateurs. L'étude révèle aussi que l'exercice de la boucherie est exclusivement détenu par l'ethnie haoussa. Les résultats montrent une fréquence régulière au marché des ménages à faible revenus et ceux de grande taille. Le revenu généré par la vente de la viande grillée est supérieur à celui de la viande crue. Le bénéfice du boucher grossiste est conditionné par la vente du cinquième quartier.

Au terme de cette étude, les contraintes sont identifiées et des solutions appropriées furent proposées.

MOTS-CLEFS: viande rouge, commercialisation, marché, revenu, communauté Urbaine de Niamey.

1 INTRODUCTION

Au Niger, l'élevage contribue à 30% du PIB agricole et 13% du PIB national. Le cheptel représente un capital bétail de près de 2000 milliards de FCFA. La vente des produits animaux rapporte près de 288 milliards par an [9].

La viande rouge principale source de protéines d'origine animale de la population de Niamey est produite pour sa majeure partie au niveau de l'abattoir frigorifique de Niamey. On estime les abattages annuels de la ville de Niamey à 96406 bovins, 4876 camélins, 196964 ovins et 49296 caprins [10]. La viande produite au: niveau de la Communauté Urbaine est destinée essentiellement à la consommation locale.

La consommation de viande à Niamey est passée de 28kg/hbt en 1993 à 11,4kg/hbt [7]. Selon la FAO [6], la consommation est de 7kg/personne/an au Niger. La consommation moyenne en viande est inférieure à 7 kg/pers/an en milieu rural et 13,3 kg/pers/an en milieu urbain [8] au niveau national. L'accessibilité à la viande est donc limitée pour la population de la Communauté Urbaine de Niamey réputée être la plus grande consommatrice de viande du pays [10].

Le Niger doit donc prendre des décisions politiques rigoureuses et efficaces afin d'améliorer la commercialisation de la viande. Ce qui permettra de rendre la viande accessible aux consommateurs de la ville de Niamey. Cependant l'un des problèmes de la filière est de disposer des données complètes, récentes et fiables. En effet plusieurs sources de données sont rencontrées: les données officielles du Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage, les données de l'Institut Nationale de la Statistique, les données collectées par les ONG et les projets, etc. Les données officielles sont issues des estimations et ne sont pas mises à jour.

La présente étude a pour objectif général d'analyser le fonctionnement de la commercialisation de la viande rouge au sein de la Communauté Urbaine de Niamey.

Elle a pour objectifs spécifiques d'identifier les différents acteurs de la filière, de décrire le circuit de commercialisation, d'évaluer les comptes des acteurs de la filière et d'identifier les contraintes à la commercialisation de la viande dans la Communauté Urbaine de Niamey (CUN).

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL

2.1.1 ZONE D'ÉTUDE ET ÉCHANTILLONNAGE

L'étude a été réalisée dans la Communauté Urbaine de Niamey sur la période de juillet à octobre. Elle a concerné les principaux marchés à bétail de la CUN, les principaux points de vente de la viande crue et quelques points de vente de la viande transformée.

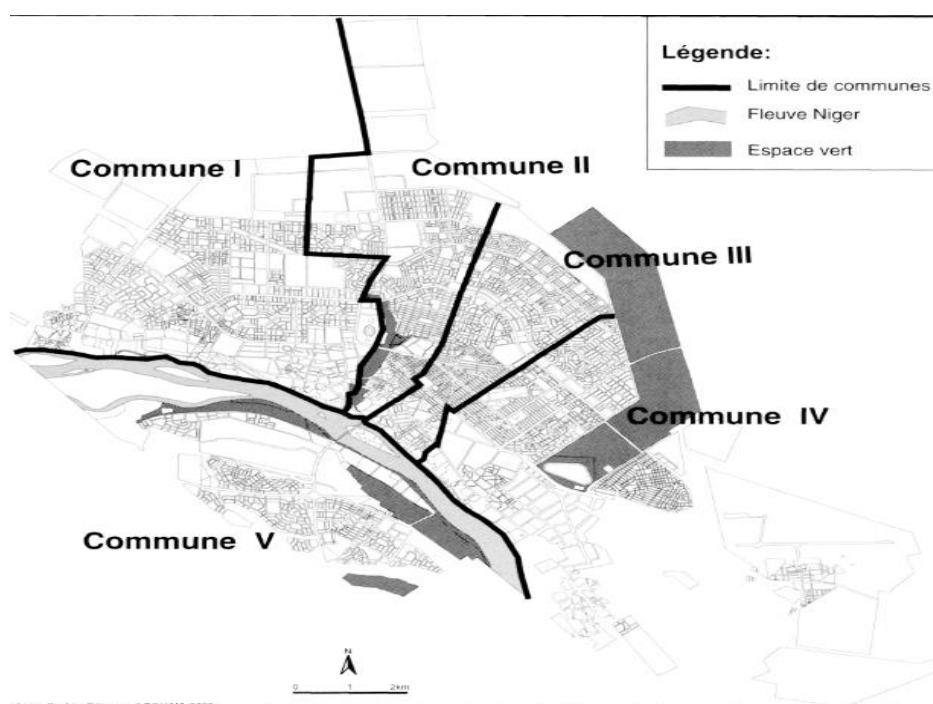


Fig. 1. Carte de la communauté urbaine de Niamey. Source: [12]

Au niveau des marchés à bétail, nous avons visité le marché de lazaret, le marché de la rive droite et celui de l'aéroport. Ainsi, nous avons interviewé 8 commerçants et 6 intermédiaires choisis au hasard.

Tableau 1. Répartition des acteurs du circuit vivant en fonction des marchés

Marché	Acteurs		Communes
	Commerçant	Intermédiaire	
Aéroport	1	1	IV
Lazaret	4	3	II
Rive droite	3	2	V
Total	8	6	3

Les points de vente de la viande crue concernés par l'étude sont: le grand marché, le nouveau marché, le petit marché et l'abattoir frigorifique. Au niveau de ces trois marchés, on note la présence des bouchers détaillants. Les bouchers grossistes sont majoritairement présents au niveau de l'abattoir frigorifique de Niamey.

Les points de vente de la viande transformée choisis au hasard sont: le rond point Sonni et le terrain musulman pour le *kilichi*, les quartiers Dan Gao, Karagué et Yantala sont retenus pour les restaurateurs et la grillade.

Le choix de l'échantillon s'est fait de manière aléatoire et a concerné les acteurs que sont: les consommateurs, les restaurateurs, les bouchers grossistes et les bouchers détaillants spécialisés en *kilichi*, les bouchers détaillants spécialisés dans la vente de la viande crue et les bouchers détaillants vendeurs de la viande grillée. L'effectif de 13 personnes est retenu pour chaque catégorie d'acteurs, exception faite pour les bouchers détaillants qui comprennent 3 spécialités. Dans chacune des 3 spécialités, 13 bouchers ont été interrogés.

Le tableau 2 renseigne sur les acteurs de la viande crue par point de vente visité.

Tableau 2. Répartition des bouchers vendeurs de la viande crue en fonction des points de vente

Communes	Points de vente de la viande crue	Boucher enquêté
II	Petit marché	5
III	Grand marché	4
	Nouveau marché	4
IV	Abattoir	13
Total	4	26

Le tableau 3 donne la répartition des vendeurs de la viande grillée, du *kilichi* et des restaurateurs par points de vente.

Tableau 3. Répartition des vendeurs de la viande grillée, du *kilichi* et des restaurateurs par points de vente

Communes	Point de vente	Acteur		
		Vendeur viande grillée	Vendeur de <i>kilichi</i>	Restaurateur
I	Yantala	4	-	4
III	Rond point Sonni	-	2	-
	Terrain musulman	-	11	-
IV	Dan Gao	5	-	6
V	Karagué	4	-	3
Total	5	13	13	13

Le tableau 4 donne la répartition des consommateurs par points de vente.

Tableau 4. Répartition des consommateurs par points de vente

Points de vente	Consommateur	Communes
Petit marché	4	II
Grand marché	4	
Nouveau marché	4	
Karagué	1	V
Total	13	3

2.2 MÉTHODES

La méthode de recherche comprend deux étapes: une phase exploratoire et une phase d'enquête.

La phase exploratoire comporte deux parties: une partie consacrée à la recherche bibliographique et l'autre partie consacrée aux entretiens avec les personnes ressources au moyen de guides d'entretien. La revue bibliographique a consisté à la lecture et à la synthèse des informations déjà connues basée sur les travaux antérieurs, les statistiques (officielles et informelles). Les entretiens ont consisté à entrer en contact avec les personnes ressources (direction de l'élevage, responsables de la filière bétail-viande, organisations paysannes). Une séance d'entretien dure 15 à 20 minutes. Cette phase s'est déroulée du 1^{er} juillet au 7 août en langues locale et française.

L'enquête proprement dite a été faite par le biais d'un questionnaire d'enquête, construit à partir des informations recueillies lors de la phase exploratoire. Cette phase s'est déroulée du 12 août au 5 septembre, sous la forme d'entretien semi directif, après avoir testé le questionnaire. L'entretien semi directif s'est effectué en langues locales (haoussa et zarma-songhaï).

Une séance d'enquête dure environ 40 minutes. Ainsi 6 types de questionnaires ont été élaborés: questionnaire du boucher grossiste, questionnaire du boucher détaillant spécialisé en viande crue, questionnaire du boucher détaillant spécialisé en viande grillée et celui du boucher détaillant spécialisé en *kilichi*, questionnaire du restaurateur et questionnaire du consommateur.

2.3 TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNÉES

La collecte des données s'est effectuée au fur et à mesure de l'évolution de l'étude. Il en est de même pour le traitement et l'analyse des données.

Le logiciel Excel a servi d'outil pour l'analyse et le traitement des données recueillies.

3 RÉSULTATS

3.1 IDENTIFICATION DES ACTEURS DE LA FILIÈRE VIANDE

3.1.1 LES BOUCHERS GROSSISTES

L'ethnie et la religion des bouchers grossistes

Tous les 13 bouchers grossistes interrogés sont de l'ethnie haoussa et de religion musulmane.

Le niveau d'instruction des bouchers grossistes

Cinq bouchers sur les treize ont un niveau d'instruction primaire, soit un taux d'instruction de 38,46%. Le niveau d'instruction des bouchers est faible.

Le tableau 5 renseigne sur le niveau d'instruction des bouches grossistes.

Tableau 5. Niveau d'instruction des bouchers grossistes

Niveau d'instruction	Effectif	Pourcentage
Non instruit	8	61,54%
Niveau primaire	5	38,46%
Total	13	100%

Nom instruit: n'est pas allé à l'école française.

Niveau primaire: Ecole primaire.

L'âge des bouchers grossistes

Les bouchers interrogés ont tous l'âge adulte, avec 38,46% de jeunes.

Le tableau 6 donne la répartition des bouchers par tranche d'âge.

Tableau 6. Répartition des bouchers en fonction de la tranche d'âge

Age	Effectif	Pourcentage
20-39 ans	5	38,46%
≥ 40 ans	8	61,54%
Total	13	100%

3.1.2 LES BOUCHERS DÉTAILLANTS

L'ethnie et la religion des bouchers détaillants

Les 39 bouchers détaillants interrogés sont tous des musulmans de l'ethnie haoussa.

L'âge des bouchers détaillants

Les 39 bouchers détaillants interrogés sont tous adultes, mais les bouchers vendeurs de *kilichi* sont plus âgés (≥ 40ans) que les deux autres catégories.

Le tableau 7 donne la répartition des bouchers détaillants par tranche d'âge.

Tableau 7. Répartition des différentes catégories de bouchers détaillants en fonction de la tranche d'âge

Boucher	Age	Effectif	Pourcentage
Vendeur viande crue	30-45 ans	13	33,33%
Vendeur viande grillée	25-50 ans	13	33,33%
Vendeur <i>kilichi</i>	≥ 40 ans	13	33,33%
Total		39	100%

Le niveau d'instruction

Le taux d'instruction des bouchers détaillants avoisine les 50%. Mais le niveau d'instruction est le primaire.

Le tableau 8 renseigne sur le niveau d'instruction des bouchers détaillants.

Tableau 8. Niveau d'instruction des bouchers détaillants

Niveau d'instruction	Effectif	Pourcentage
Non instruit	20	51,28%
Niveau primaire	19	48,72%
Total	39	100%

3.1.3 LES RESTAURATEURS

La religion des restaurateurs

Onze des treize restaurateurs rencontrés sont tous de la religion chrétienne. Les deux autres sont de la religion musulmane.

Le niveau d'instruction des restaurateurs

Les restaurateurs sont pour leur majeure partie instruits, soit 84,62 % du total. Le niveau d'instruction primaire est le plus élevé avec 38,46%.

Le tableau 9 décrit les différents niveaux d'instruction des restaurateurs.

Tableau 9. Niveau d'instruction des restaurateurs

Niveau d'instruction	Effectif	Pourcentage
Non instruit	2	15,38%
Niveau primaire	5	38,46%
Niveau secondaire	2	15,38%
Niveau supérieur	4	30,78%
Total	13	100%

3.1.4 LES CONSOMMATEURS

Les consommateurs interrogés appartiennent à la religion chrétienne et musulmane. Les musulmans représentent 61,54% de l'effectif.

Le niveau d'instruction des consommateurs

Tous les 10 consommateurs interrogés sont instruits. Le niveau secondaire est plus élevé avec 38,48%.

Le tableau 10 donne le niveau d'instruction des consommateurs.

Tableau 10. Niveau d'instruction des consommateurs

Niveau d'instruction	Effectif	Pourcentage
Non instruit	3	23,07 %
Niveau primaire	3	23,07 %
Niveau secondaire	5	38,48 %
Niveau supérieur	2	15,38 %
Total	13	100%

La fréquence au marché des consommateurs

61% des consommateurs à faible revenu ont une fréquence journalière au marché. Seul 8% des consommateurs à revenu élevé ont une fréquence mensuelle au niveau du marché.

La figure 2 décrit la fréquence des consommateurs au marché, en fonction du revenu.

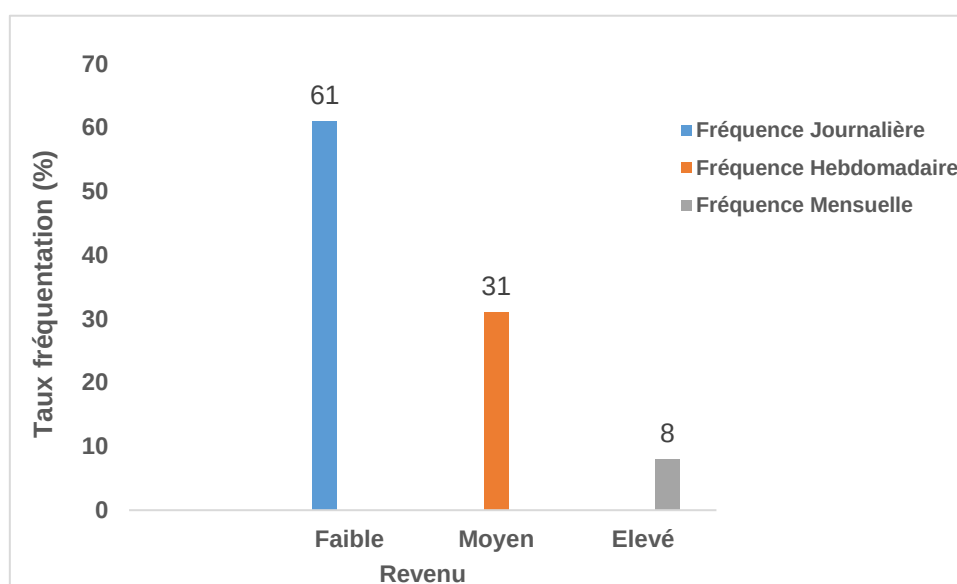


Fig. 2. Fréquence au marché par niveau du revenu des consommateurs

La fréquence journalière est la plus élevée (61%) et s'observe au niveau des ménages de grande taille. Celle des ménages de petite taille est très faible (8%).

La figure 3 décrit la fréquence des consommateurs au marché, en fonction de la taille du ménage.

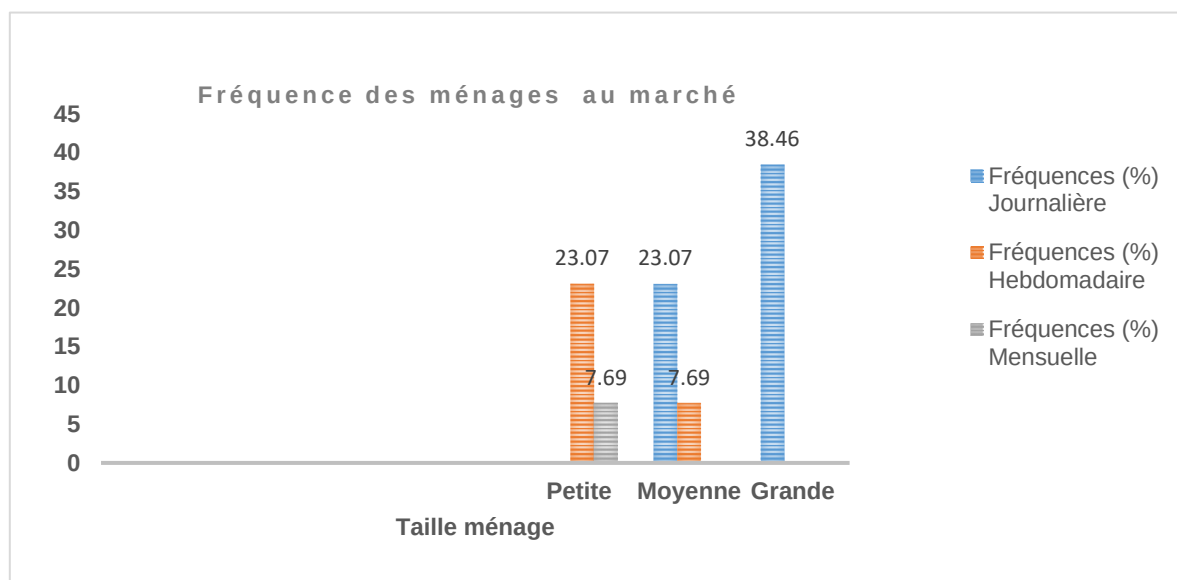


Fig. 3. Fréquences au marché en fonction de la taille du ménage

Nb:

Petite taille: 1-5;

Taille moyenne: 6-15;

Grande taille: ≥ 16 .

Les principaux déterminants de la consommation

Les principaux déterminants de la consommation de viande à la CUN sont: d'ordres économiques basés sur le pouvoir d'achat des ménages ou le prix de la viande, socioculturels et démographiques tenant compte de la taille du ménage et des types de préparation.

De toutes ces viandes rouges, la viande de mouton est la plus appréciée par le consommateur de la CUN, ensuite vient celle du bœuf. Mais compte tenu du prix élevé de la viande de mouton en comparaison à celui des autres espèces, les consommateurs vont vers la viande bovine.

Le tableau 11 donne les prix de viandes des différentes espèces concernées par l'étude.

Tableau 11. Prix de la viande par espèces (FCFA/Kg)

Espèce	Viande sans os	Viande avec os
Ovine	2750	2250
Caprine	2000	1800
Bovine	2250	2000
Cameline	2000	1500

Substituts de la viande

En cas de flambée du prix de la viande des ruminants (ovins et bovins), le produit est remplacé par le poisson (frais ou fumé), la viande de dindon, le niébé.

3.2 DESCRIPTION DU CIRCUIT DE COMMERCIALISATION DE LA VIANDE

La commercialisation débute au niveau de l'abattoir frigorifique qui est le premier point de vente de la viande. De l'abattoir la carcasse est acheminée sur les différents points de vente.

3.2.1 LES POINTS DE VENTES DE LA VIANDE DE LA CUN

Les points de vente se répartissent en deux catégories: les marchés traditionnels et les marchés modernes.

Au niveau des marchés traditionnels, les boucheries se présentent sous forme de hangar couvert par un toit en tôle. L'architecture des marchés ne favorise pas le respect des mesures d'hygiène. En effet les extrémités des boucheries ne sont pas couvertes; ce qui les expose aux mouches et au vent. Ces marchés représentent la majeure partie des marchés de viande de la CUN. Ils regroupent: le petit marché, le grand marché, le nouveau marché, le marché de la rive droite, le marché de Wadata, et celui de Yantala.

Les marchés modernes sont construits en matériaux définitifs. Leur architecture favorise l'application des mesures d'hygiène et de conservation de la viande. Ces marchés se résument essentiellement aux supermarchés tels que: le magasin Score, Marina Market, Hadad Khalid, Vivanda.

Le matériel de découpe est composé de couteau, hache et de coupe-coupe.

3.2.2 LA DISTRIBUTION DE LA VIANDE DANS LA CUN

Le boucher grossiste vend la viande au boucher détaillant à partir de l'abattoir. Le boucher détaillant assure sa distribution aux ménages. La viande est vendue soit avec os ou sans os. Mais la vente en découpe traditionnelle se fait le plus souvent avec os et au comptant.

Le transport de la viande de l'abattoir aux points de vente se fait soit par vélo, taxi, moto, etc. Les frais de transport sont variables, ils tiennent compte surtout du moyen de transport utilisé et de la quantité de viande transportée.

La présentation de la viande varie en fonction du type de marché. Ainsi sur les marchés traditionnels, la viande est vendue par: tas, morceau à la découpe à la demande du consommateur, par kg. Les prix varient de 200 FCFA à 2750 FCFA. Sur les marchés modernes, la viande est vendue au kg ou par morceau.

Après la vente la viande est emballée, dans un papier au niveau des marchés traditionnels et dans un plastique sur les marchés modernes.

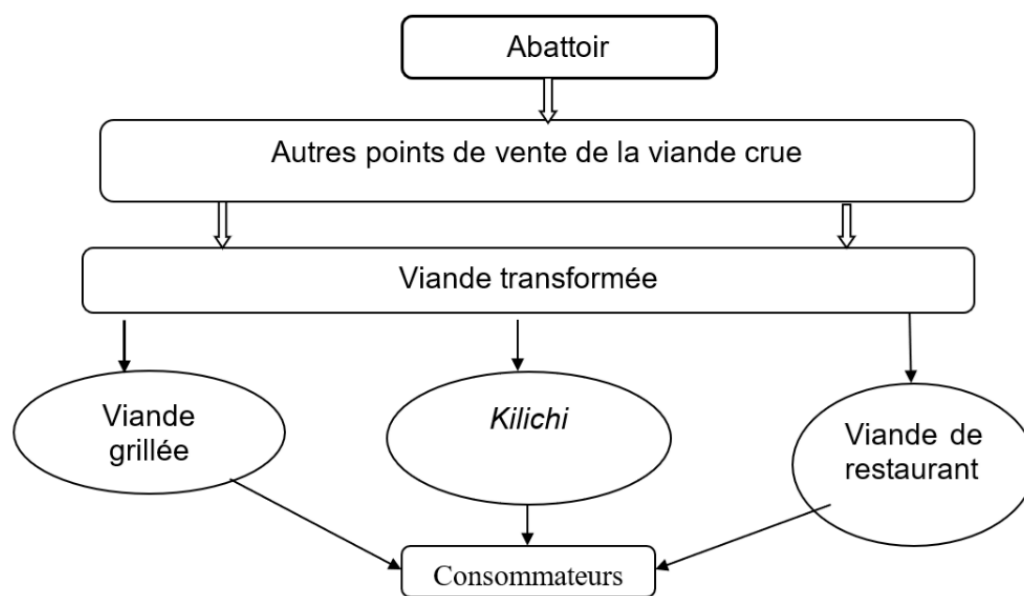


Fig. 4. Circuit de distribution de la viande à Niamey

3.3 L'ANALYSE COMPTABLE DE LA FILIÈRE

3.3.1 LE COMPTE D'EXPLOITATION DU COMMERÇANT

Pour le commerçant, le bénéfice est fonction de la saison, la période de l'année et de l'afflux des marchands nigériens.

Le tableau 12 fait ressortir les dépenses et charges opérées par le commerçant de gros ruminants avant sa mise en vente sur le marché.

Tableau 12. Compte d'exploitation du Commerçant vendeur de bovin

Charges	Montant (FCFA)	Produits	Montant (FCFA)
Achat bovin	163375	Vente bovin	195.000
Alimentation	1575		
Transport	1200		
Commission Intermédiaire	2125		
Taxes	500		
Salaire	9800		
Bénéfice	16425		
Total	195.000	Total	195.000

Le commerçant de bovin gagne un bénéfice de 16425 FCFA.

3.3.2 LE COMPTE D'EXPLOITATION DU BOUCHER GROSSISTE

Le tableau 13 renseigne sur le coût de production d'un bovin de 250 kg.

Tableau 13. Compte d'exploitation du Boucher grossiste

Charges	Montant (FCFA)	Produits	Montant (FCFA)
Achat bovin	385714	Vente carcasse	385714
Frais de transport	5571	Vente 5ème quartier	57857
Commission intermédiaire	2142		
Frais d'abattage	8925		
Taxes	500		
Salaire	9800		
Bénéfice	30.919		
Total	443571	Total	443571

Le boucher réalise un bénéfice de **30919 FCFA** pour un bovin de 250 kg.

La figure suivante donne respectivement: une comparaison des marges pour les bouchers grossistes spécialisés dans l'abattage de gros ruminants.

Le bénéfice du boucher grossiste est conditionné par la vente du cinquième quartier.

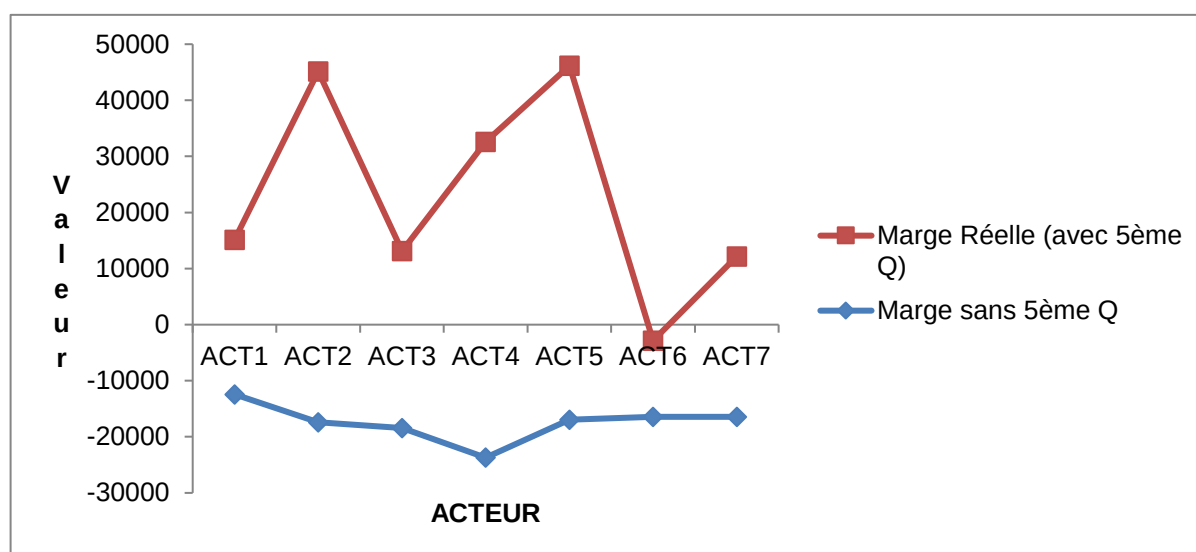


Fig. 5. Comparaison des marges (carcasse et carcasse plus cinquième quartier) de sept bouchers grossistes abattant de gros ruminants

3.3.3 LE COMPTE D'EXPLOITATION DU BOUCHER DÉTAILLANT

Le tableau 14 renseigne sur les coûts de production de la viande grillée d'un gros ruminant.

Tableau 14. *Compte d'exploitation du Boucher détaillant (viande grillée)*

Charges	Montant (FCFA)	Produits	Montant (FCFA)
Achat carcasse	140250	Vente viande	235833
Autres dépenses	15083		
Salaire	9800		
Bénéfice	70700		
Total	235833	Total	235833

Le boucher spécialisé dans la grillade tire un bénéfice moyen de **70700 FCFA**.

Le tableau 15 renseigne sur la vente de la viande crue, réalisée par le boucher détaillant.

Tableau 15. *Compte d'exploitation du Boucher détaillant (viande crue)*

Charges	Montant (FCFA)	Produits	Montant (FCFA)
Achat carcasse	130950	Vente viande	162657
Autres dépenses	2964		
Salaire	7350		
Résultat	21393		
Total	162657	Total	162657

Le boucher détaillant vendeur de viande crue tire un bénéfice moyen de **21393 FCFA**.

La figure 6 compare les revenus des bouchers détaillants vendeurs de la viande grillée et des bouchers vendeurs de la viande crue.

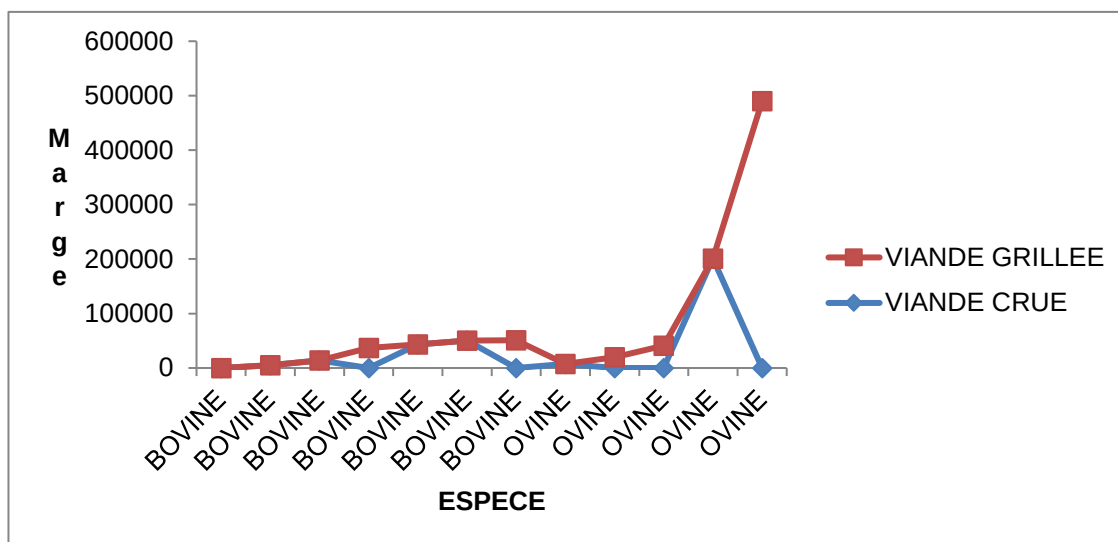


Fig. 6. *Comparaison des revenus des bouchers détaillants (de viande grillée et crue)*

Le revenu généré par la viande grillée est supérieur à celui de la viande crue.

L'organisation socioprofessionnelle de la filière

Quatre syndicats de bouchers cohabitent au niveau de la filière: deux syndicats pour les bouchers grossistes et deux pour les bouchers détaillants.

Les syndicats des bouchers grossistes sont: le syndicat des bouchers de la CUN (S.B. FA INNNTA) et le syndicat national des bouchers indépendants du Niger (SNBIN). Les deux syndicats des bouchers détaillants sont: le syndicat des bouchers détaillants du Niger (SYNBOUDENI) et le syndicat national des bouchers et revendeurs de viande (SNBRV).

On note aussi la présence de l'organisation des consommateurs du Niger (ORCONI), de l'association de défense des droits des consommateurs (ADDC WADATA), de

l'association des professionnels de la filière bétail-viande (ANBV) et l'association des professionnels des cuirs et peaux, bétail-viande du Niger.

3.4 LES CONTRAINTES DE LA COMMERCIALISATION DE LA VIANDE

Les contraintes à la commercialisation de la viande dans la Communauté Urbaine de Niamey sont d'ordre institutionnel, technique et économique.

3.4.1 AU PLAN INSTITUTIONNEL

L'absence d'organisations efficaces susceptibles d'être des partenaires crédibles auprès des organismes de financement. Le niveau élevé de l'abattage clandestin qui a des conséquences sur le montant de la taxe d'abattage déjà faible limitant ainsi le financement de nouveaux investissements.

La régression continue de la consommation de viande au sein de la population persiste surtout devant l'aggravation de la crise économique.

La mauvaise gestion de l'abattoir constitue l'un des premiers obstacles au développement de la commercialisation de la viande. C'est le cas de l'attribution du numéro et du quota d'abattage, qui est source de nombreuses controverses entre les bouchers et la direction de l'abattoir.

3.4.2 AU PLAN TECHNIQUE

La vétusté des infrastructures et de l'équipement de l'abattoir limite ses capacités en termes de prestation. La production se fait en violation des normes en matière d'hygiène et de sécurité des agents. C'est le cas des carcasses accrochées aux perchoirs qui tombent souvent sur le sol insalubre de la salle d'abattage de l'abattoir.

La balance défectueuse au niveau de l'abattoir est à la base de nombreuses controverses entre les bouchers détaillants et grossistes, notamment le respect des prix retenus lors des négociations.

La chambre froide de l'abattoir n'est pas opérationnelle, ce qui ne facilite pas le ressuyage des carcasses, voire leur conservation.

3.4.3 AU PLAN ÉCONOMIQUE

A ce niveau on note: l'absence de subvention de la part de l'Etat, la difficulté d'accès aux crédits, l'insuffisance de structures d'octroi de crédits. En effet la Banque Régionale de Solidarité est actuellement la seule structure qui octroie du crédit aux producteurs. Les famines récurrentes occasionnent d'énormes pertes au sein du cheptel.

Les bouchers détaillants s'endettent souvent auprès des bouchers grossistes. Cet endettement au niveau de la vente de la viande fait augmenter le prix du kilogramme car les prêts (entre grossiste et détaillant) se font à des taux usuraires à cause des risques élevés de non remboursements.

4 DISCUSSION

4.1 LES CARACTERISTIQUES DES ACTEURS DE LA FILIERE VIANDE

Les bouchers grossistes et détaillants enquêtés sont tous de l'ethnie haoussa. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que le métier de boucher est exercé au Niger uniquement par l'ethnie haoussa. Cela n'est pas le cas au Sénégal, où l'on retrouve presque toutes les ethnies [16].

Les bouchers grossistes et détaillants interrogés sont tous de religion musulmane. Ceci peut être dû à la prédominance de la religion musulmane dans le pays.

Les bouchers grossistes et détaillants ont un niveau d'instruction qui est inférieur à 50%. Ce résultat confirme celui obtenu par [16] à Dakar de 47,4%. Les bouchers de Niamey de niveau primaire (38%) sont supérieurs à ceux observés à Dakar de l'ordre de 23,4% [16].

Tous les bouchers de la ville de Niamey ont un âge relativement jeune, supérieur à 18 ans. En effet, après leurs adolescences les jeunes partent en exode vers les villes. Ce phénomène est identique à celui observé à Dakar par [16].

Les bouchers détaillants vendeurs de *kilichi* sont tous adultes (≥ 40 ans). En effet pour fabriquer du *kilichi* il faut une certaine expérience.

La proportion du niveau d'instruction des consommateurs de la ville de Niamey est de 76,93% qui est inférieur à celui obtenu à Dakar par [16] de l'ordre de 87,5%.

4.2 LES COMPORTEMENTS DES CONSOMMATEURS

Sur les marchés traditionnels la viande est vendue au client avec os et au comptant. Ce résultat confirme celui obtenu à Dakar par [16].

Les consommateurs à faible revenus partent tous les jours au marché pour acheter de la viande. Leurs fréquences régulières au marché peuvent être dues au manque de moyens financiers. En effet le manque de moyens les empêche de payer des quantités considérables et de posséder du matériel de conservation de viande.

Les consommateurs des familles de grande taille vont fréquemment au marché pour s'approvisionner en viande. La taille de leurs ménages les conduit à se procurer quotidiennement de la viande parce que n'ayant pas la possibilité de faire du stock.

Les consommateurs préfèrent la viande ovine. Cette préférence peut s'expliquer par son goût qui est meilleur à celui des autres ruminants.

La consommation en viande rouge est de 9,31 kg/hbt/an dans la CUN. Ce ratio est proche de la moyenne sahélienne de l'ordre de 10-12 kg/hbt/an [17].

Les déterminants du comportement du consommateur corroborent ceux obtenus à Dakar [5].

4.3 L'APPORT ÉCONOMIQUE DE LA FILIÈRE BÉTAIL - VIANDE

Le commerçant de gros ruminant a obtenu un bénéfice de 16425 FCFA. Ce résultat est inférieur à celui observé dans l'espace UEMOA, qui est de 35450 FCFA /tête de bovins dans le commerce local [17]. Il est également inférieur à ceux rapportés par [5] au Sénégal. Par contre les résultats obtenus sont largement supérieurs à ceux de [3].

Le boucher grossiste réalise un bénéfice de 30919 FCFA. Le boucher détaillant vendeur de la viande grillée obtient 70700 FCFA, contre 21393 FCFA pour le boucher détaillant vendeur de la viande crue. Le boucher détaillant spécialisé dans la grillade gagne des meilleurs bénéfices par rapport aux autres bouchers. Ces résultats dépassent largement ceux rapportés par [1], pour le cas de la viande bovine. Les travaux conduits par [5] révèlent un bénéfice plus élevé au niveau des bouchers grossistes. Cependant ces résultats sont inférieurs à ceux obtenus au niveau de la commune urbaine de Niamey par les bouchers grossiste et détaillant.

Le prix du kg de la viande bovine (sans os) est de 2250 FCFA dans la CUN. Ce résultat est largement supérieur au prix de référence du bovin au niveau de l'espace UEMOA de 1481 FCFA [17].

4.4 L'ASPECT ORGANISATIONNEL DE LA FILIÈRE

L'effectif des intermédiaires est en régression au Niger. Ce résultat infirme celui obtenu par le Projet de Promotion des Exportations Agro-sylvo- pastorales [14], faisant cas d'un effectif assez important des intermédiaires dans la commercialisation de la viande.

Malgré la présence des associations des acteurs de la filière et des syndicats de bouchers, la commercialisation de la viande paraît inorganisée.

La mauvaise gestion au niveau de l'abattoir se répercute sur le prix de la viande et le niveau de consommation de la viande. Ce qui freine la bonne marche de la commercialisation de la viande à la CUN.

Au regard de l'état actuel de la filière, la libéralisation totale des marchés qui prévaut à l'Organisation Mondiale du Commerce n'est cependant pas l'approche qui convient la plus au Niger et à sa filière bétail viande. Notamment avec une Europe qui subventionne ses exportations et soutient financièrement ses producteurs. Les éleveurs Nigériens doivent faire face au faible engagement de l'État, aux sécheresses répétitives, aux problèmes d'espace et à la faible motorisation des moyens de production et de transport.

5 CONCLUSION

Suite à l'augmentation de la population de la ville, la demande en viande au niveau de la Communauté Urbaine de Niamey augmente au cours de ces dernières années. On assiste à la même période à une régression dans la consommation en viande.

Au niveau des acteurs de la filière, on note la présence des bouchers grossistes et détaillants, des restaurateurs et des consommateurs dans le circuit de commercialisation. L'étude révèle aussi que le métier de boucher est exercé uniquement par l'ethnie haoussa dans la CUN.

La commercialisation prend naissance à l'abattoir frigorifique de Niamey, qui est la principale infrastructure de production de viande. Au niveau de l'abattoir, les bouchers grossistes assurent la vente de la viande (carcasse) aux bouchers détaillants. Ensuite les bouchers détaillants assurent sa mise en vente sur les marchés modernes et traditionnels. La viande est vendue par tas sur les marchés traditionnels et par morceau sur les marchés modernes.

La fréquence d'achat au marché est motivée par le revenu et la taille du ménage. En effet, les ménages à faible revenu et les ménages de grande taille sont les plus réguliers au marché.

Les consommateurs manifestent plus de préférence à la viande ovine. En effet cette dernière est la plus appréciée des viandes rouges à Niamey. Mais compte tenu de son prix qui est supérieur à celui des autres viandes, les consommateurs vont vers la viande bovine.

Les bouchers détaillants vendeurs de viande grillée semblent les mieux rémunérés du circuit de la commercialisation.

Les contraintes de la commercialisation sont dues en majeure partie à la mauvaise organisation des acteurs de la filière, notamment les bouchers. Elles sont aussi liées à l'insuffisance de structures d'octroi de crédit et au manque de subvention de la part de l'Etat, aux matériels et équipement de l'abattoir qui sont obsolètes.

Au terme de cette étude, nous avons formulé des recommandations à l'endroit de l'Etat et des bouchers pour un meilleur approvisionnement de la CUN en viande.

RECOMMANDATIONS

La commercialisation de la viande à la CUN n'est pas au bon fixe. Il s'agit de la mauvaise organisation du circuit et des acteurs de la filière viande, de la vétusté des infrastructures et de l'équipement de l'abattoir. Au regard de ce qui précède, nous adressons les recommandations suivantes à l'état et aux acteurs de la filière viande.

A l'Etat

- De veiller à l'application rigoureuse des mesures d'hygiène au niveau de l'abattoir frigorifique de Niamey;
- Une implication de tous les acteurs dans la fixation d'un prix officiel pour chaque catégorie de viande;
- De continuer la lutte contre l'abattage clandestin, à travers la promotion de l'abattage industriel et contrôlé.

Aux bouchers

- Aux bouchers de procéder à la création d'une structure qui regroupe le syndicat des bouchers grossistes et celui des bouchers détaillants, afin de travailler à la redéfinition des rôles et attributions de chaque acteur.

REFERENCES

- [1] Amadou Manzo Balkissa, 2017; Modalité de financement d'une boucherie moderne dans la ville de Niamey: Mémoire de master en finance banque. CESAG, 73 p.
- [2] Cabinet du Premier Ministre, 2008-2012; Stratégie De Réduction de la Pauvreté au Niger, 133 p.
- [3] Chaker Salami, Mohamed Jaouad et Raoudha Sadroui, 2016; Centre Internationale de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéenne, Etude de la commercialisation des viandes rouges dans le sud-est de la Tunisie: cas du gouvernorat de Médenine, 711 p.
- [4] Document cadre pour la relance du secteur de l'élevage au Niger, 2001; Etats des lieux, axes d'intermédiaires et programmes prioritaires, 109 p.
- [5] Duvergé Anne, 2006; Etude du circuit long de la filière de Tambacounda jusqu'à Dakar. Mémoire de fin d'étude: ISTOM: Dakar, 105 p.
- [6] FAO, 2017; Revue des filières bétail/viande & lait et des politiques qui les influencent au Niger, 122 p.
- [7] FAO, 2004; Guide pratique de l'approche filière: le cas de l'approvisionnement et de la distribution des produits alimentaires dans les villes, 34 p.
- [8] Haut Commissariat à l'Initiative 3N (HC3N), 2021-2030; Analyse prospective de la chaîne de valeur bétail viande (bovins, ovins, caprins) au Niger, 172 p.
- [9] Ministère de l'Elevage du Niger, 2022; Les statistiques du secteur de l'élevage. MEL, 296 p.
- [10] Ministère de l'Agriculture et de l'Elevage du Niger, 2020; Les statistiques du secteur de l'élevage. MEL, 299 p.
- [11] Ministère de l'Elevage et des Industries Animales, 2008; Projet de construction du nouvel abattoir frigorifique de Niamey, 20 p.
- [12] Motcho Henri, 2006; La réforme de la communauté urbaine de Niamey, 19p.
- [13] Institut National de la Statistique du Niger, 2009; Répertoire National des Communes, 540 p.

- [14] Projet de développement des exportations et des marchés agro-sylvo-pastoraux, 2008; Filières bétail-viande, cuirs et peaux, 56 p.
- [15] Recensement General de l'Agriculture et Cheptel, 2005-2007; Analyse des résultats des enquêtes sur les marchés à bétail et le cheptel aviaire.-Niamey: RGAC, 99 p.
- [16] Sane Abdou, 2010; Etude de la distribution de viande dans la ville de Dakar. Thèse: Med.vet: Dakar, 137 p.
- [17] Union Monétaire des Etats Ouest Africain, 2020; Simulation bétail-viande, 6 p.

Déploiement d'un réseau des brouilleurs des fréquences au sein d'une maison carcérale: Cas de la prison centrale de Makala dans la ville de Kinshasa

[Deployment of a network of frequency jammers in a prison: Case of the Makala central prison in the city of Kinshasa]

Kondatata Mbambu Jordan¹, Makengo Imbanzia Josué², Mansinsa Matuetimona Bergelin³, Katana Vinny Ben³, and Mondedi Akonza Exaucé²

¹Institut Supérieur de Techniques Appliquées de Kinshasa, Section Electronique, Kasangulu, RD Congo

²Institut Supérieur de Techniques Appliquées de Kinshasa, Section Electronique, Kinshasa, RD Congo

³Institut Supérieur de Techniques Appliquées de Kinshasa, Section Electronique, Mbanza ngungu, RD Congo

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

ABSTRACT: This article discusses the deployment of a network of frequency jammers within Makala Central Prison, aimed at countering illegal communications that harm the security of the facility. The aim is to implement an effective solution to block mobile communication signals and reduce the risk of criminal coordination between inmates and outside contacts. The jamming system is equipped with advanced components, including a signal amplifier and specific antennas, allowing optimal coverage of target frequencies while minimizing external interference. Through technical analysis, this article explores aspects of deployment, such as selecting locations for maximum efficiency and managing potential impacts on neighboring infrastructure. The results show that the use of this jamming device significantly improves the security of the facility, limiting unauthorized communications and thus strengthening internal control. This article contributes to offering an innovative solution adapted to the security requirements of prison environments.

KEYWORDS: deployment, frequency jammers, prison house.

RESUME: Cet article traite du déploiement d'un réseau de brouilleurs de fréquences au sein de la prison centrale de Makala, visant à contrer les communications illégales qui nuisent à la sécurité de l'établissement. L'objectif est de mettre en place une solution efficace pour bloquer les signaux de communication mobile et réduire les risques de coordination criminelle entre détenus et contacts extérieurs. Le système de brouillage est équipé de composants avancés, dont un amplificateur de signal et des antennes spécifiques, permettant une couverture optimale des fréquences cibles tout en minimisant les interférences externes. A travers une analyse technique, cet article explore les aspects du déploiement, tels que la sélection des emplacements pour une efficacité maximale et la gestion des impacts potentiels sur les infrastructures voisines. Les résultats montrent que l'utilisation de ce dispositif de brouillage améliore considérablement la sécurité de l'établissement, limitant les communications non autorisées et renforçant ainsi le contrôle interne. Cet article contribue à offrir une solution innovante et adaptée aux exigences sécuritaires des milieux carcéraux.

MOTS-CLEFS: déploiement, brouilleurs de fréquence, maison carcérale.

1 INTRODUCTION

La communication entre détenus au sein des prisons est un problème majeur qui nécessite une solution efficace. L'utilisation illégale des téléphones portables dans les établissements pénitentiaires est une problématique croissante à l'échelle mondiale. Particulièrement dans les grandes prisons telles que celle de Makala (ex. CPRK) dans la ville de Kinshasa en RDC. Les téléphones portables illégalement

introduits dans les établissements pénitentiaires permettent aux détenus de communiquer avec l'extérieur, contournant ainsi les mesures de sécurité et les restrictions imposées par l'administration pénitentiaire. Ces communications peuvent être utilisées pour organiser des activités criminelles, menacer des témoins ou coordonner des évasions. L'utilisation illégale des téléphones mobiles pour d'autres détenus, facilitent la diffusion d'images et de vidéos de l'intérieur de la prison, et permettant aux détenus de rester en contact constant avec l'extérieur.

Ces pratiques posent un problème de sécurité publique, car elle peut être utilisée pour intimider des victimes, coordonner des actes de vengeance ou même influencer des comportements criminels. Ainsi, pour pallier à ces problèmes, cet article propose le déploiement d'inhibiteurs de fréquences radio pour réduire considérablement l'accès des détenus aux téléphones portables.

Cela pourrait entraîner une diminution des activités criminelles, des communications non autorisées à l'intérieur de la prison et les risques d'évasion. En neutralisant les téléphones portables, on réduit les risques de coordination d'activités criminelles depuis la prison. Cela protège la société contre les actions nuisibles des détenus.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 ETUDE PRÉLIMINAIRE

La première étape du déploiement des brouilleurs consiste à réaliser une étude préliminaire pour identifier les besoins spécifiques en matière de brouillage des fréquences. Cette étude implique une évaluation des risques associés aux communications non autorisées et une définition claire des objectifs du projet. Il est important de déterminer quelles fréquences doivent être bloquées, quelles zones de la prison sont les plus vulnérables et quel niveau de couverture est nécessaire pour garantir la sécurité [2, 3].

2.2 PLANIFICATION DU DÉPLOIEMENT

Une fois les besoins identifiés, la planification du déploiement peut commencer. Cette étape implique le choix des brouilleurs en fonction de leur portée, de leur puissance et de leur compatibilité avec l'infrastructure existante de la prison. Les brouilleurs doivent être suffisamment puissants pour couvrir toutes les zones critiques sans interférer avec les communications légitimes. La planification doit également inclure la répartition des brouilleurs dans la prison, en tenant compte des obstacles physiques tels que les murs épais et les structures métalliques. Un plan de déploiement détaillé doit être élaboré, incluant les emplacements spécifiques des brouilleurs, les méthodes d'installation et les mesures de sécurité.

2.3 BROUILLEUR DE PRISON 8341CA-5-KT

Dans cet article, nous avons choisi d'utiliser le brouilleur de prison 8341CA-5-KT. Ce modèle est particulièrement reconnu pour ses spécifications techniques robustes et sa fiabilité dans le brouillage des communications non autorisées en milieu carcéral. Il est caractérisé par [1]:

- Sa puissance: Transmet des signaux radio de faible puissance pour couper les communications entre les téléphones cellulaires.
- Sa portée: Rayon de 30 mètres environ.
- Son type de Brouillage: Brouillage large bande couvrant plusieurs fréquences simultanément.
- Très facile à utiliser.
- Nécessite aucun ajustement.
- Petit et léger.
- Désactive tous les types de signaux cellulaires: CDMA/GSM, 3G, 4G, Wi-Fi, GPS.

La figure 1 ci-dessous présente le modèle de brouilleur utilisé dans cette mise en place, le brouilleur 8341CA-5-KT.



Fig. 1. Brouilleur 8341CA-5-KT

Les spécifications techniques de brouiller sont les suivants:

- Wi-Fi: 2400-2500MHz
- CDMA/GSM: 850-960MHz
- GPS: 1570MHz-1610MHz
- 3G: 2110-2170MHz
- 4G LTE: 725-770MHz
- 4G WiMAX: 2345-2400MHz ou 2620-2690MHz

Ces fréquences ont été choisies spécifiquement pour bloquer les communications téléphoniques les plus couramment utilisées par les détenus.

2.4 EMPLACEMENTS STRATÉGIQUES

Pour cibler efficacement cette zone, les brouilleurs doivent être placés à des points stratégiques dans le pavillon 8 VIP. Chaque cellule doit être couverte pour empêcher les communications via téléphones portables, radios. Les brouilleurs peuvent être installés dans les couloirs principaux et à l'entrée du pavillon pour maximiser la couverture. Il est également crucial de placer des brouilleurs dans les zones communes du pavillon, telles que la salle à manger et les douches, où les détenus pourraient tenter de communiquer discrètement.

2.5 INSTALLATION ET TESTS

L'installation des brouilleurs doit être réalisée de manière méthodique pour garantir leur efficacité et leur sécurité selon les étapes suivantes [5, 6]:

- Préparation des sites: Avant l'installation, les zones choisies doivent être nettoyées et sécurisées. Assurez-vous que les points de montage sont prêts à recevoir les brouilleurs et que des sources d'alimentation électrique stables sont disponibles.
- Montage des brouilleurs: Fixez les brouilleurs aux emplacements prévus en utilisant des supports adéquats pour une installation stable et sécurisée. Les supports doivent être robustes pour résister à toute tentative de manipulation non autorisée. Les brouilleurs doivent être positionnés à une hauteur suffisante pour éviter tout contact direct avec les détenus.
- Connexion à l'alimentation: Connectez chaque brouilleur à une source d'alimentation fiable en utilisant des câbles sécurisés et des prises protégées pour prévenir les dommages accidentels ou intentionnels. Assurez-vous que l'alimentation électrique est constante et sans interruption.
- Sécurisation des brouilleurs: Placez les brouilleurs dans des armoires verrouillées ou derrière des barrières pour prévenir les sabotages. Les armoires doivent être verrouillables et résistantes aux tentatives de forçage. Des systèmes d'alarme peuvent être installés pour alerter en cas d'ouverture non autorisée.
- Configuration et tests: Après l'installation physique, configurez les brouilleurs pour cibler les fréquences spécifiques et ajuster les paramètres de brouillage. Effectuez des tests de fonctionnement pour vous assurer que les brouilleurs couvrent efficacement les zones ciblées sans perturber les communications légitimes.

3 ETAT DE LIEU DE LA PRISON CENTRALE DE MAKALA

La prison centrale de Makala à Kinshasa est la plus grande prison de la ville de Kinshasa, en République Démocratique du Congo. La figure 2 ci-dessous présente l'entrée principale de la prison centrale de Makala.



Fig. 2. Entrée de la prison centrale de Makala

La prison centrale de Makala est située à Kinshasa, la capitale de la République démocratique du Congo. Sa position géographique est stratégique pour plusieurs raisons. Premièrement, Kinshasa étant un centre urbain majeur, la prison centrale de Makala se trouve à proximité des principaux centres de décision et des forces de sécurité du pays, facilitant ainsi une intervention rapide en cas de besoin.

La prison centrale de Makala est une installation vaste et complexe, composée de plusieurs pavillons et cours. Chaque pavillon abrite un grand nombre de détenus, et les cours sont utilisées pour des activités de plein air et des récréations. Bien que nous ne disposions pas des dimensions précises des bâtiments en raison des restrictions d'accès aux informations, nous pouvons faire des suppositions raisonnables basées sur des prisons de taille similaire.

Chaque pavillon pourrait accueillir environ 50 à 100 détenus, et les cours pourraient s'étendre sur plusieurs centaines de mètres carrés. L'analyse de la structure de la prison permet d'identifier les zones critiques où les brouilleurs doivent être installés pour une efficacité maximale. Le schéma de la figure 3 représente la structure fonctionnelle de la prison centrale de Makala.

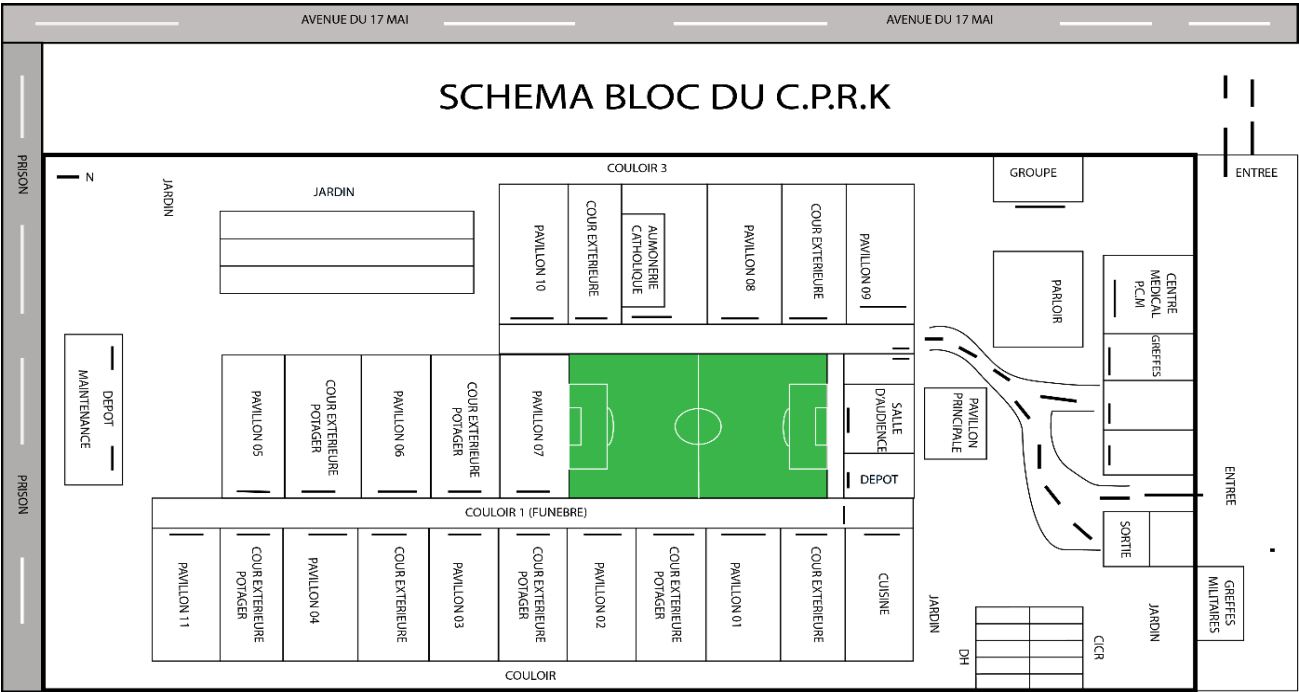


Fig. 3. Schéma bloc de la prison centrale de Makala

4 RESULTATS

Le résultat final de notre étude après notre expérimentation du système au labo électronique et télécommunication de l'ISTA Kasangulu, nous venons d'installer avec l'aide des experts, un réseau des brouilleurs de fréquence 8341CA-5-KT à la prison centrale de Makala comme le montre la figure 4 ci-dessous.

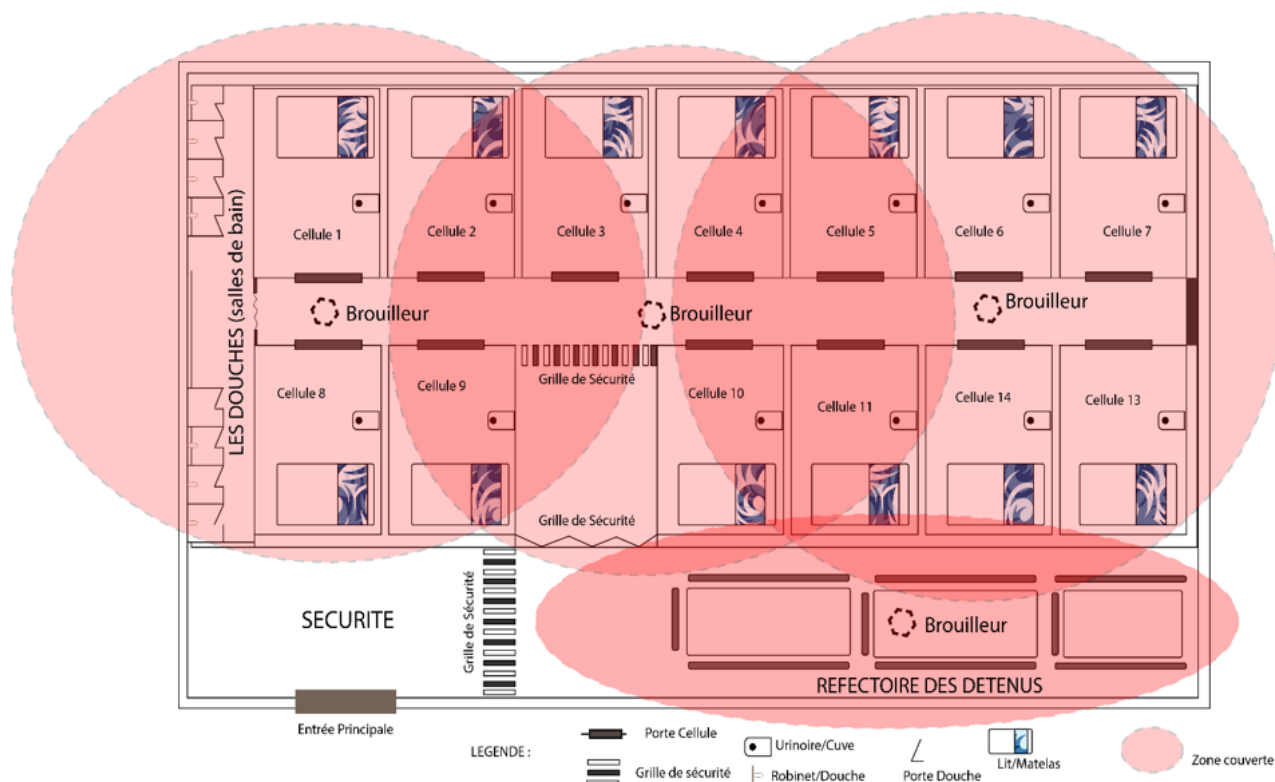


Fig. 4. Schéma illustratif de l'installation des brouilleurs dans le pavillon 8 VIP

Le schéma de la figure 4 présente l'installation de quatre brouilleurs stratégiquement placés dans le pavillon 8 VIP pour assurer une couverture optimale:

- Deux brouilleurs dans le couloir principal: Ces brouilleurs sont positionnés à des emplacements permettant de couvrir efficacement l'ensemble des cellules situées de part et d'autre des couloirs;
- Un brouilleur au fond du couloir, près des douches communes: Ce brouilleur a pour rôle de couvrir les douches communes et les cellules adjacentes;
- Un brouilleur dans la salle à manger commune: Ce dernier brouilleur est destiné à couvrir exclusivement la salle à manger commune. Une grille de sécurité sépare cette salle du bloc de sécurité adjacent, qui reste en dehors de la couverture pour éviter des interférences inutiles dans cette zone hautement sécurisée.

5 CONCLUSION

Dans cet article, nous avons fait la mise en place des brouilleurs 8341CA-5-KT à la prison centrale de Makala. Cette mise en place représente une avancée significative vers une sécurité renforcée et un environnement carcéral plus sûr. Les stratégies détaillées dans cet article démontrent l'importance de la planification et de l'exécution précises pour réussir cette initiative. En empêchant les communications non autorisées, nous contribuons à maintenir l'ordre et à protéger le personnel et les détenus. Cette approche réfléchie et structurée du déploiement des brouilleurs de fréquences est essentielle pour répondre aux défis de sécurité actuels et futurs dans les établissements pénitentiaires dans la ville province de Kinshasa en particulier et en République Démocratique du Congo en générale.

REMERCIEMENTS

Nous avons l'obligation de nous acquitter d'un agréable devoir, celui de remercier toutes les personnes, qui ont contribué de loin ou de près à la rédaction de cet article.

REFERENCES

- [1] Agence nationale des fréquences (ANFR). (2020). L'utilisation des brouilleurs dans les lieux sensibles: Guide pratique. Paris: ANFR.
- [2] Bernard, J. (2020). Impact des brouilleurs de fréquence sur la sécurité et la vie quotidienne des détenus. Sécurité et technologies, vol. 12, n° 4, p.30-48.
- [3] Besson, M. (2018). Techniques modernes de brouillage des communications. Paris: Dunod.
- [4] Dupuis, J. (2020). Les systèmes de communication et leurs vulnérabilités. Bruxelles: De Boeck.
- [5] Durand, E. et Marchal, S. (2021). Lutte contre les téléphones mobiles en prison: Solution et défis. Revue pénitentiaire et de droit criminel, vol. 15, n° 3, p.45-60.
- [6] Lemoine, P. (2017). Brouilleurs et contre-mesures: Concepts et technologies. Paris: Hermès.
- [7] Union internationale des télécommunications (UIT). (2019). Recommandation sur l'utilisation des brouilleurs de fréquences dans les établissements sensibles. Genève: UIT.

Characterization of forest ecosystems in the Agropole of the Kara River basin in northern Togo (West Africa)

Atsu K. Dogbeda HLOVOR¹, Kossi ADJONOU¹, Katché Komlanvi AKOETE¹, Fifonsi Ayélé DANGBO², Kossi SEGLA¹, and Kouami KOKOU¹

¹Department of Botany, University of Lomé, Faculty of Sciences, Forest Research Laboratory, Lomé, Togo

²Direction forêts et risques naturels, Office National des Forêts, France

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

ABSTRACT: In the context of climate emergency and biodiversity loss due mainly to agriculture, this study aims to characterize the forest ecosystems of the Kara basin agropolis and a 10 km buffer zone. The methodology is based on two approaches: land cover mapping using Landsat satellite images and a detailed description of forest ecosystems, focusing on the floristic composition of woody species to assess their conservation, structure and ecological functioning. This characterization was carried out through 56 20 m x 20 m inventory surveys, where all species presents were counted and woody individuals with a DBH ≥ 10 cm measured. The results show that 67% of the area consists of cultivated and fallow land, with a higher proportion in the agropole (72%) than in the buffer zone (63%). Forests account for 13% in the agropole and 21% in the buffer zone. The floristic survey identified 105 woody species in 79 genera and 31 families, with a higher average diversity in the agropole ($H' = 2.69$) than in the buffer zone ($H' = 2.13$). Four species are on the IUCN Red List. Although tree density is lower in the agropole (97.2 trees/ha) than in the buffer zone (119.08 trees/ha), basal area is greater in the buffer zone (32.30 m²/ha) than in the agropole (29.86 m²/ha), indicating an annual pressure on tree species.

KEYWORDS: agropole, tree density, floristic survey, IUCN red list.

1 INTRODUCTION

Agriculture is a fundamental element of economic and social development, particularly in developing countries, where it often represents a significant share of the Gross Domestic Product (GDP) and employs a considerable proportion of the active population [1]. However, it is also a major source of ecosystem degradation in tropical Africa, exacerbated by unsustainable agricultural practices [2], [3], [4], [5], [6]. This ecosystem degradation affects not only the environment but also the social well-being of populations, as these ecosystems provide vital services such as climate regulation, water purification, erosion control, and the supply of food and medicinal resources. Therefore, it is essential to adopt integrated approaches that consider the complex interactions between agriculture and biodiversity to ensure a sustainable future [5]. The central issue lies in the need to balance agricultural expansion and biodiversity conservation, as sustainable agriculture is intrinsically linked to the health of surrounding ecosystems [7]. In Togo, agropoliss like the Kara agropolis have been established to bring together various actors in the agricultural value chain, promoting a collaborative approach in the agri-food sector. However, their development can exert significant pressure on local ecosystems, leading to concerning environmental consequences (Jeune Afrique, 2020). Previous research has also emphasized the importance of agri-food transformation that considers environmental and social impacts to avoid adverse effects on biodiversity [8]. This innovative development model could serve as a framework for harmonizing economic growth objectives with natural resource conservation, addressing the challenges of environmental degradation and growing food security needs [9], [3], [4]. The Kara agropolis requires an integrated approach encompassing the three dimensions of sustainability: economic, social, and environmental [7], [10]. To meet the challenge of environmental sustainability within this agropolis, it is crucial to gain an in-depth understanding of its ecosystems. Mapping and characterization of forest ecosystems within the agropolis are therefore essential to ensure sustainable management of this

area [11], [12]. This approach will not only preserve local biodiversity but also ensure that agricultural activities are harmoniously integrated into the surrounding ecological landscape. This study aims to characterize the ecosystems of the Kara agropolis to contribute to the effective and sustainable development of this area. Ultimately, it will help understand the distribution of forests, identify areas requiring special protection, and make informed decisions to balance agricultural interests with biodiversity conservation.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 STUDY AREA

The study focuses on the Kara agropolis and a 10 km buffer zone around it. These areas are part of the Kara River basin (5,287 km²), a sub-basin of the Oti basin (75,859 km²), which is itself part of the Volta basin (398,390 km²) in West Africa. The Kara River basin is a transboundary basin located in parts of Togo and Benin. It lies between longitudes 0°30' and 1°38'E and latitudes 9°15' and 10°01'N. The Kara agropolis covers several prefectures in the Kara region (Doufelgou, Kéran, Bassar, and Dankpen prefectures) and is located between 9°37' and 9°52' North latitude and 0°54' and 1°10' East longitude (Fig 1). With a total arable area of 164,970 hectares, including 11,100 hectares of Planned Agricultural Development Zones (ZAAP), the area has rugged topography with mountain ranges such as the Defale, Djamdè, and Lama ranges, and a dense hydrographic network with the Kara River and its tributaries. The climate is predominantly tropical humid, with a rainy season from March to October. The soils are leached tropical ferruginous soils and hydromorphic soils along the watercourses. The landscape is dotted with wooded savannas and open forests with species such as shea trees and néré. Population density is high in some localities such as Broukou, Léon, and Misséouta, with a local economy mainly based on subsistence farming (maize, rice, yam) and cash crops (cotton).

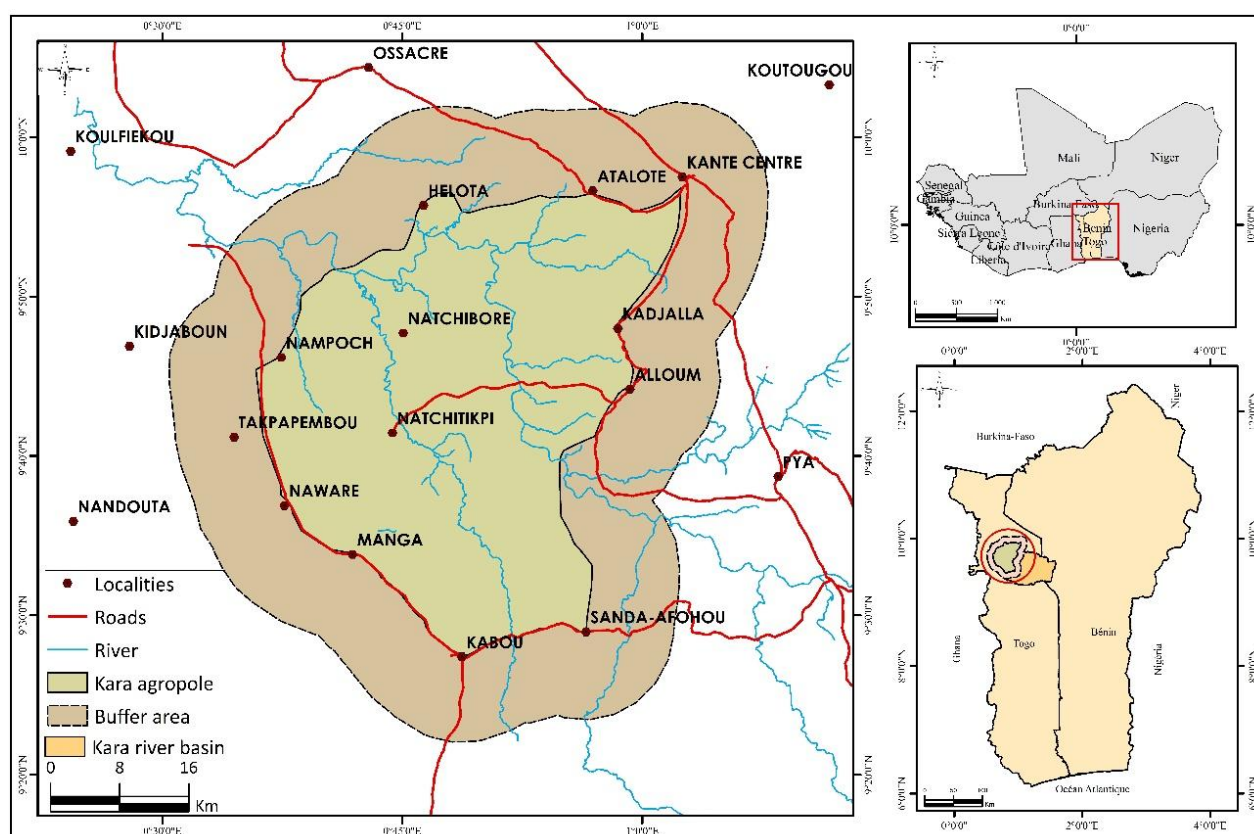


Fig. 1. Geographical situation of the study area

2.2 METHODOLOGY

A multi-source approach was adopted to characterize the baseline state of forest ecosystems in the agropolis. This approach combines two key steps:

- Land Use Mapping, which is crucial for understanding and managing forest ecosystems. It is based on the interpretation of aerial images and the classification of vegetation formations according to predefined criteria.
- Detailed characterization of each identified ecosystem, considering its specific composition, complex structure, and ecological functioning. This step is based on forest inventories and ecological field surveys.

This multi-source approach provides a complete and accurate picture of forest biodiversity, with is essential for sustainable forest management.

2.2.1 DATA COLLECTION

Two types of data were collected for this study. These are cartographic data including satellite images and topographic maps, and data relating to the characterization of forest ecosystems obtained from field forest inventories.

- **Cartographic Data**

The Landsat data with full spatial and spectral resolution (30 x 30 m resolution) for the end of the dry season (January 2023) and with less than 10% cloud cover were downloaded from the portal of the "Center for Earth Resources Observation and Science (EROS) of U.S. Geological Survey (USGS)" (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Level 2 products (Surface reflectance) from the Landsat 8 satellite in January 2023 were selected to obtain geometrically and radiometrically corrected data. Using Landsat data for land cover analysis is a wise choice, particularly for vegetation and land use studies. The 30-mander spatial resolution is suitable to distinguish between forested areas from non-forested areas, which is essential for natural resource management and environmental planning. Furthermore, the availability and free access to Landsat 8 satellite images make it an ideal tool. The data to be analyzed, such as training and validation plots, were collected in the field. A total of 310 polygons were digitized in the field to serve as training and validation plots. This data was used to improve classification accuracy and enhanced understanding of terrain characteristics, which is fundamental for land use characterization. Data for Characterization of Forest Ecosystems.

To characterize the structure of forest ecosystems and the woody flora in the agropolis of the Kara River basin, three types of data were collected: phytosociological data, ecological data, and forest inventory data. Togo's national forest inventory system (IFN1) was used for data collection. This system consists of a circle with a radius of 20 m, within which a circular plot with a radius of 4 m has been delimited. Within this 4 m plot, four small circles with a radius of 1 m were placed at the four cardinal points. This choice of circular plots helps reduce edge effects compared to other plot shapes [13]. The sampling plan was guided by the results of preliminary mapping. A buffer zone was defined around the Kara River basin agropolis, and 56 plots were randomly selected within the agropolis and the buffer zone. The forest inventory included all trees with a diameter at breast height (DBH) of 10 cm or more, considered as mature individuals located within a circle of a 20 m radius.

2.2.2 DATA PROCESSING

- **Cartographic Data Processing**

Classification was performed based on the Random Forest (RF) algorithm, developed by Breiman [14]. This algorithm was selected for its strong predictive capabilities for land use [15]. The RF algorithm was used for mapping based on over 300 training pixels, with classes determined in the field. Classification validation was carried out based on control points collected in the field. Several authors have shown that land cover classifications with RF outperform classifications using other types of algorithms, such as maximum likelihood classification [15]. Its ability to handle many input variables and to estimate missing values makes it particularly useful in situations where data is complex or incomplete. Additionally, the RF's aggregation method, which combines the results of multiple decision trees, enhances accuracy and controls overfitting, making it a robust choice for analyses [16].

To maximize information from the bands and eliminate noise to improve class discrimination, indices were used, notably the Normalized Built-Up Index (NDBI), the Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI), and the Normalized Difference Water Index (MNDWI) [17].

- **Normalized Difference Vegetation Index: NDVI**

The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) quantifies vegetation by measuring the difference between near-infrared (which vegetation reflects strongly) and red light (which vegetation absorbs). The NDVI uses the near-infrared (NIR) and red channels in its formula:

$$NDVI = NIR - Red \div NIR + Red$$

▪ Enhanced Vegetation Index: EVI

In dense cover areas where the Leaf Area Index (LAI) is high, NDVI values can be improved by utilizing information in the blue wavelength. Information in this part of the spectrum can help correct soil background signals and atmospheric influences. The Enhanced Vegetation Index (EVI) is an “optimized” vegetation index designed to improve the vegetation signal with enhanced sensitivity in high-biomass regions and better monitoring of vegetation through decoupling the canopy background signal and reducing atmospheric influences.

EVI is calculated using the following equation:

$$EVI = 2,5 \times (NIR - Red) \div (NIR + 6 \times Red - 7,5 \times Blue + 1)$$

▪ Normalized Differential Water Index: NDWI

The NDWI is a remote sensing indicator sensitive to changes in leaf water content [18]. It is used to differentiate between continental forests and mangroves. Its formula is as follows:

$$NDWI = (NIR - SWIR) \div (NIR + SWIR) \quad NDMI = (NIR - SWIR) \div (NIR + SWIR)$$

The different land use classes retained are:

▪ Forest

This includes gallery forests, open forests, and forest plantations.

▪ Savannas

This class mainly consists of shrub and tree savannas, typically characterized by vegetation rich in shea, néré, tamarind, and acacia.

▪ Crops and Fallow Lands

This class groups together food crops such as maize and soybeans. The fallow lands consist of previously cultivated areas left to rest for a few years.

▪ Bare and Built-Up Lands

This includes land without vegetation or with low vegetation cover, encompassing bare soils, rocky outcrops, roads, and settlements.

▪ Water Bodies

This includes rivers, dams, and ponds, which may be temporary.

• Processing of Floristic and Structural Data

The collected data was entered into an Excel spreadsheet for easier manipulation. Prior to processing, scientific names were corrected by referring to the International Plant Name Index (IPNI) database, and synonyms were used to refine the species list based on the "World Flora Online" synonym database. The adopted nomenclature followed the recommendations of the Angiosperm Phylogeny Group [19]. Once the floristic lists had been purified, several analyses were conducted. First, a floristic analysis was performed to establish the woody species composition of the environment in terms of species richness, as well as to calculate diversity indices such as the Shannon-Weaver Diversity Index (H') [20] and Piélou's evenness index (E). Next, a chorological and phytogeographic analysis was undertaken for each species to determine their geographical distribution and origin. Biological forms or types (TB) refer to the adaptive behavior of plant species. In this work, after identifying each species, biological forms were named according to the Raunkiaer system [21] applied by [22], [23], [24], [25]. Phytogeography studies the distribution of plant species across the globe [26], [27]. The aim is to determine the chorological affinities of the different recorded species. This analysis was based on the chorological subdivisions for Africa established by White adopted by [28], [29], [30]. The phytogeographical types retained are AT = Afrotropical; SZ-GC = Soudano-Zambézienne/Guinéo-Congolaise; SZ = Soudano-Zambézienne; GC = Guiné-Congolaise; S = Soudanienne; SG = Soudano-Guinéenne; Pal = Paléotropical; Pan = Pantropical. The conservation status of species at the international level was evaluated with reference to the IUCN Red List [31]: Extinct (EX), Extinct in the Wild (EW), Critically Endangered (CR), Endangered (EN), Vulnerable (VU), Near Threatened (NT), Least Concern (LC), Data Deficient (DD), Not Evaluated (NE). The structural characterization of ecosystems in the study area was based on the distribution of individuals with DBH ≥ 10 cm by diameter and height class using Minitab software coupled with Microsoft Excel. Minitab software was used to calculate the various parameter values for the Weibull distribution

probability, as well as means and standard deviations. The diameter class range is 10 cm, and the minimum diameter is 10 cm. For height classes, the range is 3 m. The structures of the stands were fitted to the theoretical distribution function based on the three (3) parameters of Weibull. Density, mean diameter, and basal area were used to describe the structure of adult stands. Stand density is defined as the total number of stems per unit area (hectare) for trees with dbh ≥ 10 cm; it is calculated using the formula:

$$N = \frac{\text{Total number of trees in the plot}}{\text{Area of the plot (expressed in hectares)}}$$

The mean diameter and the average total height are calculated directly through arithmetic calculation. The basal area is the sum of the cross-sectional areas at 1.30 m above ground level for all trees, converted to a per-hectare basis. It is obtained using the following formula:

$$G = \pi \sum d_i^2$$

Where:

- ✓ G = basal area
- ✓ d_i = diameter of tree i at 1.3 m

3 RESULTS

3.1 LAND USE

The Kara agropolis and its buffer zone are occupied by forests (dense vegetation formations, including gallery forests, remnants of open forests, and plantations), savannas, crops and fallow land, bare and built-up soils, and water bodies (Fig 2). The accuracy assessment at the pixel level yielded an overall accuracy of 95%. This indicates that many pixels were correctly classified in relation to reference data. This level of accuracy provides a solid foundation for further analysis and informed decision-making in the land management of land use planning.

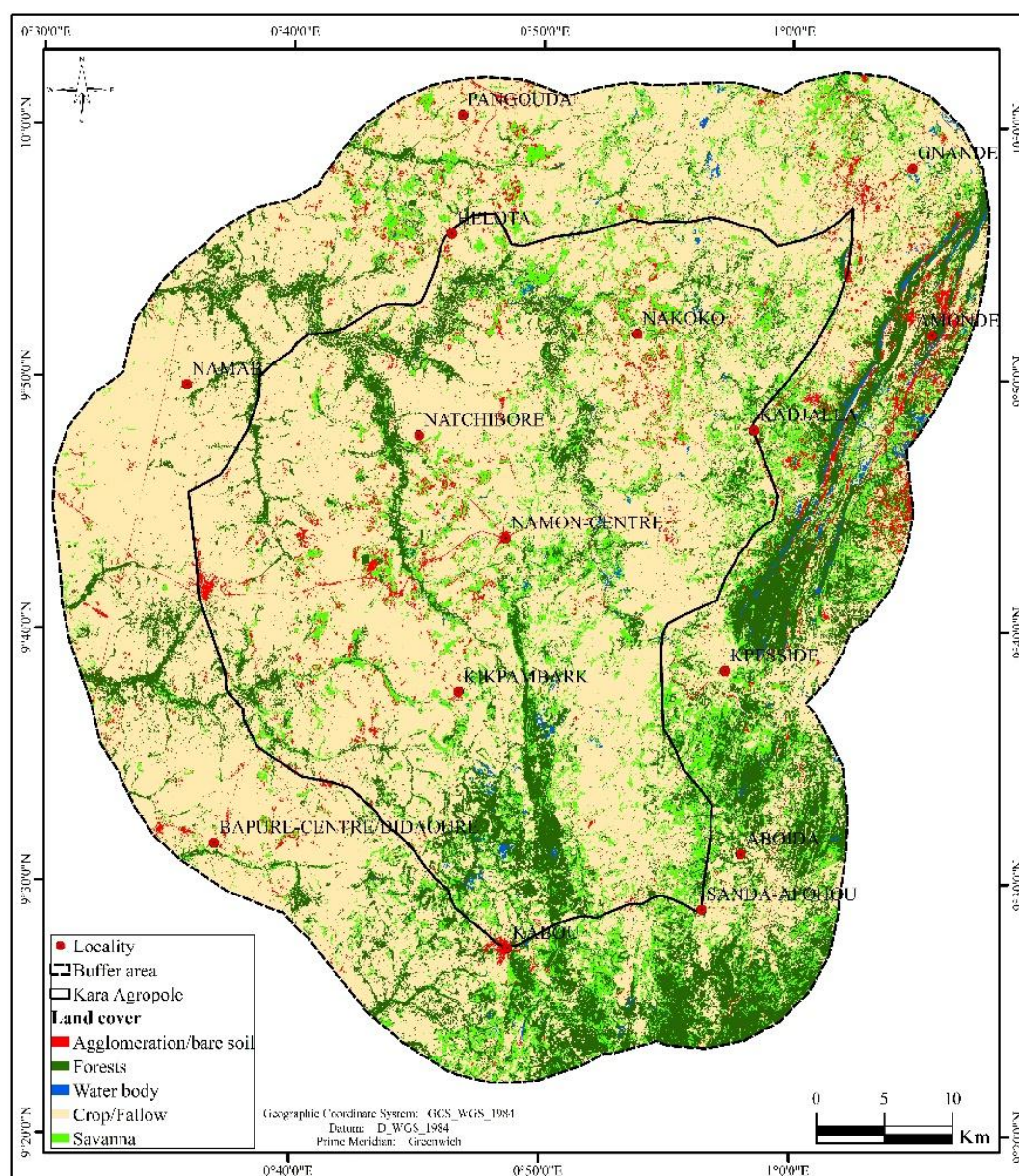


Fig. 2. Land use in the Kara agropole and its surroundings in 2023

Generally, the results show that cropland and fallow land occupy a large proportion of the total area of the study zone, amounting to 250,518 hectares, which represents 67% of the total surface. Compared to the buffer zone, the agropolis has a slightly higher proportion of crop and fallow land, with 72% compared to 63% for the buffer zone. Forests, accounting for about 13% in the agropolis and 21% in the buffer zone, are the second most prevalent land use, followed by savannas and residential areas (Table 1). Water bodies represent the smallest land use class in the area, totaling 41,934 hectares, or less than 1%.

Tableau 1. Areas of land use in 2023 in the Kara agropole and the buffer zone

	Study area Area (ha)	Agropolis Area (ha)	Proportion (%)	Buffer Area (ha)	Proportion (%)
Bare soil agglomeration	11858	4806	2,91	7052	3,40
Forest	65508	22004	13,34	43504	21,00
Water	2346	750	0,45	1596	0,77
Crop/fallow	250518	118764	71,99	131754	63,59
Savanna	41934	18647	11,30	23287	11,24

3.2 CHARACTERIZATION OF THE INITIAL STATE OF ECOSYSTEMS

3.2.1 FLORAL DIVERSITY

The study of woody vegetation, carried out through 56 surveys, identified 105 species belonging to 79 genera and 31 botanical families (Fig 3). The most represented families are Fabaceae (22%, with 27 species), Combretaceae, and Rubiaceae (10% each, with 11 species each), as well as Moraceae and Phyllanthaceae (7%, with 7 species each). These five families dominate the population, representing over 55% of all identified species, while the remaining families are less well represented, totaling 45% of the counts. At the generic level, species distribution highlights certain genera that are particularly diversified within this woody flora. These include Terminalia (7 species), Ficus (5 species), and Combretum (3 species).

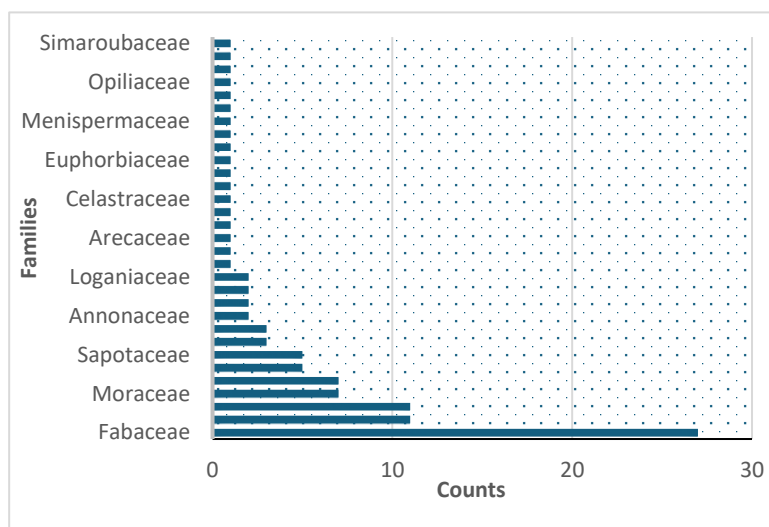


Fig. 3. Dominant families of woody flora in the Kara Basin agropole

• Variation of Diversity Indices

The following table (Table 2) presents the analysis of the variation of diversity and equitability indices in the study area. A moderate diversity is noted in the agropolis area ($H' = 2.69$ bits) and the buffer zone ($H' = 2.13$ bits). Regarding the Pielou equitability index, it is higher in the agropolis area ($E = 0.59$ bits) than in the buffer zone ($E = 0.43$ bits). However, at the global scale of the study area, high diversity is observed ($H' = 4.19$ bits) associated with a strong Pielou equitability index ($E = 0.90$ bits). This indicates that all species at the scale of the study area as a whole exhibit significant diversity with a very equitable distribution of individuals among the different species, without marked dominance of any single species. On the other hand, there are somewhat pronounced differences between the agropolis area, which has moderate diversity and equitability, and the buffer zone, which presents lower values for both indices.

Tableau 2. Variation of diversity indices or ecological paramanders

	Agropolis	Buffer zone	Study area
Specific richness (S)	95	84	105
Shannon index (H')	2,69	2,13	4,19
Maximum diversity Hmax (bits)	4,55	4,43	4,65
Pielou's evenness E	0,59	0,48	0,90

• Biological and Phytogeographical Spectra of the Woody Flora

The analysis of the distribution of biological types (Fig 4) reveals the predominance of microphanerophytes (48.57%), followed by mesophanerophytes (30.47%), while nanophanerophytes (11.42%) are also poorly represented. Other biological forms (larger phanerophytes, chamaephytes, etc.) are present in small numbers.

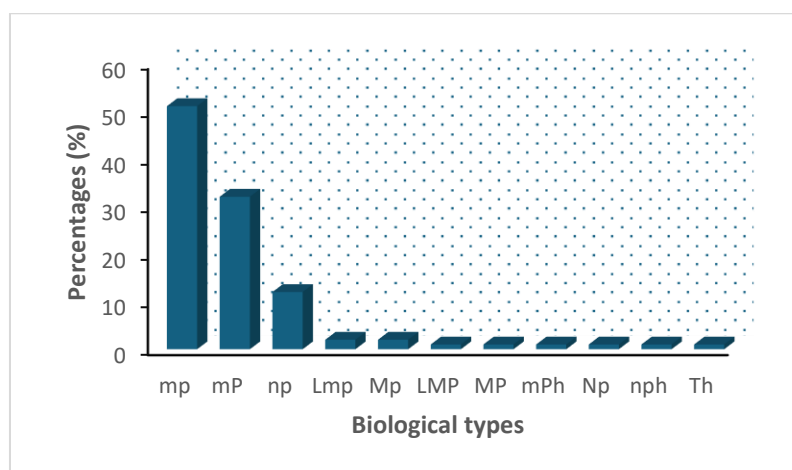


Fig. 4. Dominant families of woody flora in the Kara Basin agropole

mp: microphanerophyte; np: nanophanerophyte; mP: mesophanerophyte; MP: megaphanerophyte; G: geophyte; H: hemicryptophyte; Th: therophyte.

From a phytogeographical perspective (Fig 5), the most represented species are those from the Sudano-Zambesian region, accounting for 45.71% of the identified woody taxa. There are followed by species with Guineo-Congolese and Sudanese affinities, representing 20% and 11% of the counts, respectively. This distribution reflects the association of this flora with the Sudanese and Sudano-Zambesian phytogeographical domains, which are the main centers of plant diversity in this part of Africa.

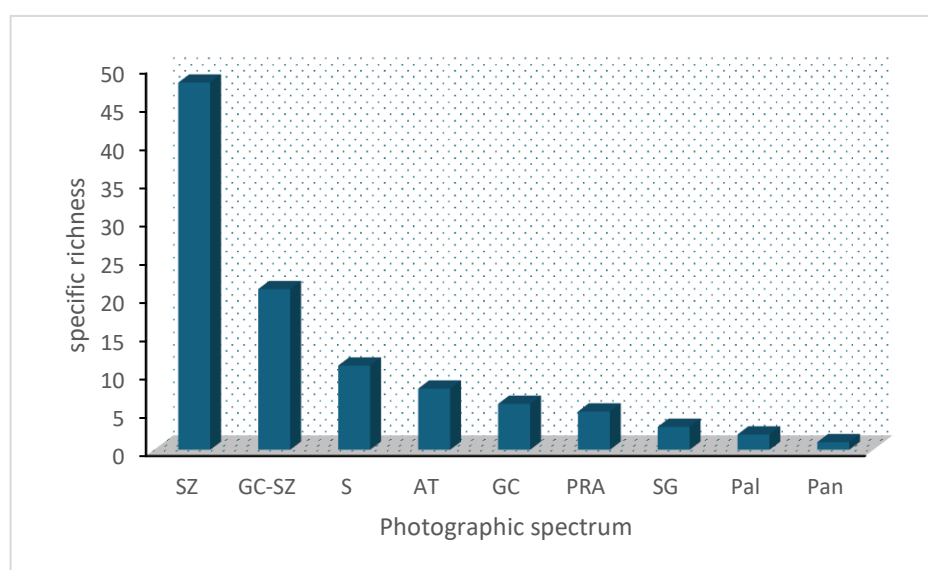


Fig. 5. Phytogeographic spectra, as a percentage of the number of species, of the woody flora in the Kara Basin agropole

AT = Afrotropical; SZ-GC = Sudano-Zambesian/Guineo-Congolese; SZ = Sudano-Zambesian; GC = Guineo-Congolese; S = Sudanese; SG = Sudano-Guinean; Pal = Paleotropical; Pan = Panropical

The analysis of the woody flora reveals that four species are listed on the International Union for Conservation of Nature (IUCN) Red List, exhibiting different degrees of threat. Two species, *Azelia africana* and *Vitellaria paradoxa*, are classified as Vulnerable (VU). One species, *Pterocarpus erinaceus*, is classified as Endangered (EN) (Fig 6). Finally, one species, *Raphia sudanica*, is classified as Near Threatened (NT). This analysis highlights the importance of closely monitoring the conservation status of these threatened woody species to varying degrees in the studied area.

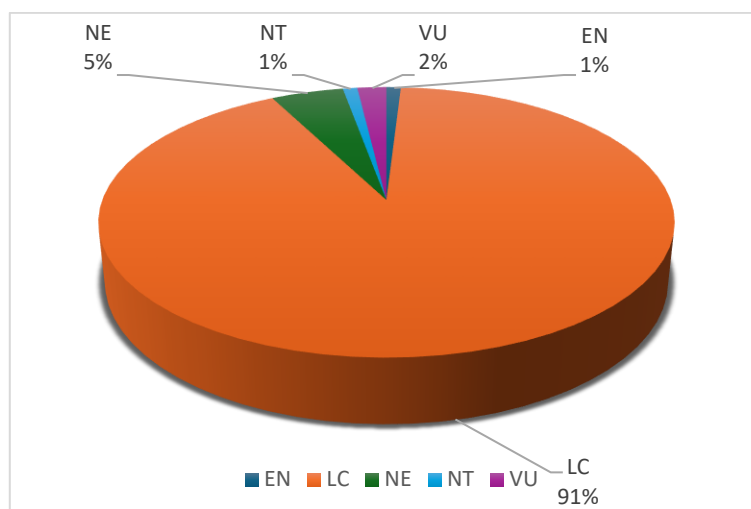


Fig. 6. Species status according to the International Union for Conservation of Nature

3.2.2 FOREST CHARACTERISTICS

The Agropole area has a relatively low tree density of 97.2 trees/ha, compared with 119.08 trees/ha in the buffer zone. However, the average tree diameter (18.91 cm) and their average height (7.6 m) are slightly lower in the buffer zone compared to the Agropole area (Table 3). On the other hand, the basal area of 32.30 m²/ha is greater in the buffer zone than in the Agropole area, which is only 29.86 m²/ha. These structural characteristics indicate that the forest stand in the Agropole area is relatively young and is under greater anthropogenic pressure than that in the buffer zone.

Tableau 3. Main forest characteristics by agropole and buffer zone

Zone	Density (tree/ha)	Mean diameter (Cm)	Mean height (m)	Total area (m ² /ha)
Agropolis	97,20	19,87 ± 12,72	7,89±3,54	29,86± 0,07
Buffer zone	119,08	18,91± 11,52	7,6± 3,12	32,30±0,06

3.2.3 DEMOGRAPHIC STRUCTURE OF WOODY POPULATION BASED ON DIFFERENT LAND USES

• Distribution by Diameter Class

The analysis of the shape parameters (c) according to diameter distribution reveals distinct trends based on land use types. In open forest and wooded savanna, the diameter structure of the woody population presents an inverted J-shape, with a parameter c of less than 1. This regressive structure indicates a strong representation of young individuals in the diameter class [10-20 [, as well as a presence of individuals of medium size in the class [20-30 [, with a low number of older individuals. In contrast, the woody stands in shrub and wooded savannas, as well as those in crop/fallow and gallery forests, display a positively skewed distribution, with shape parameters c ranging from 1 to 3.6 (Table 4). These values suggest a predominance of young individuals, indicating dynamism in these ecosystems. This difference in diameter structures highlights the importance of recognizing that these land uses are subject to anthropogenic pressure resulting from different management practices and environmental conditions.

The analysis of tree distribution by diameter class shows that both areas exhibit an inverted "J" shape (Fig 7). The shape coefficient (c) for diameter class distribution in the Agropole (0.93) and in the buffer zone (0.95) is less than 1. This reflects a strong representation of young individuals in the diameter class [10-20 [, medium individuals in the diameter class [20-30 [, and a low number of old individuals. This distribution shows that the forest population in this area is characterized by its youth and greater anthropogenic pressure compared to that of the buffer zone. This distribution demonstrates strong potential for regeneration and excessive pressure on woody resources in the project area.

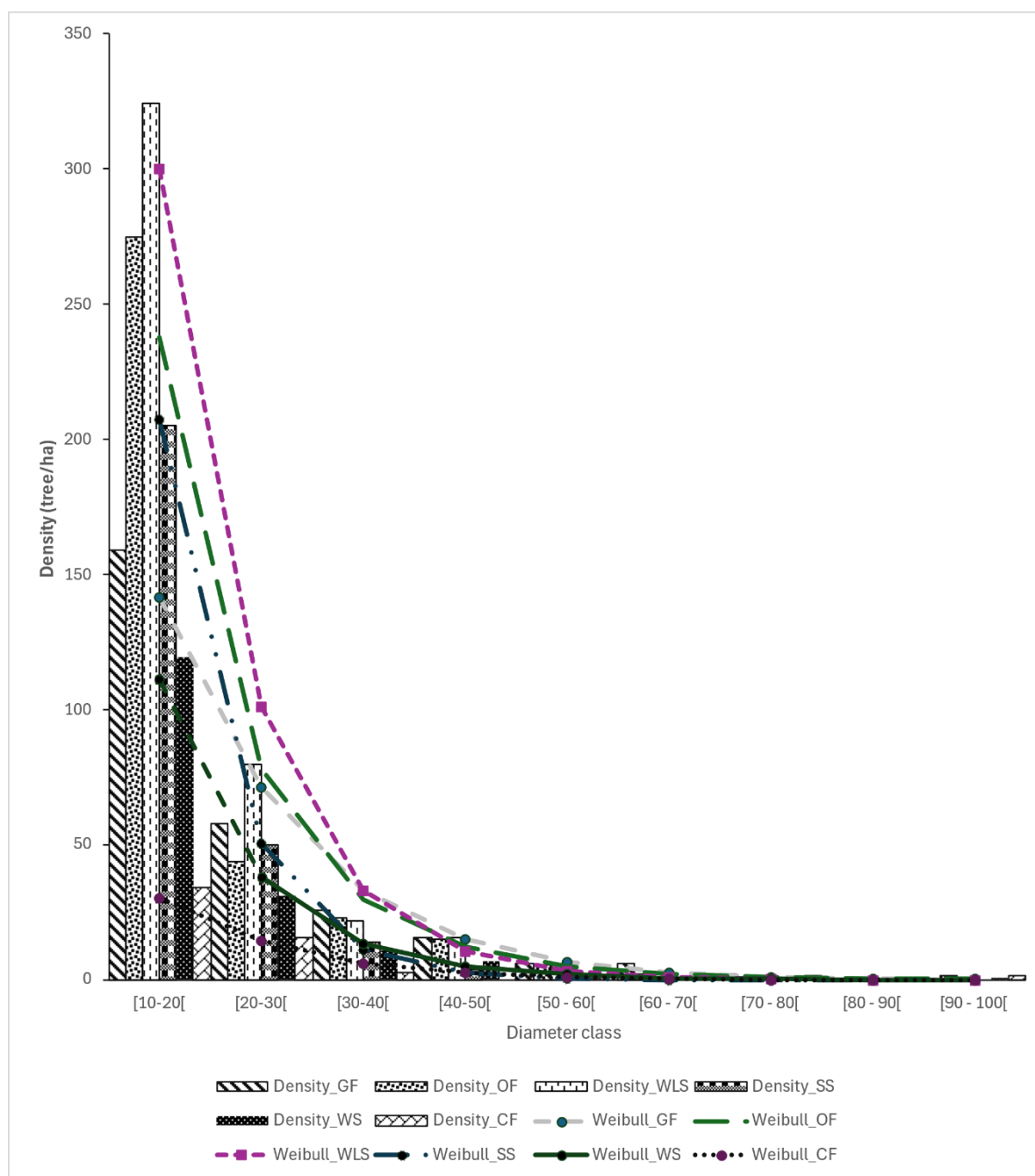


Fig. 7. Diameter structure of trees in the buffer zone and agropole

Cultivation/Fallow (CF), Open Forest (OF), Gallery Forest (GF), Tree Savanna (TS), Shrub Savanna (SS), Wooded Savanna (WS)

• Distribution by Height Class

The fit of the vertical distribution of trees to the Weibull distribution in the different formations of the study area presents shape indices (c) ranging from 1 to 3.6 (Table 4). These bell-shaped distributions indicate a positively skewed or right-skewed distribution, characteristic of stands with a relative predominance of young and short individuals. The height classes most represented based on the different land uses in the buffer zone and the Agropole are [3-6 [, [6-9 [, and [9-12 [(Fig 8).

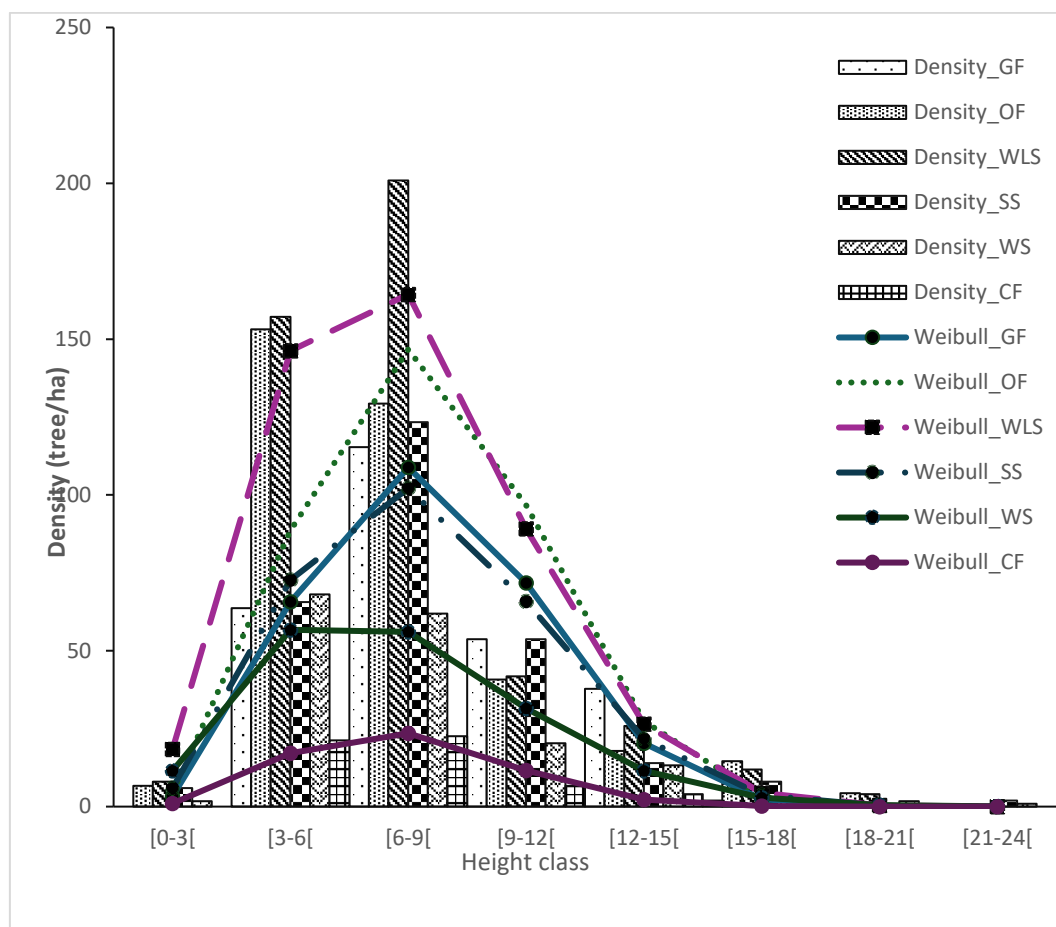


Fig. 8. Height structure of trees in the buffer zone and agropole

Cultivation/Fallow (CF), Open Forest (OF), Gallery Forest (GF), Tree Savanna (TS), Shrub Savanna (SS), Wooded Savanna (WS)

Tableau 4. Values of shape parameter (c) of the distribution by diameter and height class

Zone	Les values of the shape parameter (c)	
	Diameter	Height
Agropolis	0,93	2,06
buffer	0,95	2,24

4 DISCUSSIONS

Anthropized Zones Mainly Disturbed, with Richly Diverse Forest Ecosystems

Understanding the ecological and cartographic baseline of the Kara Agropole site provides a better grasp of the area's environmental challenges and offers the potential for more resilient measures adapted to sustainability principles. Indeed, land use mapping reveals that anthropized areas account for a significant portion of the total area under study. This anthropization manifests through the expansion of arable land, increased grazing areas, and urban sprawl. There are also variations in land use units based on the level of anthropogenic pressure exerted. These observations are corroborated by several studies [32], [33]. This finding underscores the importance of thoughtful management of natural resources to reconcile human development with environmental preservation.

The results of the floristic composition and structure of the woody vegetation conducted in the project area present both similarities and divergences with previous studies in the Sudanian zone. The floristic investigations carried out in the study area identified 105 species belonging to 79 genera and 31 botanical families. This specific richness is slightly higher than that of

forest formations in the northern Atakora mountains in Togo, which have 102 species [34] and community forests in the Dankpen prefecture, which have 84 species (Atakpama and al., 2022). In contrast, it is lower than that of the Djamdè reserve, which has 126 species [35] and the Mô River basin, with 142 species [36] located in ecological zone II. The higher biological diversity observed in the Djamdè reserve can be explained by the fact that these areas benefit from a protected status that limits anthropogenic pressures. Indeed, protected areas generally exhibit greater species diversity compared to unprotected areas. The Mô basin, on the other hand, benefits from its isolation, which seems to have contributed to preserving its ecosystems from massive destruction.

The most diverse families are Fabaceae, Combretaceae, Malvaceae, Moraceae, Phyllanthaceae, and Rubiaceae. These families indicate the more humid climatic conditions favorable to the development of woody plants. The Fabaceae and Rubiaceae have been the most reported in previous studies in ecological zone II of Togo [37]. The results from Awitazi [35] also show a predominance of these families, just like in the present study. These convergences highlight the importance of these taxonomic groups in the composition of plant formations in the Sudanian-Guinean savannas of West Africa. The biological types of woody flora indicate conservation status and ecology of the ecosystems. Microphanerophytes dominate the vegetation formations in the agropole project area, followed by mesophanerophytes. The high percentage of microphanerophytes and mesophanerophytes in the vegetation formations is due to the young individuals of woody species (such as *Combretum*) and to adult individuals of certain species with significant socio-economic value, such as *Vitellaria paradoxa* and *Parkia biglobosa*. Phytogeographically, the species of Guineo-Congolese/Sudano-Zambesian transition and Sudano-Zambesian species are the most predominant. This confirms the transitional nature of the plant formations in zone II. The dominance of Sudano-Zambesian species in the study corroborates the work carried out in the Aledjo reserve and Fazao-Malfakassa Park [38]. The floristic richness was relatively higher in the agropole zone (95 species) and somewhat lower in the buffer zone (84). This may explain the higher diversity and Pielou index in the agropole compared to the buffer zone. However, at the overall scale of the study area, a high diversity ($H' = 4.19$ bits) is observed, associated with a high Pielou equity index ($E = 0.90$ bits). This indicates that the entire species assemblage across the study area presents significant diversity with a very equitable distribution of individuals among different species, without a marked dominance of any one of them. Thus, the high value of the Shannon index in the agropole results from the conservation of certain valued species in the cultivated areas. The Pielou regularity index obtained is low in the buffer zone, reflecting the high anthropogenic pressure from activities such as grazing, bushfires, and logging for firewood and charcoal.

In the study area, the presence of threatened species, such as *Afzelia africana*, *Pterocarpus erinaceus*, and *Vitellaria paradoxa* in the Agropole, and species such as *Afzelia africana*, *Pterocarpus erinaceus*, *Raphia sudanica*, and *Vitellaria paradoxa* in the buffer zone, should draw the attention of policymakers to the importance of closely monitoring the conservation status of these threatened woody species in the study area during the implementation of the Agropole project.

The height structure of woody species is positively skewed, while the diameter structure exhibits an inverted "J" shape across all studied zones. This demographic state is like that in ecological zone II of Togo [34], [39], [40] and in the sacred forest of Nassou in the Sudanian zone of Benin [41]. These two types of distributions indicate that all formations in the study area are highly disturbed, which may be explained by adverse climatic conditions and anthropogenic pressure. However, this strong predominance of small-diameter trees in the buffer and agropole zones could be an asset for any vegetation restoration efforts according to a sustainable management plan [39], [42]. The advantage is that small-diameter trees generally have a higher growth rate, allowing for rapid regeneration of vegetative cover, thereby facilitating ecosystem restoration.

5 CONCLUSION

In the Sudanian zone of Togo, particularly in the Kara region, anthropogenic pressure and climatic conditions influence the dynamics of forest ecosystems. The characteristics of the plant formations in the study area indicate that the horizontal and vertical structure of the woody populations remains dominated by trees of small diameter classes. The current floristic diversity and structural characterization of the vegetation stands in the agropole area are consequences of land-use practices. The mapping of land use in the study area has provided a comprehensive view of the distribution of plant formations. Today, new approaches to food security through the establishment of agropoles must integrate various biodiversity conservation actions through management plans that include the three dimensions of sustainable development. This would enhance the resilience capacity of ecosystems while contributing to mitigating the effects of climate change.

ACKNOWLEDGMENT

I would like to thank the whole team at the Laboratoire de Recherche Forestière, especially my supervisor Kouami KOKOU for his availability and support.

REFERENCES

- [1] FAO, Agriculture is a fundamental element of economic and social development, especially in developing countries where it often represents a significant share of the Gross Domestic Product (GDP) and employs a considerable, 2023. [Online], [Accessed from: <https://www.fao.org/4/y5673f/y5673f00.htm> (October, 2023).
- [2] Ogouwale, R., Koumassi, H.D. «Vulnerability of Women to Extreme Climate Events in the Commune of Dassa-Zoume», *Benin. Int. J. Progress. Sci. Technol.* 22, 265–277, 2020.
- [3] Karsenty, A. «Geopolitics of Central African Forests», *Hérodote* 108–129, 2020.
- [4] Imorou, I.T., Arouna, O., Zakari, S., Djaouga, M., Thomas, O., et Kinmadon, G. Évaluation de la déforestation et de la dégradation des forêts dans les aires protégées et terroirs villageois du bassin cotonnier du Bénin. Dans Conférence OSFACO: Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique, Cotonou, 13-15 March 2019, pp. 49-73, 2019.
- [5] Boussougou, G. Vulnerability of Forest Landscapes in Relation to Human Activities and Climate Variability in Tanzania: Prospective Analysis of Land Use Dynamics in the Pugu and Kazimzumbwi Forest Reserves (PhD Thesis). University of Réunion, 2017.
- [6] Gafsi, M. «Family Farms in West and Central Africa: Challenges, Characteristics, and Management Elements». *Editions Quae*, 2007.
- [7] Zahm, F., Ugaglia, A.A., Barbier, J.-M., Boureau, H., Del'Homme, B., Gafsi, M., Gasselin, P., Girard, S., Guichard, L., and Loyce, C., «Evaluating the sustainability of farms: The IDEA v4 Method, a conceptual framework combining dimensions and sustainability properties». *Cahiers Agricultures*, 28 (10), 2019.
- [8] African Development Bank, The AfDB Allocated 16 billion FCFA in Funding for Togo's Agropole Transformation Project. Le Togo D'abord, 2024. [Online], [Accessed from <https://www.togofirst.com/fr/gouvernance-economique/1410-14976-togo-la-bad-alloue-un-financement-de-16-milliards-fcfa-au-projand-des-agropoles>, (Avril, 2024).
- [9] Dangbo, F.A., GARDI, O., ADJONOU, K., HLOVOR, A.K.D., BLASER, J., KOKOU, K., «An Analytical Assessment of Forest Cover Changes Over the Last 30 Years in the Semi-Deciduous Forest Zone of Togo», *J. Hortic. For.* 12, 70–83, 2020.
- [10] Vilain, L., The IDEA Method: Indicators of Sustainability for Agricultural Holdings. Educagri editions, 2008.
- [11] Djohy, GL, Vodounon, HST and Kinzo, NE., «Dynamics of Land Use and Evolution of Agricultural Lands in the Commune of Sinède in Northern Benin». *Cahiers du CBRST*, 9, 101–121, 2016.
- [12] Adomou, AC, Sinsin, B., and Defoucalt, B., «Biogeographic Analysis of Vegetation in Benin», *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 5 (4), 1432–1447, 2009.
- [13] Thiombiano, A., Schmidt, M., Kreft, H., and Guinko, S., «Influence of the Climate Gradient on the Distribution of Combretaceae Species in Burkina Faso (West Africa)», *Candollea*, 70 (2), 189–213, 2015.
- [14] Breiman, L., «Statistical Modeling: The Two Cultures», *Statistical Science*, 16 (3), 199–215, 2001.
- [15] Gislason, P. O., Benediktsson, J. A., and Sveinsson, J. R., «Random Forests for Land Cover Classification», *Pattern Recognition Letters*, 27 (4), 294–300, 2006.
- [16] Grinand, C., Gollner, M., and Rabeharisoa, L., «Estimation of Deforestation in Madagascar's Humid Forests Using Remote Sensing Data», *Revue Française de Photogrammétrie and de Télédétection*, 14 (211-212), 27–34, 2013.
- [17] Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., and Deering, D. W., «Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS», *NASA Special Publication*, 351, 309–317, 1974.
- [18] Gao, B.-C., «NDWI — A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space», *Remote Sensing of Environment*, 58 (3), 257–266, 1996.
- [19] Angiosperm Phylogeny Group, «An Update of the Angiosperm Phylogeny Group Classification for the Orders and Families of Flowering Plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181 (1), 1–20, 2016.
- [20] Shannon, CE and Weaver, W., «A Mathematical Theory of Communication», *Bell System Technical Journal*, 27 (3), 379–423, 1969.
- [21] Raunkiaer, C., *The Life Forms of Plants and Statistical Plant Geography; Being the Collected Papers of C. Raunkiaer*. Life Forms Plants Stat. Plant Geogr. Collect. Pap. C Raunkiaer, 1934.
- [22] Adjossou, K., Floristic Diversity of Riparian Forests in Ecological Zone IV of Togo. Master's Thesis, University of Lomé, 75, 2004.
- [23] Ali, R., Odjoubere, J., Tente, A.N.H., Sinsin, A.B., «Floristic Characterization and Analysis of Pressures on Sacred or Community Forests in the Lower Ouémé Valley», *Southeast Benin. African Science, International Science and Technology Review*, 10, 2014.
- [24] Kokou, K., Caballe, G., Akpagana, K., Batawila, K., «Forest Islands in Southern Togo: Dynamics and Relationships with Peripheral Vegetation», *Revue d'Écologie*, 1999.

- [25] Kossi, A., Fifonsi, A., Tossimidé, H., Abotsi, K., Donko, K., Guelly, A., Kouami, K., «Forest Land Use and Native Tree Diversity Conservation in Togolese Mega Hotspot, Upper Guinean, West Africa», *Journal of Ecology and Natural Environment*, 11, 127–142, 2019.
- [26] Guelaumand, J.-L., Belin, M., Tropical Phytogeography: Realities and Perspectives.
- [27] Lacoste, A., Salanon, R., *Elements of Biogeography and Ecology*, Nathan Université, 1996.
- [28] Ganamé, M., Bayen, P., Ouédraogo, I., Dimobe, K., Thiombiano, A., «Woody Species Composition, Diversity, and Vegetation Structure of Two Protected Areas Along a Climatic Gradient in Burkina Faso (West Africa)», *Folia Geobotanica*, 54, 163–175, 2019.
- [29] Kami, T.J.V., Moutsambote, J.-M., Nzobadila, E.K., Atencia, R., «Floristic and Phytogeographical Analysis of the Vegetation in the East of Conkouati-Douli National Park (Republic of Congo)», *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 27, 122–132, 2019.
- [30] Miabangana, E.S., Lubini Ayingweu, C., Malaisse, F., «Floristic and Phytogeographical Analysis of the Djoumouna Forest (Republic of Congo)», *International Review of Tropical Ecology*, 40, 2016.
- [31] IUCN. The IUCN Red List of Threatened Species, 2015, [Online], [Accessed from: <https://www.iucnredlist.org>, (march, 2015).
- [32] Atakpama, W., Egbelou, H., Folega, F., Chakourou, A.F.O., Batawila, K., Akpagana, K., «Floristic Diversity of Community Forests in the Prefecture of Dankpen, Togo», *Moroccan Journal of Agricultural and Veterinary Sciences*, 10, 2022.
- [33] Koumou, Z., Alassane, A., Djangbedja, M., Boukpepsi, T., and Kouya, A.-E., «Spatio-Temporal Dynamics of Land Use in Central Togo», *Revue de Géographie Ahoho*, 10 (7), 163–172, 2013.
- [34] Djideal, F., Atakpama, W., Samarou, M., Egbelou, H., Komlana, B., «Diversity and Structure of the Tree Layer in Forest Formations in Northern Atakora Mountains, Togo», *Journal of Natural Technology*, 16, 35–48, 2024.
- [35] Awitazi, T., Radji, R., Okoumassou, K., «Diversity of Woody Species in Djamde Wildlife Reserve, Northern Togo, West Africa», *Data Science Journal*, 18, 18–18,, 2019.
- [36] Diwediga, B., Wala, K., Folega, F., Dourma, M., Woegan, Y.A., Akpagana, K., Le, Q.B., «Biophysical and Anthropogenic Danderminants of Landscape Patterns and Degradation of Plant Communities in Mo Hilly Basin (Togo)», *Ecological Engineering*, 85, 132–143, 2015.
- [37] Woegan, Y.A., Akpavi, S., Dourma, M., Atato, A., Wala, K., Akpagana, K., «Current Knowledge on the Flora and Phytosociology of Two Protected Areas in the Atakora Range in Togo: Fazao-Malfakassa National Park and Alédjo Wildlife Reserve», *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7, 1951–1962, 2013.
- [38] Woegan, Y.A., «Diversity of Woody Vegetation Formations in Fazao-Malfakassa National Park and Aledjo Reserve (Togo)», *Acta Botanica Gallica*, 158, 445–449, 2011.
- [39] Kombate, B., Dourma, M., Folega, F., Woegan, A., Kpérkouma, W., Akpagana, K., «Floristic Diversity and Structural Characterization of Woodland Formations in the Sudano-Guinean Zone of Central Togo», *African Science*, 17, 29–43, 2020.
- [40] Dourma, M., Batawila, K., Wala, K., Kokou, K., Guelly, K.A., Bellefontaine, R., Foucault, B. de, Akpagana, K., «Natural Regeneration of *Isobertia* spp. Stands in the Sudanian Zone of Togo», *Acta Botanica Gallica*, 156, 415–425, 2009.
- [41] Agbani, P.O., Amagnide, A., Goussanou, C., Azihou, F., Sinsin, B., «Structure of Woody Plant Communities in the Sacred Forest of Nassou in the Sudanian Zone of Benin», *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 12, 2519–2534, 2018.
- [42] Adjonou, K., Djiwa, O., Kombate, Y., Kokutse, A.D., Kokou, K., «Study of Spatial Dynamics and Structure of Relic Dry Dense Forests in Togo: Implications for Sustainable Management of Protected Areas», *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4, 2010.

Effets des biopesticides à base de la poudre d'amande du neem et des fruits du piment sur les insectes ravageurs du niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)

[Effects of biopesticides based on neem almond powder and ripe chili fruits on cowpea insect pests (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)]

Halilou Hayyo¹, Kadri Aboubacar², Hame Abdou Kadi Kadi³, and Hadja Amgare Aboubacar¹

¹Département d'Agriculture en Zone Aride, Institut Universitaire de Technologie, Université d'Agadez, BP: 199 Agadez, Niger

²Département Productions Végétales, Faculté d'Agronomie, Université Abdou Moumouni de Niamey, BP: 10960 Niamey, Niger

³Centre Régional de Recherche Agronomique (CERRA) de Niamey, Institut National de Recherche Agronomique du Niger (INRAN), BP: 429, Niamey, Niger

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

ABSTRACT: In Niger, cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) ranks first among legumes produced and consumed and third among crops after pearl millet and sorghum. However, its production is compromised by numerous diseases and insect pests. The use of synthetic pesticides is the first control method used by producers against insect pest. The objective of this study is to evaluate the effects of biopesticides based on neem almond powder (T3) and ripe chili pepper fruits (T2) on cowpea insect pests in order to lower the costs associated with phytosanitary treatments and increase the yield of this crop. A total of five (5) applications were made at regular intervals of one week. Before each application, scouting was conducted to capture the count the insects in order to determine the incidence of these insects on the cowpea. The incidence of insect pests was 75.81% and 87.52% at the 3rd and 5th counts for the control (T1). On the other hand, it was 42.38% and 19.73% for the T2 treatment and 27.07% and 12.33% for the T3 treatment respectively at the 3rd and 5th counts. Similarly, the seed yield was increased after application of biopesticides. It was 387.67 kg/ha and 832.67 kg/ha respectively for T2 and T3 against 341.67 kg/ha for the control. During the present study, the biopesticide based on neem almond powder was more efficace than that based on ripe chilli pepper fruits.

KEYWORDS: Cowpea, insect pests, biopesticides, neem, pepper, Niger.

RESUME: Au Niger, le niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.) occupe la première place de toute les légumineuses produites et consommées et la troisième place des cultures après le mil et le sorgho. Cependant, sa production est compromise par des nombreuses maladies et insectes ravageurs. L'application des pesticides de synthèse est la première méthode de lutte contre les insectes ravageurs qui est adaptée par les producteurs. L'objectif de cette étude est l'évaluation des effets des biopesticides à base de la poudre d'amande du neem (T3) et des fruits murs du piment (T2) sur les insectes ravageurs du niébé en vue de réduire les coûts liés aux traitements phytosanitaires et d'augmenter le rendement de cette culture. Au total cinq (5) applications sont effectuées à des intervalles réguliers d'une semaine. Avant chaque application, un comptage des plants attaqués par les insectes est effectué en vue de déterminer l'incidence de ces insectes sur le niébé. L'incidence des insectes ravageurs était de 75,81% et 87,52% au 3^{ème} et 5^{ème} comptage pour le témoin (T1). Par contre, elle était de 42,38% et 19,73% pour le traitement T2 et, 27,07% et 12,33% pour le traitement T3 respectivement au 3^{ème} et 5^{ème} comptage. De même le rendement graines s'est vu rehausser après application des biopesticides. Il était de 387,67 Kg/ha et 832,67 Kg/ha respectivement pour T2 et T3 contre 341,67 Kg/ha pour le témoin. Au cours de la présente étude, le biopesticide à base de la poudre d'amande du neem a été plus efficace que celui à base des fruits murs du piment.

MOTS-CLEFS: Niébé, insectes ravageurs, biopesticides, neem, piment, Niger.

1 INTRODUCTION

Le niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.) est l'une des plus importantes légumineuses à graines cultivées et consommées en Afrique subsaharienne dans les régions de savane arides de l'Afrique de l'Ouest [1], [2]. Le niébé représente une denrée de base en Afrique subsaharienne et surtout en période de sécheresse, lorsque les cultures principales deviennent rares [3]. Il contribue à l'amélioration des productions végétales et permet de parvenir à la sécurité alimentaire [4]. Au Niger, pays sahélien caractérisé par un climat où les précipitations sont extrêmement variables et les sécheresses y sont périodiques et intenses, le niébé occupe la première place des légumineuses produites et consommées et la troisième place des cultures après le mil et le sorgho [5]. Il est cultivé principalement en pluvial dans toutes les régions productrices du pays. L'engouement pour la culture s'explique par son rôle important dans la nutrition humaine, la sécurité alimentaire et la création de revenus pour les agriculteurs et les vendeurs de produits alimentaires. Mais c'est surtout sa dimension économique qui prime car, on estime que 80% de la production est destinée à l'exportation. Cependant, la production de cette précieuse légumineuse est compromise par des nombreuses maladies et l'attaque des insectes ravageurs (*Aphis craccivora*, *Megalurothrips sjostedti*, *Maruca vitrata*, *Clavigralla tomentosicollis* etc) depuis la culture jusqu'en stocks [6], [7], [8]. Face à cette situation, l'utilisation des pesticides de synthèse représente la première solution à portée de mains. Par ailleurs, l'utilisation abusive des pesticides de synthèse chimiques engendre non seulement des nombreux dégâts sur l'homme, les animaux et l'environnement mais aussi engendre des dépenses supplémentaires et rend la production très couteuse. Il urge donc de porter les regards vers des solutions simples et respectueuses de l'homme et de la biodiversité. Ce fut alors l'avènement des méthodes de lutte biologique d'origine végétale ou microbienne basées sur l'utilisation des extraits de plantes [9], [10], [11]. Ainsi, des nombreuses recettes des biopesticides sont utilisés à la place des pesticides chimiques qui sont chers. La présente étude évaluera les effets des biopesticides à base de poudre d'amande du neem et des fruits murs du piment sur les insectes ravageurs du niébé en vue de réduire les coûts liés aux traitements phytosanitaires.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 SITE D'EXPERIMENTALE

L'étude a été conduite à la ferme école du Département d'Agriculture en zones Arides de l'Université d'Agadez sous irrigation. Elle est située à environ 5 km à l'ouest de la ville entre 16°57'18,85" de latitude Nord et 7°55'12,75" longitude Est. Le sol est de texture argileux limoneuse.

2.2 MATERIEL VEGETAL

Le matériel végétal est composé d'une seule variété du niébé: IT90K372-1-2 dont les caractéristiques agronomiques sont consignées dans le tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques agronomiques de la variété utilisée

Caractéristiques	IT90K372-1-2
Zone agro-écologique	Sahel (300-600 mm)
Cycle semis-maturité (50%)	70 jours
Couleur et forme des graines	Blanche
Port des plants	Semi-érigé
Rendement moyen	1,5 tonne/ha
Autres caractéristiques	Résistance aux pucerons et à la sécheresse, sensible aux Thrips, Bruches et <i>Striga</i>

Pour la préparation des biopesticides, les graines du neem et les fruits murs du piment sont utilisés (figure 1).



Figure 1 : A) Graines du neem, B) Amandes du neem, C) Fruits murs du piment

2.3 METHODES

2.3.1 DISPOSITIF EXPERIMENTALE

Le dispositif est composé de bloc complet randomisé de trois répétitions formés de trois parcelles contiguës séparées par des allées de 1m. Chaque parcelle est composée de 7 lignes de 3 m de long espacées de 0,8 m, soit une superficie de 16,4 m². L'essai couvre une superficie totale de 44 m². Un seul facteur est mis en jeu qui est le biopesticide avec trois traitement:

T1: témoin sans traitement;

T2: Jus des fruits murs et secs du piment et;

T3: Jus de la poudre d'amande du neem.

2.3.2 BIOPESTICIDES

Deux recettes de biopesticide sont testées à savoir: l'extrait aqueux de la poudre d'amande du neem et l'extrait aqueux de la poudre des fruits murs du piment.

2.3.2.1 PREPARATION DU BIOPESTICIDE A BASE DE LA POUDRE D'AMANDE DU NEEM

Les graines sèches du neem sont décortiquées à l'aide d'un mortier. Après l'obtention des amandes, ces dernières sont broyées dans le mortier afin de les réduire en poudre (Figure 2).



Figure 2 : Processus d'obtention de la poudre d'amandes

Après l'obtention de la poudre du neem, 1kg est emballé dans un tissu propre et mis dans un seau contenant 9 litres d'eau. Dans un autre récipient, 3 pincées de trois doigts des particules du savon blanc sont dissoutes dans un litre d'eau. Après 24 heures de macération à l'ombre, les deux solutions sont filtrées et mélangées pour obtenir une solution prête à l'emploi (Figure 3).



Figure 3 : Processus d'obtention de la solution aqueuse

2.3.2.2 PREPARATION DU BIOPESTICIDE A BASE DE LA POUDRE DES FRUITS MURS ET SECS DU PIMENT

Une certaine quantité des fruits murs et secs du piment est réduite en poudre à l'aide du mortier pour obtenir 1 kg de poudre (Figure 4).



Figure 4 : Processus d'obtention de la poudre du piment

Pour la préparation de la solution aqueuse du piment, 1 kg de la poudre du piment est emballé dans un tissu propre puis trempé dans un seau contenant 9 litres d'eau. Trois (3) pincées de trois doigts de particules du savon blanc sont dissoutes dans 1 litre d'eau dans un autre récipient. Les deux solutions sont laissées macérées pendant 24 heures à l'ombre puis filtrées et mélangées pour obtenir une solution prête à l'utilisation (Figure 5).



Figure 5 : Processus d'obtention de la solution aqueuse prête à l'emploi

2.4 COLLECTE DES DONNEES

Cinq (5) applications ont été réalisées pour la campagne du semis à la récolte. Pour chaque application, un (1) litre de la solution du biopesticide est utilisé pour traiter la parcelle cible. Les données relatives à l'incidence des insectes ravageurs du niébé sont collectées avant et après applications. L'observation a été portée sur l'ensemble des pieds de la parcelle à des intervalles réguliers d'une semaine. Au total cinq (5) comptages ont été faits dont le 1^{er} comptage a eu lieu le 23^{ème} JAS. Après chaque comptage, l'incidence des insectes ravageurs est déterminée par la formule suivante:

$$Incidence (\%) = \frac{\text{Nombre des pieds attaqués}}{\text{Nombre total des pieds}} \times 100$$

Après la récolte, le rendement grains sont déterminés pour évaluer l'effet des biopesticides sur ce paramètre.

2.5 ANALYSES DE DONNEES

Les données collectées ont été saisies avec le tableur Excel et soumises à l'analyse de variance à l'aide du logiciel Minitab 14^{ème} édition. Les moyennes sont comparées par le test de Tukey.

3 RESULTATS

3.1 ANALYSE DES VARIANCES DE L'INCIDENCE DES INSECTES RAVAGEURS DU NIEBE ET LE RENDEMENT GRAINES

Tableau 2. Analyse de variance de l'incidence et du rendement graines

Facteur	Df	I1		I2		I3		I4		I5		Red	
		F	P (>F)	F	P (>F)	F	P (>F)	F	P (>F)	F	P (>F)	F	P (>F)
Traitement	2	0,11	<0,900 ^{NS}	3,18	<0,115 ^{NS}	7,03	<0,027*	94,29	<0,001**	150,5	<0,001**	406,5	<0,001**
Moyenne		45,58		46,5		48,32		45,57		39,86		520,67	

NB: Moyenne Incidence en % ; Moyenne Rendement en Kg/ha; I1 à I5 = Incidence du 1^{er} au 5^{ème} comptage; Red = Rendement; NS= Non significatif; *= Significatif au seuil de 5%; **= Significatif au seuil de 1%

L'analyse de variance de l'incidence montre qu'il n'y a pas de différence significative au 1^{er} et 2^{ème} comptage des pieds attaqués par les insectes ravageurs. Mais du 3^{ème} au 5^{ème} comptage, il existe une différence significative entre les traitements respectivement au seuil de 5% pour le 3^{ème} et 1% pour le 4^{ème} et 5^{ème} comptage des pieds attaqués (Tableau 2). Aussi, les résultats d'analyse de variance de rendement graines montrent une différence hautement significative entre les différents traitements (Tableau 2).

3.2 EFFET DES BIOPESTICIDES SUR LE NOMBRE DES PIEDS ATTAQUES

La Figure 6 montre l'évolution des pieds attaqués par les insectes ravageurs en fonction des traitements au cours de la campagne. L'incidence des insectes qui était de 42,86% pour le témoin au 1^{er} comptage atteint 75,81% et 87,52% au 3^{ème} et 5^{ème} comptage pour le témoin. Alors que les biopesticides, permettent de réduire l'incidence des insectes. Ainsi, l'incidence des insectes ravageurs qui était de 48,30% et 45,58% respectivement pour le biopesticide à base des fruits du piment (T2) et le biopesticide à base de la poudre d'amandes du neem (T3) au 1^{er} comptage passe à 42,38% et 19,73%; 27,07% et 12,33% respectivement au 3^{ème} et 5^{ème} comptage pour T2 et T3.

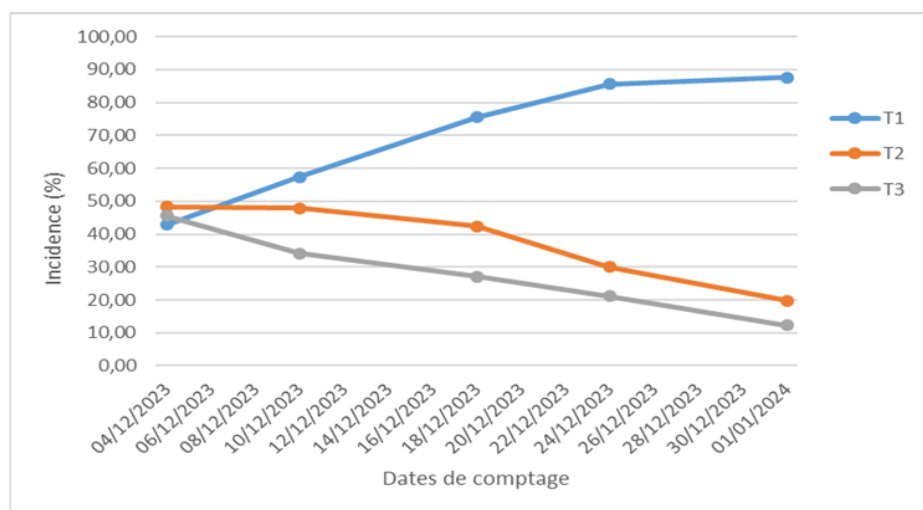


Figure 6 : Evolution d'incidence des insectes ravageurs en fonction des traitements
T1= Témoin ; T2 = biopesticide à base de poudre des fruits du piment;
T3 = biopesticide à base de poudre d'amande du neem

3.3 EFFET DES TRAITEMENTS SUR LE RENDEMENT

Les résultats de l'effet d'application des biopesticides sur le rendement graines sont illustrés par la Figure 7. L'application des biopesticides a permis une réduction significative de l'incidence des ravageurs du niébé tout en augmentant le rendement. Ainsi, les

rendements obtenus après l'application des biopesticides étaient de 387,67 Kg/ha et 832,67 Kg/ha respectivement pour le biopesticide à base des fruits du piment (T2) et le biopesticide à base de la poudre d'amandes du neem (T3) contre 341,67 Kg/ha pour le témoin.

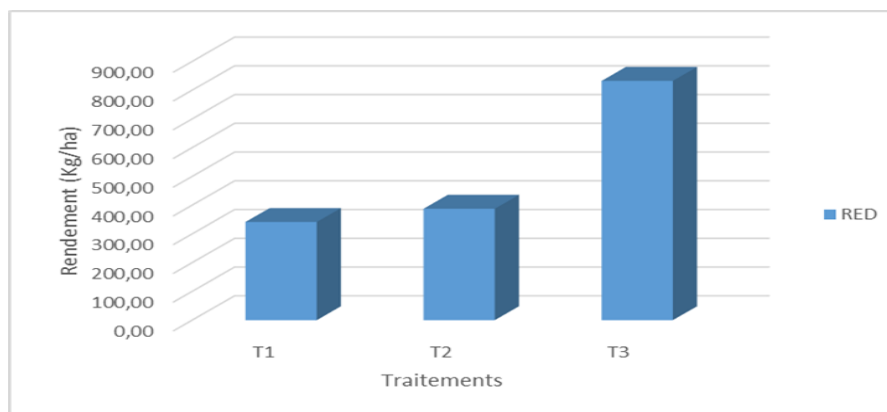


Figure 7 : Rendement graines en fonction des traitements

T1= Témoin ; T2 = biopesticide à base des fruits du piment;

T3 = biopesticide à base de poudre d'amande du neem

RED : Rendement

Les résultats de l'étude montrent qu'il existe une corrélation positive entre l'incidence des ravageurs et le rendement graines. Avec une incidence de 69,78%, le rendement qui était de 341,67 Kg/ha pour le témoin passe à 832,67Kg/ha pour le biopesticide à base de la poudre d'amandes du neem avec une incidence de 28,06% (Figure 8).

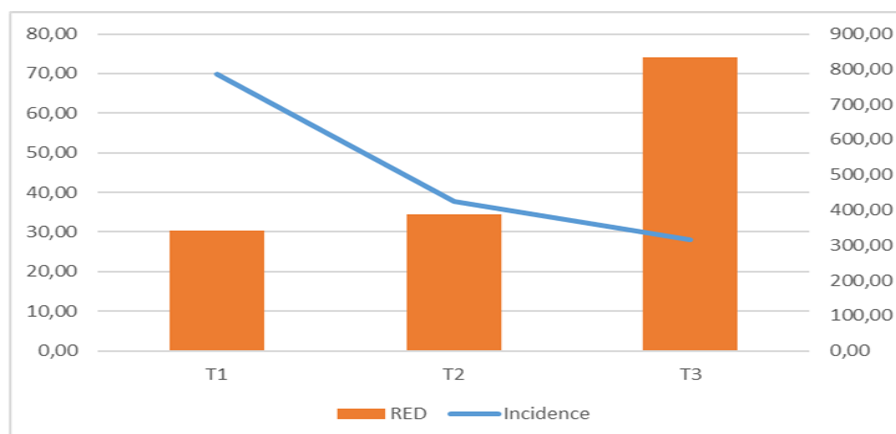


Figure 8 : Rendement graines en fonction des traitements ; T1= Témoin ;

T2 = biopesticide à base des fruits du piment; T3 = biopesticide à base de

poudre d'amande du neem ; RED : Rendement(en Kg/ha), Incidence (en %)

4 DISCUSSION

Les résultats de cette étude révèlent que la plante du niébé est attaquée par des insectes ravageurs du stade plantule à la maturation des graines comme en témoigne l'augmentation de l'incidence des insectes dans les parcelles témoins (Figure 6). Selon les auteurs, [12] en Tanzani, [13] en Afrique de l'Ouest, [14] au Sénégal, [15] en Côte d'Ivoire qui rapportent que le niébé est confronté à des multiples agressions des insectes dans son écologie. Pour lutter contre les insectes ravageurs du niébé, les producteurs font généralement recours à des produits chimiques. Dans les régions de Maradi et Zinder au Niger, [16] rapportent que 57,20% des producteurs ont recours à la lutte chimique pour augmenter leur production. La présente étude a évalué l'effet des biopesticides à base des fruits du piment et de la poudre d'amandes du neem sur les insectes ravageurs du niébé. Au cours de cette étude, les biopesticides bien que de faible rémanence ont permis de réduire significativement l'incidence des insectes ravageurs en dessous du seuil de nuisibilité. A titre illustratif, l'incidence des ravageurs passe de 48,30% au 1^{er} comptage pour respectivement pour le biopesticide à base des fruits du piment (T2) à 42,38% et 19,73% respectivement au 3^{ème} et 5^{ème} comptage pour T2. [17] ont rapporté que dans certaines conditions, les extraits des plantes peuvent avoir une efficacité comparable à celle des insecticides classiques. L'enquête réalisée par [18] au Sénégal, a permis d'identifier cinq (5) espèces de plantes utilisées pour lutter contre les ravageurs du coton à savoir *Azadirachta indica* (neem), *Boscia senegalensis*, *Guiera senegalensis*, *Khaya senegalensis*, *Piliostigma reticulatum*. Si cette efficacité n'est pas complète, elle peut néanmoins permettre de maintenir la population des ravageurs en dessous du seuil de nuisibilité et réduire l'usage des pesticides de synthèse. Dans cette

étude, le biopesticide à base de la poudre d'amande du neem (T3) a été plus efficace que le biopesticide à base des fruits du piment. L'incidence des ravageurs était de 27,07%, 21,16% et 12,33% respectivement au 3^{ème}, 4^{ème} et 5^{ème} comptage pour T3 contre 42,38%, 29,93% et 19,73% pour T2. Selon plusieurs études, l'extrait du neem, le biopesticide le plus utilisé, a présenté un effet très significatif sur plus de 400 espèces d'insectes ravageurs de culture, dont *Aphis craccivora* et *Megalurothrips sjostedti* piqueurs-suceurs vivant à l'intérieur des fleurs de niébé et s'alimentant de sa sève [19], [20], [21]. Il ressort aussi de cette étude que, l'application des biopesticides a permis une augmentation significative du rendement graines. Ce dernier qui était de 341,67 Kg/ha pour le témoin (T1), atteint 387,67 Kg/ha et 832,67 Kg/ha respectivement le biopesticide à base des fruits du piment (T2) et le biopesticide à base de la poudre d'amandes du neem (T3). Il existe une corrélation positive entre le rendement et l'incidence des insectes ravageurs (Figure 8). L'extrait des fruits du piment, même s'il n'a pas eu le meilleur rendement en graines, a permis de réduire les dégâts des ravageurs sur les feuilles et les gousses du niébé. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les pesticides végétaux ont une faible rémanence et un spectre d'action très réduit. Selon [22] et [23], l'efficacité, la lenteur des effets des biopesticides, leur faible rémanence et le spectre d'action très réduit, comparé à celui des produits de synthèse, sont souvent considérés comme des inconvénients par les producteurs.

5 CONCLUSION

La pression des insectes ravageurs constitue la principale contrainte de culture du niébé en Afrique subsaharienne. La lutte contre ces insectes ravageurs est basée principalement sur l'utilisation des pesticides de synthèse qui sont non seulement coûteux mais aussi nuisibles pour l'homme, les animaux et l'environnement. Les biopesticides bien qu'ils sont de faible rémanence et moins efficaces que les pesticides de synthèse, constituent un moyen alternatif moins coûteux et sans danger dans la lutte contre les insectes ravageurs du niébé. Ils garantiront ainsi une production de qualité répondant aux besoins des consommateurs. Au cours de cette étude, le biopesticide à base d'amandes du neem s'est avéré plus efficace que le biopesticide à base des fruits mure du piment.

REFERENCES

- [1] K. Aboubacar, Z. M. Ousman, A. Sidoyacouba, H.A. Kadi-Kadi, L. Karimoune, « Gestion intégrée de *Maruca vitrata* (FABRICIUS, 1787) et *Megalurothrips sjostedti* (TRYBOM, 1908), deux insectes ravageurs majeurs du niébé au Niger », *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, Vol. 7, no. 6, pp. 2549-2557, 2013.
- [2] O. Boukar, N. Belko, S. Chamathi, A. Togola, J. Batieno, E. Owusu, M. Haruna, S. Diallo, M.L. Umar, O. Olufajo, C. Fatokun, « Cowpea (*Vigna unguiculata*): Genetics, genomics and breeding », *Plant Breeding*, Vol. 138, pp. 415-424, 2019.
- [3] S.A. Gougbe, Aboudou, k.O. Chatigre, M.S.P. Noukpozoukou, M.M. Soumanou, « Optimisation *in vitro* de l'efficacité des biopesticides dans la lutte contre les principaux ravageurs du niébé par la méthode des surfaces de réponse », *Int. J. Biol. Chem. Sci.* Vol. 15, no. 1, pp. 41-53, 2021.
- [4] L.O. Omoigui, A.Y. Kamara, J. Batieno, T. Iorlame, Z. Kouyate, J. Yirzagla, U. Garba, S. Diallo, « Guide sur la production de niébé en Afrique de l'Ouest ». IITA, Ibadan, Nigeria. 65pp, 2018.
- [5] A. Harou, F. Hamidou, Y. Bakasso, « Performances morpho-physiologiques et agronomiques du niébé [*Vigna unguiculata* (L.) Walpers] en conditions du déficit hydrique », *Journal of Applied Biosciences*, Vol. 128, pp. 12874 -12882, 2018.
- [6] D. Ahmed, K.I. Boubaker, « Étude de l'effet des extraits aqueux et éthanoliques de Romarin sur la croissance de quelques champignons phytopathogènes », Mémoire de fin d'études, Université de Bouira, 59p, 2018.
- [7] O.H. Issoufou, S. Boubacar, T. Adam, Y. Boubacar, « Identification des insectes, parasites et évaluation économique de leurs pertes en graines sur les variétés améliorées et locale de niébé en milieu paysan à Karma (Niger) », *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, Vol.11, pp. 694-706, 2017.
- [8] F. Traore, A. Waongo, E. Drabo, M. Yamkoulga, C. Dabire-Binso, A. Sanon, « Effet des périodes d'épandage des huiles de neem (*Azadirachta indica* L.) sur les populations de *Megalurothrips sjostedti* Trybom et de *Maruca vitrata* Fabricius dans la culture de niébé », *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, Vol. 13, no. 3, pp. 1300-1307, 2019.
- [9] D.A. Kpoviessi, J. Dossou, D.C. Chougourou, A.H. Bokonon-Ganta, R.A. Francisco, N.V. Fassinou-Hotegni, « Evaluation de l'effet insecticide et insectifuge du baume de cajou sur les insectes nuisibles du niébé *Vigna Unguiculata* (L.) Walp. au ChampC », *European Journal of Scientific Research*, Vol.146, no.4, pp. 417-432, 2017.
- [10] M.A. Harouna, I. Baoua, S. Lawali, M. Tamò, L. Amadou, S. Mahamane, B. Pittendrigh, « Essai comparatif de l'utilisation des extraits du Neem et du virus entomopathogène MaviNPV dans la gestion des insectes ravageurs du niébé en milieu paysan au Niger », *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, Vol. 13, no. 2, pp.950-961, 2019.
- [11] E.S. Adjou, D. Chougourou, M.M. Soumanou, « Insecticidal and repellent effects of essential oils from leaves of *Hyptis suaveolens* and *Ocimum canum* against *Tenebroides mauritanicus* (L.) isolated from peanut in post-harvest », *J. Consumer Protection Food Safety*, Vol. 14, no. 1, pp. 25-30, 2019.
- [12] N. Talekar, « Éléments de cours en défense des cultures: Pest management in soybean and cowpea cultivation. Treizième cours régional sur la recherche et la production des plantes légumières », 01 Juillet au 06 Octobre 2006 en Tanzanie, AVRDC, Arusha-Tanzania, 54 p, 2006.

- [13] I.Y. Dugjé, L.O. Omoigui, F. Ekeleme, A.Y. Kamara, H. Ajeigbe, «Production du niébé en Afrique de l'Ouest: Guide du paysan», IITA, Ibadan, Nigeria, 20 p, 2009.
- [14] C. Tonessia, M. Wade, N. Cissé, S.Aké, «Caractérisation de *Striga gesnerioides* (Willd.) Vatke du Sénégal: Réactions de plusieurs cultivars de niébé (*Vigna unguiculata* L. Walp.)», *Journal of Applied BioSciences*, Vol. 24: pp. 1462-1476, 2009.
- [15] M.F.P. N'gbesso, G.P. Zohouri, L. Fondio, A.H. Djidji, D. Konate, «Étude des caractéristiques de croissance et de l'état sanitaire de six variétés améliorées de niébé (*Vigna unguiculata*) en zone centrale de Côte d'Ivoire», *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, Vol. 7, pp. 457- 467, 2013.
- [16] M.M. Rabé, B. Ibrahim, A. Razack, S. Lawali, A. Laouali, P. Barry, M. Saadou, «Les déterminants socioéconomiques de l'adoption des technologies améliorées de production du niébé diffusées par les champs écoles paysans dans les régions de Maradi et Zinder au Niger», *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, Vol. 11, No. 2, pp. 744-756, 2017.
- [17] W.A. Blankson, M.G. Geoff, W.G. Catherine, CS. Philip, «Cost: benefit analysis of botanical insecticide use in cabbage: Implications for smallholder farmers in developing countries», *Crop Protection*, Vol. 57, pp. 71-76, 2014.
- [18] S. Banna, «Efficacité biologique des extraits d'*Azadirachta indica* A. Juss, *Hyptis suaveolens* (L.) Poit et *Anacardium occidentale* Linn. dans la lutte contre *Helicoverpa armigera* (Hübner, 1808) (Lepidoptera, Noctuidae) ravageur du cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.) au Sénégal», Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop De Dakar, Dakar-Sénégal, 166p, 2021.
- [19] E.O. Egho, «Evaluation of Neem Seed Extract for the Control of Major Field Pests of Cowpea (*Vigna unguiculata* L.Walp) under Calendar and Monitored Sprays», *Advances in Environmental Biology*, Vol. 5, no. 1, pp. 61-66 2011.
- [20] A. Camarda, N. Pugliese, A. Bevilacqua, E. Circella, L. Gradoni, D. George, O. Sparagano, A. Giangaspero, «Efficacy of a novel neem oil formulation (RP03™) to control the poultry red mite *Dermanyssus gallinae*», *Medical and Veterinary Entomology*, Vol. 32, pp. 290-297., 2018.
- [21] U.A. Muhammad, M. Raza, A. Waseem, S. Mubasshir, A.T. Javed, I. Muhammad, «Comparative efficacy of Neem derivatives and imidacloprid against some cotton pests», *Journal of Entomology and Zoology Studies*, Vol. 6, no. 3, pp. 113-117, 2018.
- [22] S.A. Adékambi, P.Y. Adégbola, A. Arouna, «Perception paysanne et adoption des biopesticides et/ou extraits botaniques en production maraîchère au Bénin. In: Contributed Paper Presented at the Joint 3rd African Association of Agricultural Economists (AAAE) and 48th Agricultural Economists Association of South Africa (AEASA) Conference, September 19-23, Cape Town, South Africa, 2010.
- [23] A.K. Tounou, B.M. Sokame, S. Akpavi, K.K. Ganyo, K.G. Ketoh, Y.M.D. Gumedzoe, «Effets des extraits végétaux sur la dynamique de populations des insectes ravageurs de niébé, *vigna unguiculata* Walp, dans le sud du togo», *Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé*, Vol. 14, no. 1, pp. 25-34, 2012.

Projection pluviométrique de la région du centre-ouest sur la période 2000 à 2100

[Rainfall projection for the central-western region for the period 2000 to 2100]

Mahamadi Zoundi¹, Joachim Bonkougou², Yamba Boubacar³, Yahaya Diene⁴, Samandoulougou Abdoul-Razaac Wilfried⁵, Malick Drabo⁶, and Samandoulougou P. Hyacinthe Browson⁷

¹Doctorant, Laboratoire d'Etudes et de Recherche sur les Territoires Sahélo-Sahariens (LERTESS), FLSH, École Doctorale des Lettres, Art Sciences de l'Homme et de la Société, Université Abdou Moumouni, B.P. 418 Niamey, Niger

²Chercheur, Institut de l'Environnement et des Recherches Agricoles (INERA), Centre de Recherches Environnementales, Agricoles et de Formation (CREAF) Kamboinsé, BP: 476, Ouagadougou 01, Burkina Faso

³Professeur titulaire de géographie, Université Abdou Moumouni, École Doctorale des Lettres, Art Sciences de l'Homme et de la Société, Laboratoire d'Etudes et de Recherche sur les Territoires Sahélo-Sahariens (LERTESS), FLSH, B.P. 418 Niamey, Niger

⁴Université Joseph KI-ZERBO, département de géographie, Laboratoire de recherche en Sciences humaines, UFR, SH, BP: 376, Ouagadougou, Burkina Faso

⁵Responsable en Résilience, Environnement, Changement Climatique et Agroécologie, Programme pour le Renforcement de la Résilience des Petits Producteurs (RESI-2P), Burkina Faso

⁶Agricultural Engineer, Directorate-General for Sectoral Studies and Statistics, Ministry of Agriculture, Animal Resources and Fisheries (MARAH), Ouagadougou, Burkina Faso

⁷Ingénieur du Genie Rural, Topographe, Cartographe, Ministère de l'Environnement, de l'Eau et de l'Assainissement, RESI-2P, Ouagadougou, Burkina Faso

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

ABSTRACT: The Centre-West region is one of Burkina Faso's thirteen regions. This region is immersed in two climatic zones: the Sahel-Sudanian zone, which covers the vast majority of the region, and the Sudanian zone further south. Long-term climate studies are a key indicator that not only help us understand current and future changes in the region's climate, but also enable better planning of agricultural activities for better resource management and production optimization. This article therefore aims to decipher the region's rainfall projections over a century and understand their implications for irrigated agriculture at different levels.

KEYWORDS: Burkina Faso, Centre-West region, irrigated agriculture, climate projection.

RESUME: La région du Centre-Ouest est l'une des treize régions du Burkina Faso. Cette région baigne dans deux zones climatiques à savoir la zone sahélo-soudanienne qui couvre la grande majorité de la région et la zone soudanienne plus au sud. L'étude du climat à long terme, est un indicateur clé qui permet de comprendre non seulement les modifications actuelles et futures du climat de la région mais cela va permettre également mieux planifier les activités agricoles qui y sont menées pour une meilleure gestion des ressources et une optimisation de la production. Cet article vise donc à décrypter les projections de la pluviométrie de la région sur un siècle et comprendre ses imbrications sur l'agriculture irriguée à différent niveau.

MOTS-CLEFS: Burkina Faso, Région du Centre-Ouest, agriculture irriguée, projection climatique.

1 INTRODUCTION

Les changements climatiques contemporains constituent un des nombreux obstacles au développement socioéconomique des populations (Niang, 2009 cité par Bambara et al., 2016 p36). Pour mieux cerner les tendances climatiques une étude sur la projection de

ces paramètres (la pluviométrie et la température) s'avère plus que nécessaire. Car faut-il les rappeler au Burkina Faso particulièrement, les tendances climatiques traduisent une augmentation alarmante des températures moyennes de 0,8°C à l'horizon 2025 et de 1,7°C à 2050 ainsi qu'une diminution de la pluviométrie de 3,4% en 2025 et 7,3% en 2050 (PANA, 2007 cité par Bognini S., 2010 p.08). Ces tendances climatiques à travers la température et la pluviométrie essentiellement impactent sévèrement la pratique de l'agriculture irriguée

Le présent article vise à mettre en lumière les projections pluviométriques de la région du Centre-Ouest du Burkina Faso sur la période 2000 à 2100 dans l'optique de mieux cerner les enjeux climatiques de cette région et par ricochet son impact sur la pratique de l'agriculture irriguée.

2 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

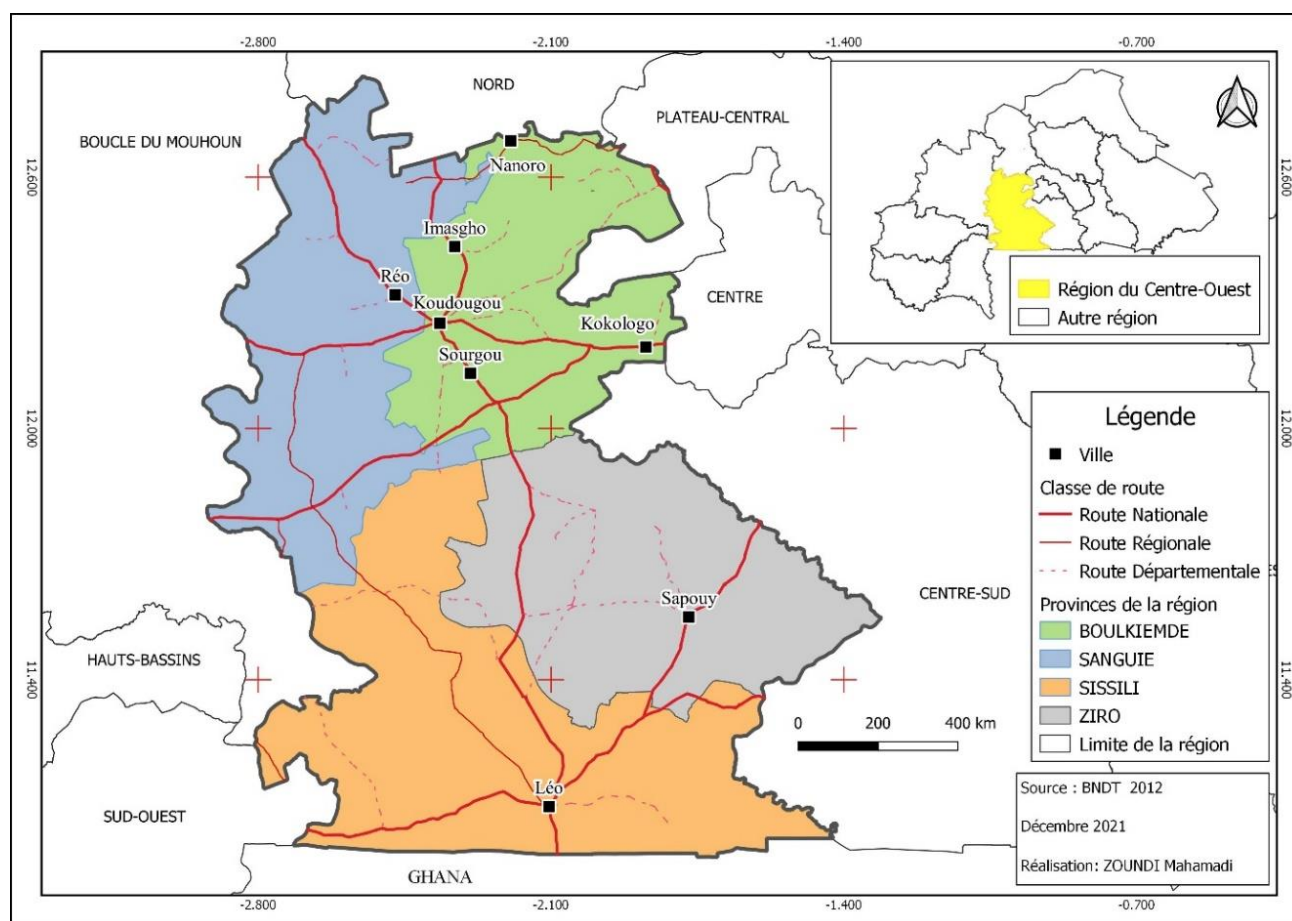
L'approche méthodologique utilisée comprend deux étapes: la caractérisation de la zone d'étude et la définition d'une approche de collecte, traitement et analyse des données de séries.

2.1 PRESENTATION DE LA REGION DU CENTRE - OUEST

La région du Centre-Ouest est une des treize régions du Burkina Faso, et est localisée entre 11° et 12°50 de latitude Nord et entre 1°30 et 3° de longitude Ouest. Son chef-lieu, la ville de Koudougou est située à 100 km de Ouagadougou la capitale du Burkina Faso. La région couvre une superficie de 21 891 km² ce qui représente 8 % du territoire national (M ZOUNDI et al., 2024, p 688).

Elle est limitée au sud par la République du Ghana, au nord par la région du Nord, à l'Est par les régions du Centre-Sud et du Centre, à l'ouest par les régions de la Boucle du Mouhoun et du Sud-Ouest et au Nord-Est par la région du Plateau Central (cf. carte 1).

La région du Centre-Ouest compte quatre provinces dont le Boulkiemdé, le Sanguié, la Sissili et le Ziro avec respectivement pour chef lieux, les villes de Koudougou, Réo, Léo et Sapouy. Elle compte, quatre (4) communes urbaines, trente-quatre (34) communes rurales et 590 villages administratifs.



Carte 1. Situation géographique de la région du Centre - Ouest

Au plan climatique, la région du Centre-Ouest est soumise à deux types de climat en fonction de la latitude. Le climat de type nord soudanien caractérise la partie Nord et couvre les provinces du Boulkiemdé et du Sanguié, et une partie du Ziro et de la Sissili. Le climat de type sud-soudanien caractérise la partie sud des provinces de la Sissili et du Ziro. Les températures moyennes varient de 12°C de décembre à janvier, à 38° de mars à mai. Les précipitations quant à elles, sont comprises entre 600 mm et 1000 mm dans zone climatique type soudanienne, et entre 800 mm et 1200 mm dans la zone sud-soudanienne. De façon générale, la pluviométrie est caractérisée par une mauvaise répartition spatio-temporelle sur l'ensemble de la région depuis quelques décennies, affectant la performance de la production agro sylvo pastorale, halieutique et faunique.

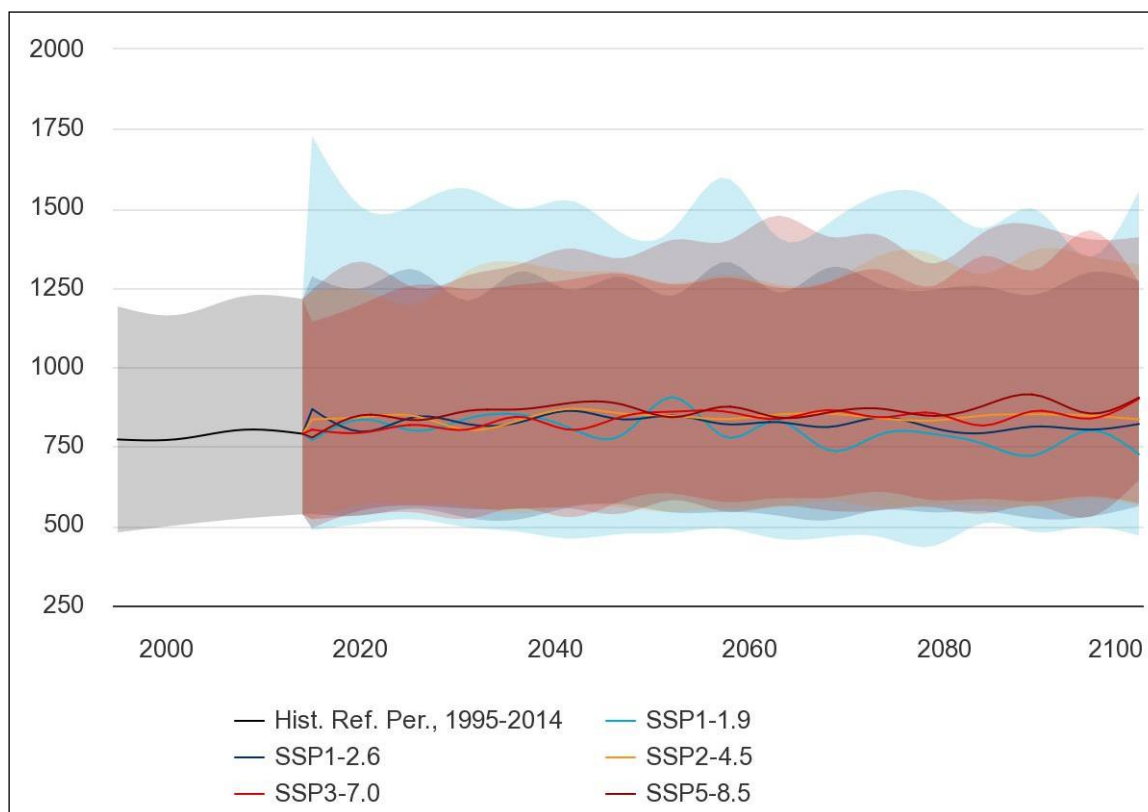
2.2 APPROCHE DE COLLECTE, TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNEES

L'approche méthodologique est basée sur l'analyse projeté du climat de la région du Centre-Ouest. Les projections climatiques revêtent une importance cruciale pour comprendre les défis auxquels la région pourrait être confrontée à l'avenir. Les analyses de la tendance du climat futur faites se basent sur les données de la Banque Mondiale via son portail "Climate Change Knowledge Portal" et des contributions de chercheurs spécialisés. Ces données de projection sont issues de modèles climatiques et des scénarios. En effet, le GIEC définit les modèles climatiques comme « des programmes informatiques extrêmement sophistiqués qui englobent notre compréhension du système climatique et simulent, avec autant de fidélité que possible, les interactions complexes entre l'atmosphère, l'océan, la surface terrestre, la neige et la glace, l'écosystème mondial et divers processus chimiques et biologiques ». Dans cet article, les paramètres climatiques projetés et analysés portent sur les données de températures analysés.

3 RÉSULTATS

3.1 PROJECTION DE LA PLUVIOMETRIE DE LA PERIODE DE 2000 À 2100

Les projections de la pluviométrie ont été analysées sur la base des données de modèles climatiques du Portail de connaissances sur les changements climatiques (CCKP ou PCC) de la Banque Mondiale. Le graphique ci-après montre les projections des précipitations dans la région, de la période de 2000 à 2100. Ces projections utilisent différentes trajectoires socio-économiques partagées (SSP) suivant un ensemble multi-modèles avec pour période de référence 1995- 2014.



Graphique 1. Précipitations projetées de la période 2000 à 2100

Source: The Climate Change Knowledge Portal (CCKP)

Le graphique analyse la pluviométrie de la région du Centre-Ouest à travers plusieurs scénarios de projection (SSP).

Les lignes sombres sur le graphique indiquent la projection médiane, c'est-à-dire la valeur la plus probable pour chaque scénario. Les bandes de couleurs représentent les incertitudes associées à chaque scénario. Elles représentent la gamme d'incertitudes, montrant les variations possibles autour de la médiane.

Le scénario SSP1-1.9 est le plus optimiste parmi les scénarios du GIEC. Il envisage un monde où les émissions mondiales de CO₂ sont faibles avec un pic des émissions autour de 2020, suivi d'une diminution significative¹. Elles sont réduites à zéro net autour de 2050². Ce scénario suppose une transition vers des pratiques plus durables, avec un accent sur le bien-être global plutôt que sur la croissance économique³. Le scénario prévoit moins de perturbations et de stress hydrique, permettant une meilleure résilience des écosystèmes locaux. Les infrastructures actuelles suffiraient pour gérer les ressources en eau.

Le deuxième scénario de projection (SSP1-2.6), basé sur l'hypothèse d'un monde orienté vers la durabilité, avec des efforts significatifs pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, prédit des tendances de précipitations relativement stables avec une légère augmentation vers la fin du siècle. Cela refléterait les efforts de réduction des émissions et une gestion plus durable des ressources naturelles.

Ce scénario présente des implications positives sur l'agriculture et la gestion de l'eau. En effet, les conditions climatiques stables permettent une planification agricole plus fiable et une facilitation de la gestion des infrastructures. Les infrastructures actuelles pourraient suffire avec quelques améliorations mineures.

Le troisième scénario (SSP2-4.5) est intermédiaire et se fonde sur l'hypothèse que les efforts de réduction des émissions sont modérés. Il prédit une augmentation plus marquée des précipitations surtout après les années 2050. Ces tendances traduisent des efforts modérés de réduction des émissions des gaz à effets de serre, mais pas suffisants pour stabiliser complètement le climat. Les agriculteurs de la région devront s'adapter à des conditions plus humides, ce qui nécessiterait des changements dans les cultures et les pratiques agricoles. Ces conditions pluviométriques impliqueraient des investissements en matière d'infrastructures de gestion, de stockage de l'eau, et de prévention des inondations.

Le scénario SSP3-7.0 se fonde sur les combustibles fossiles, avec des émissions très élevées. Il fait partie des scénarios les plus extrêmes, avec des augmentations significatives des précipitations, atteignant près de 2000 mm vers 2100. Les prédictions reflètent un manque de contrôle des émissions et une dépendance continue aux combustibles fossiles.

Le dernier scénario (SSP5-8.5) de développement est basé sur les combustibles fossiles, avec des émissions très élevées. Il est le plus extrême et prévoit des augmentations significatives des précipitations, atteignant près de 2000 mm vers 2100. Ces conditions pluviométriques indiqueraient un manque de contrôle des émissions et une dépendance continue aux combustibles fossiles. Dans ces conditions climatiques extrêmes, certaines formes d'agriculture actuelle nécessiteraient innovations majeures et des changements dans les pratiques agricoles ou pourrait être non viables. Aussi, des infrastructures robustes et avancées seront-elles nécessaires pour gérer risques issus des précipitations extrêmes et prévenir les catastrophes naturelles comme les inondations.

Par ailleurs, le graphique fait ressortir des incertitudes pour chaque scénario. Elles sont dues à plusieurs facteurs à savoir (i) les variations naturelles du climat, (ii) les incertitudes dans les modèles climatiques, et (iii) les incertitudes dans les futures émissions de gaz à effet de serre. Ces incertitudes sont plus larges pour les scénarios les plus optimistes (SSP1-2.6 et SSP2-4.5) et varient relativement moins avec scénarios pessimistes.

Les projections de précipitations indiquent une tendance relativement à la hausse selon les scénarios. Cette augmentation de précipitations projetées auront des impacts significatifs sur la région du Centre-Ouest.

3.2 VARIABILITES PROJETEES DE LA PLUVIOMETRIE DE LA PERIODE DE 2000 À 2100

L'analyse des anomalies permet de compléter la compréhension des tendances projetées notamment en termes de variabilité entre les périodes. Ainsi, les anomalies des scénarios extrêmes (SSP1-1.9 et SSP5-8.5) et modérés (SSP2-4.5) sont analysées.

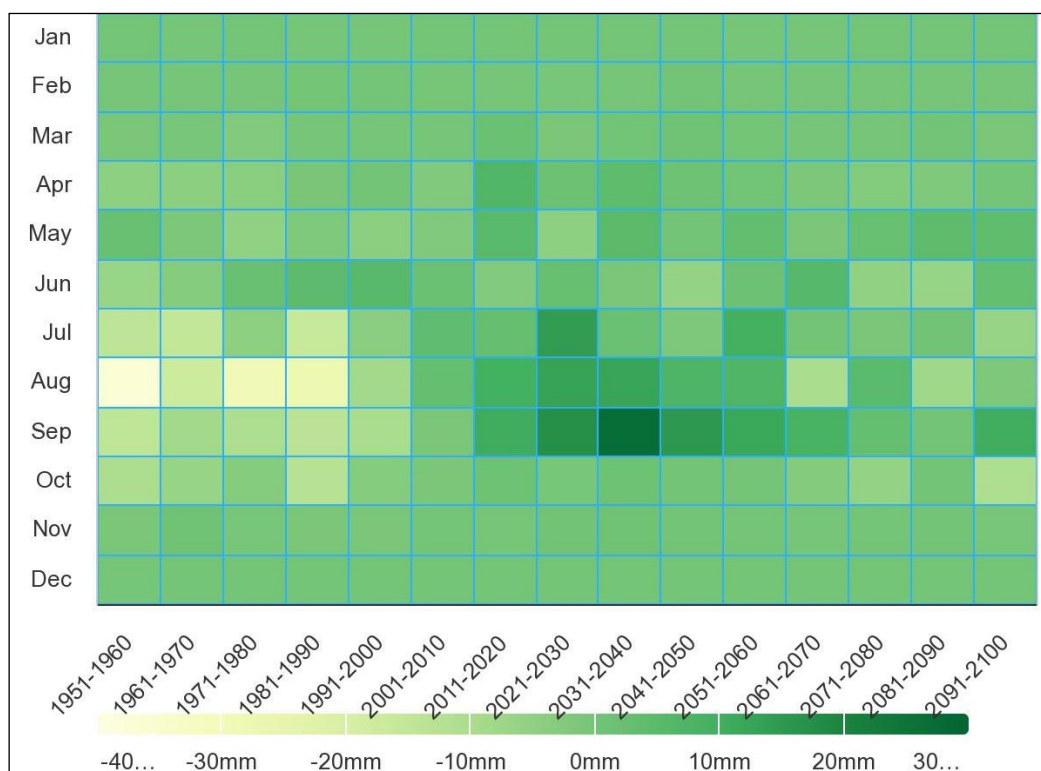
¹ <https://www.carbone4.com/publication-scenarios-ssp-adaptation>

² <https://www.climatecentralgroup.com/en/news/five-future-scenarios-ar6-ipcc/>

³ <https://www.climatecentralgroup.com/en/news/five-future-scenarios-ar6-ipcc/>

3.3 ANOMALIES DES PRÉCIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES PROJÉTÉES DU SCÉNARIO SSP1-1.9

Le graphique ci-après analyse les anomalies des précipitations moyennes mensuelles projetées du scénario SSP1-1.9.



Graphique 2. Anomalies de précipitations moyennes mensuelles projetées de la période 2000 à 2100, scénario SSP1-1.9 (réf. Période: 1995-2014) d'un ensemble multi-modèles

Source: The Climate Change Knowledge Portal (CCKP)

Le graphique représente les anomalies de précipitations projetées de la région, en utilisant le scénario SSP1-1.9, un des plus optimiste en termes de réduction des émissions de GES, avec une période de référence de 1995 à 2014.

Il est une matrice de chaleur (heatmap) qui montre les anomalies de précipitations mensuelles projetées par rapport à la période de référence. Il est structuré en deux axes. L'axe des abscisses (x) représenté les périodes futures en intervalles de cinq ans, de 2015 à 2100 et l'axe des ordonnées (y) représenté les mois de l'année, de janvier à décembre.

Chaque cellule de la matrice correspond à une anomalie de précipitation pour un mois à la période indiquée, avec des nuances de vert caractérisant l'ampleur de l'anomalie. La couleur verte a été dégradée du foncé représentant des valeurs positives de précipitation, au clair (valeurs négative). En effet, (i) le vert très foncé indique des anomalies positives importantes, c'est-à-dire des précipitations supérieures à la moyenne historique, (ii) le vert moins chaud indique des anomalies positives moins prononcées; (iii) le vert clair indique des précipitations proches de la moyenne historique, (iv) le vert très clair ou blanc: indiquent des anomalies négatives, c'est-à-dire des précipitations inférieures à la moyenne historique.

L'analyse de la matrice fait ressortir trois périodes de tendances.

La période 2015-2040: Au cours de laquelle les anomalies de précipitations sont relativement faibles, avec quelques mois montrant des précipitations légèrement inférieures à la moyenne historique. Les mois de la saison des pluies c'est-à-dire de juin à septembre, montrent des anomalies négatives modérées, traduisant une légère réduction des précipitations pendant cette période.

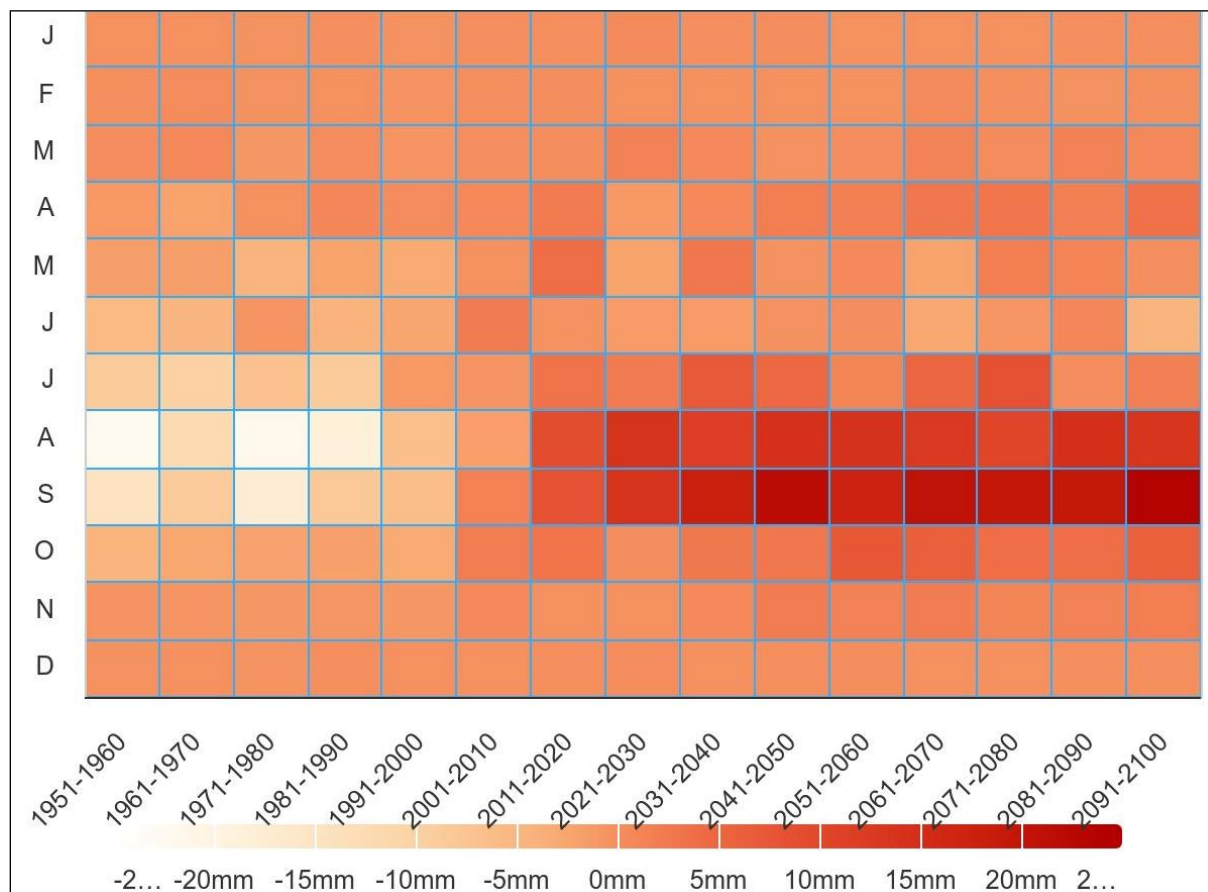
La période 2041-2070: Au cours de laquelle les anomalies négatives deviennent plus prononcées, surtout pendant les mois de la saison des pluies. Les mois de juillet et août montrent des réductions significatives des précipitations, ce qui pourrait avoir des impacts importants sur l'agriculture pluviale et la disponibilité de l'eau surtout pour l'irrigation.

La Période 2071-2100: Au cours de laquelle, les anomalies négatives atteignent leur maximum. On note des réductions importantes de précipitations pendant la saison des pluies. En effet, les mois de juin à septembre montrent des anomalies négatives très prononcées, indiquant des précipitations bien inférieures à la moyenne historique.

3.4 ANOMALIES DE PRÉCIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES PROJÉTÉES DU SCÉNARIO SSP2-4.5

Le graphique ci-après analyse les anomalies des précipitations moyennes mensuelles projetées en utilisant le scénario SSP2-4.5 avec un ensemble de modèles multi-modèles.

Il comprend deux axes, celui horizontal couvre la période de 1950 à 2100, tandis que l'axe vertical séquence l'année en mois, de janvier à décembre. Chaque cellule du graphique est colorée suivant un dégradé de la couleur rouge en fonction de la valeur de l'anomalie de précipitation projetée. Elles varient de moins 25 mm/mois indiquée par la couleur rouge clair à plus de 25 mm/mois (rouge foncé).



Graphique 3. Anomalies de précipitations moyennes mensuelles projetées de la période 2000 à 2100, scénario SSP2-4.5 (réf. Période: 1995-2014) d'un ensemble multi-modèles

Source: The Climate Change Knowledge Portal (CCKP)

Le graphique est une matrice qui analyse les anomalies de précipitations moyennes mensuelles projetées par rapport à la période de référence. Il fait ressortir en plus de la période historique, trois périodes de tendances.

Période d'observation historique (1950-2000)

Elle est marquée par des précipitations moyennes qui étaient relativement stables avec des anomalies proches de 0 mm/mois entre 1950 et 1980. Cette période est caractérisée par des conditions climatiques constantes (Nicholson S. E., 2001, p. 45). On observe une légère diminution des précipitations entre 1980-2000, avec des anomalies allant jusqu'à moins 0,5 mm/mois vers la fin des années 1990. Les sécheresses récurrentes ont gravement affecté l'agriculture et les ressources en eau (Hulme M., 2001, p. 112).

Période 2000-2020

Au cours de cette période, les anomalies de précipitation varient entre moins 0,5 mm/mois et moins 1 mm/mois, signifiant ainsi une tendance à la diminution des précipitations (IPCC, 2014b, p. 67) entre 2000 et 2010. Les anomalies deviennent plus prononcées au cours de 2010-2020, pour atteindre moins 1,5 mm/mois, surtout pendant les mois de juin à septembre (Niang I. et al., 2014, p. 1202).

Période 2020-2050

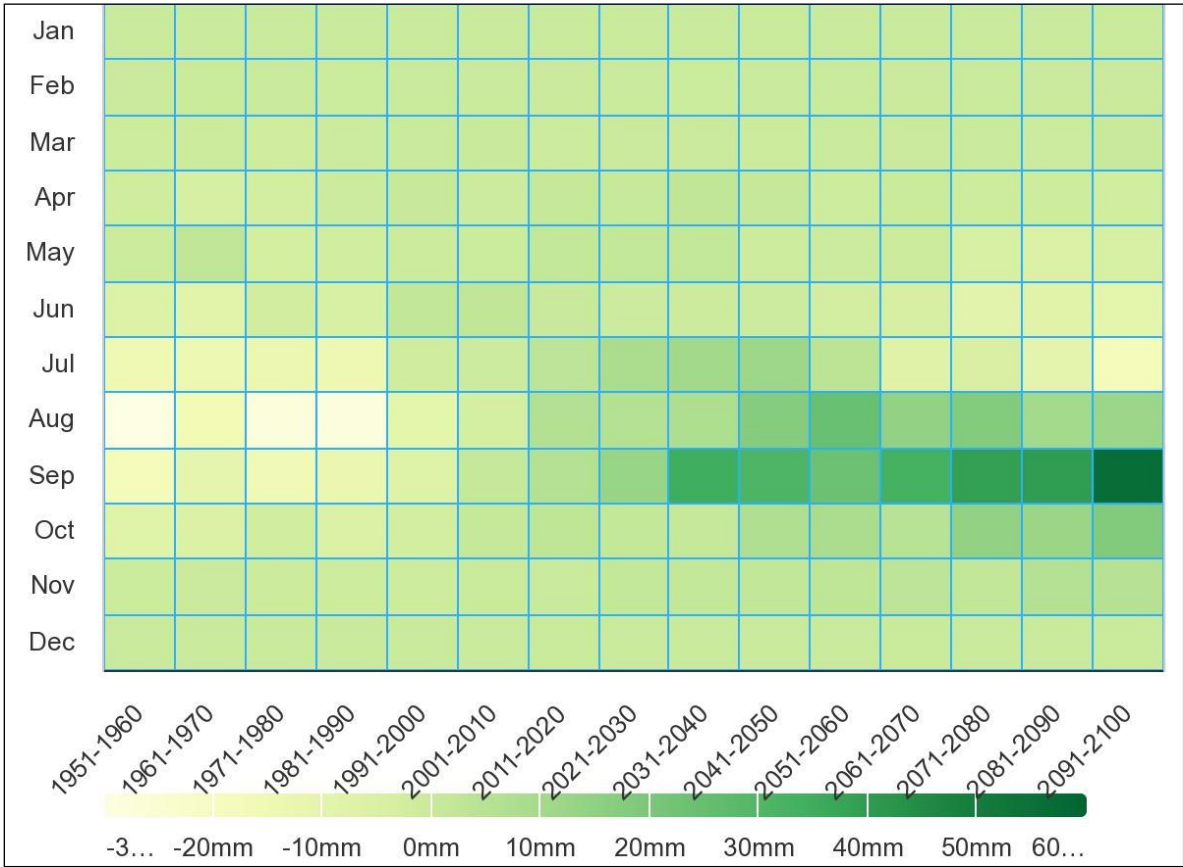
Cette période est une projection à moyen terme et se caractérise par des anomalies de précipitation moyenne qui diminuent continuellement entre **2020-2030**, avec des valeurs allant de moins 1 mm/mois à moins 2 mm/mois, particulièrement en juillet et août (World Bank, 2021, p. 89). Cette tendance est visible sur la période **2030-2050**, avec des anomalies atteignant moins de 2 mm/mois pendant les mois critiques de la saison hivernale.

Période 2050-2100

Cette période est une projection à long terme et se subdivise en deux. Au cours de la première, de **2050-2070**, les anomalies de précipitation restent négatives, avec des valeurs autour de moins 2 mm/mois, indiquant des conditions climatiques de plus en plus. On observe de **2070-2100** que les anomalies atteignent des valeurs extrêmes de moins 2 mm/mois, surtout pendant les mois de la saison des pluies, ce qui pourrait avoir des impacts sévères sur l’agriculture et les ressources en eau (IPCC, 2021, p. 102).

3.5 ANOMALIES DE PRECIPITATIONS MOYENNES MENSUELLES PROJETEES DU SCENARIO SSP5-8.5

L’analyse des anomalies de pluviométrie du scénario SSP5-8.5 est faite par le graphique ci-après.



Graphique 4. Anomalies de précipitations moyennes projetées de la période 2000 à 2100, scénario SSP5-8.5 (réf. Période: 1995-2014) d’un ensemble multi-modèles

Source: The Climate Change Knowledge Portal (CCKP)

Le graphique est une matrice de chaleur qui représente l’anomalie des précipitations projetées de la région Centre-Ouest. Le scénario SSP5-8.5 d’un ensemble multi-modèles est utilisé avec une période de référence de 1995 à 2014.

Il analyse les anomalies de précipitations mensuelles projetées par rapport à la période de référence 1995-2014. Les axes sont les suivants:

- Il est structuré en deux axes. L’axe des abscisses (x) représenté les périodes futures en intervalles de cinq ans, de 2015 à 2100 et l’axe des ordonnées (y) représenté les mois de l’année, de janvier à décembre.
- Chaque cellule de la matrice indique à une anomalie de précipitation pour un mois à la période indiquée, avec des nuances de vert caractérisant l’ampleur de l’anomalie.

- Une échelle de couleurs permet l'interprétation du graphique. Elle varie du marron clair, indiquant des anomalies négative importantes c'est-à-dire des précipitations inférieures à la moyenne historique, au vert foncé indiquant des précipitations supérieures à la moyenne historique.

L'analyse fait observer quatre périodes de tendance.

La période 1950-2000 au cours de laquelle, les anomalies de précipitations sont relativement faibles, avec quelques mois enregistrant des précipitations légèrement inférieures (surtout de juillet à septembre) ou supérieures à la moyenne historique.

La période 2000-2050 présente des anomalies négatives de précipitations plus prononcées, surtout pendant la saison des pluies (juin à septembre). Les mois de juillet et août connaîtront des réductions significatives des précipitations, ce qui pourrait avoir des impacts importants sur la production agriculture et la disponibilité en eau.

La période 2050-2100: au cours de cette période, les anomalies négatives de précipitations atteignent leur maximum. En effet, on observe des baisses importantes de précipitations pendant la saison des pluies. Les mois de juin à septembre montrent des anomalies négatives de précipitations très prononcées, indiquant des précipitations bien inférieures à la moyenne historique.

4 CONCLUSION

Il ressort des résultats d'analyses que les variations de la pluviométrie sur la période 2000-2100 auront des impacts importantes sur la pratique de l'agriculture irriguée et également sur les ressources en eau de surface. A cet effet, les analyses montrent une tendance à la baisse de la pluviométrie, ce qui aura nécessairement des impacts sur le niveau et le temps de remplissage des points d'eau et des nappes souterraines. Cette thèse est, en effet, soutenue par le PNUD-FEM, (1998) et Agoumi et al, (1999) cité par Rousset N. et Arrus R. (2007 p.01) car selon eux une modification de la pluviométrie peut impacter la quantité d'eau mobilisée. Ainsi, vu la situation de forte vulnérabilité des agriculteurs face aux changements climatiques, la question de la résilience, c'est-à-dire celle de la capacité des agriculteurs à résister aux risques est de la première importance (Tapsoba A. et al, 2018 p. 164). Car ces variations de pluviométries ont des impacts directs à la fois sur la nappe phréatique, sur les écoulements des fleuves et sur celles des rivières de la région (Fluet M-J., 2006. p.19). Ce qui implique alors d'envisager la forme et l'ampleur de leurs impacts potentiels sur l'agriculture et d'analyser, ainsi, des nouvelles stratégies d'adaptation des systèmes agricoles pour les prochaines décennies (Rousset N et Arrus R., 2007.p01). La réussite de l'adaptation passe, en effet, par l'adoption d'une politique de l'eau axée de manière structurelle sur sa rareté croissante (Rousset N et Arrus R., 2007.p.01). Pour cela, la prise en compte des connaissances locales est plus que nécessaire, car cela permet de gagner la confiance des paysans (Roncoli et al., 2001) cité par Bambara D. et al., (2016) et d'avoir ainsi, leur adhésion dans la mise en œuvre des actions de développement (Bambara D. et al., 2016 p.36). Pour Sparacino (2011) cité par Bambara D. et al. (2016 p.36), pour les besoins d'adaptation appropriés l'implication des populations sont plus que nécessaires car leur survie en dépend. En effet, des études de Clark (2006) et Kanté (2011) cité par Bambara D. et al. (2016 p.36) ont montré que les pratiques d'adaptation élaborées de façon inclusive à l'échelle locale étaient les plus efficaces et durables, car elles prennent en compte les intérêts des populations.

REFERENCES

- [1] Bambara D. et al., 2016. Changements Climatiques en zones nord-soudanienne et subsaharienne du Burkina Faso: Comparaison entre savoirs paysans et connaissances scientifiques. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, Vol. 71, p 35-58.
- [2] Bognini S., 2010. Impacts des changements climatiques sur les cultures maraîchères au nord du Burkina Faso: cas de Ouahigouya, 83 pages. Rapport d'étude.
<https://www.weadapt.org/sites/weadapt.org/files/legacy-new/knowledge-base/files/4f736de8d6aebognini-draft-final-cc-projectplace-132140-.pdf>, consulté le 26 Octobre 2023.
- [3] Hulme, M. 2001. Climatic Perspectives on Sahelian Desiccation: 1973-1998. *Global Environmental Change*, 11 (1), p.19-29.
- [4] IPCC. 2014a. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC.
- [5] IPCC. 2014b. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press.
- [6] IPCC., 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press.
- [7] Fluet M-J., 2006. Impacts des changements climatiques sur les agriculteurs de la province du Zondoma au Burkina Faso: adaptation, savoir et vulnérabilité mémoire de maîtrise en sciences de l'environnement, université du Québec à Montréal, 140 pages.
- [8] Niang I. et al. 2014. Africa. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [9] Nicholson S. E. 2001. Climatic and Environmental Change in Africa during the Last Two Centuries. *Climate Research*, 17 (2), p. 123-144.
- [10] Rousset N. et Arrus R., 2006. L'agriculture du Maghreb au défi du changement climatique: Quelles stratégies d'adaptation face à la raréfaction des ressources hydriques ? 2007. halshs-00134115, 11 pages.

- [11] Tapsoba A. et al., 2018. Grands périmètres irrigués et résilience des paysans au Sahel: Le cas de Bagré au Burkina Faso. Dans *Revue internationale des études du développement* 2018/3 (N° 235), p 147 à 176. <https://www.cairn.info/revue-internationale-des-etudes-du-developpement-2018-3-page-147.htm> consulté le 26 Octobre 2023.
- [12] World Bank. 2021. Climate Change Knowledge Portal. Washington, DC.
- [13] M ZOUNDI et al. Caractérisation et tendance du climat dans la région du Centre-Ouest du Burkina Faso, ISSN 2028-9324 Vol. 42 No. 4 Jun. 2024, pp. 687-695.

Influence de déchets organiques solides de ferme sur la productivité de l'aubergine en milieu urbain sur sol limono-sableux

[Influence of solid organic farm waste on eggplant productivity in urban areas on sandy-loam soil]

Yéboua Firmin Kouassi, Monaille Cannelle Séa, Tamia Joséphine Ama-Abina, and Yao Alexis N'Go

Université Nangui ABROGOUA, UFR des Sciences et Gestion de l'Environnement, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: Urban agriculture, improving the environmental sustainability of cities, contributes to the food security of urban populations in developing countries. The major cultural constraint of sandy soils in the city of Abidjan is its low organic matter content. This study aims to evaluate the effects of three types of solid organic farm waste on eggplant growth and yield. After characterizing the soil of the experimental site, a randomized Fisher block design was used. It consisted of four repetitions of four treatments: a control (C), beef dung (BD), laying hen droppings (LD) and rabbit droppings (RD). These fertilizers were applied by mixing them into the 0-20 cm layer of soil at the rate of 500 g/plant, or 10 t ha⁻¹. Beef dung had the best effects on the height (34.93 cm) and collar diameter (0.11 cm) of plants on day 35. It also gave the highest net yield (28.70 t ha⁻¹), without being statistically different from those of the plots with laying hen droppings (20.63 t ha⁻¹) and rabbit droppings (15.15 t ha⁻¹), but different ($p < 0.01$) from the lowest yield (0.9675 t ha⁻¹) recorded in the control plots. However, the beef dung caused yield losses due to spoiled fruits. Thus, composting of these wastes, especially the beef dung, would be recommended to improve their quality.

KEYWORDS: soil, organic effluent, organic fertilizer, eggplant, environment, Côte d'Ivoire.

RESUME: L'agriculture urbaine, améliorant la viabilité environnementale des villes, contribue à la sécurité alimentaire des populations urbaines des pays en développement. La contrainte culturelle majeure des sols sableux de la ville d'Abidjan est sa faible teneur en matière organique. Cette étude vise à évaluer les effets de trois types de déchets organiques solides de ferme sur la croissance et le rendement de l'aubergine. Après avoir caractérisé le sol du site expérimental, un dispositif en bloc de Fisher randomisé a été utilisé. Il était constitué de quatre répétitions de quatre traitements que sont un témoin (T), la bouse de bœuf (BB), la fiente de pondeuse (FP) et les crottes de lapin (CL). Ces fertilisants ont été appliqués en les mélangeant à la couche 0-20 cm du sol à la dose de 500 g/plant, soit 10 t ha⁻¹. La bouse de bœuf a eu les meilleurs effets sur la hauteur (34,93 cm) et le diamètre au collet (0,11 cm) des plantes au 35^e jour. Elle a également donné le rendement net le plus élevé (28,70 t ha⁻¹), sans être statistiquement différent de ceux des parcelles à fiente de pondeuse (20,63 t ha⁻¹) et crottes de lapin (15,15 t ha⁻¹), mais différent ($p < 0,01$) du rendement le plus faible (0,9675 t ha⁻¹) enregistré dans les parcelles témoins. Mais, la bouse de bœuf a entraîné plus de pertes de rendement dues aux fruits avariés. Le compostage de ces déchets, surtout la bouse de bœuf, serait préconisé pour améliorer leur qualité.

MOTS-CLEFS: sol, effluent organique, fertilisant organique, aubergine, environnement, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

En Afrique de l'Ouest, suite aux fortes urbanisation et concentration économique dans les zones urbaines, l'agriculture urbaine s'est considérablement développée. Ces villes, situées, pour la plupart, en zone tropicale humide, sont favorables à la culture des fruits et légumes, contribuant ainsi à la sécurité alimentaire des populations et à la création d'emplois pour de nombreux ménages à faibles revenus [1], [2], [3].

En Côte d'Ivoire, ces denrées alimentaires ont trois provenances essentielles que sont l'importation, le milieu paysan et l'agriculture urbaine. A Abidjan, la culture de légumes est pratiquée sur des berges lagunaires et autres sites marécageux situés à la périphérie et à l'intérieur de la ville. Elle attire l'attention des populations en fournissant, en toutes saisons, des légumes frais [4].

Toutefois, cette culture est faite sur des sols de sables tertiaires à quaternaires pauvres en matière organique [5] et défavorables aux cultures vivrières et maraîchères. Aussi, devient-elle de plus en plus intensive du fait de la forte croissance démographique. D'où l'utilisation d'intrants chimiques, par les agriculteurs, qui constituent des sources de pollution des sols susceptibles d'impacter négativement la santé des consommateurs. De ce fait, dans un contexte d'économie circulaire, l'usage de pratiques respectueuses de l'environnement, telles que le recours à des déchets organiques, semble nécessaire pour améliorer la fertilité des sols cultivés et accroître la productivité des cultures.

Cette étude vise à évaluer l'influence de trois types de déchets organiques solides de ferme sur la croissance et le rendement d'une variété améliorée de l'aubergine.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 SITE DE L'ÉTUDE

L'étude a été conduite sur le site expérimental de l'Université Nangui ABROGOUA, à Abidjan (Figure 1), dont les coordonnées géographiques sont 4°00'41,5" W et 5°23'16,4" N. Les sols appartiennent aux groupes des Ferralsols, des Acrisols et des Gleysols. Ils sont issus de granites, de schistes et de roches basiques [6]. Le climat est subéquatorial, de type Attiéen, à quatre saisons, dont deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses. La grande saison sèche part de Décembre à Mars et la petite de Juillet à Août. La grande saison pluvieuse couvre les mois d'Avril à Juin et la petite ceux de Septembre à Novembre. La température moyenne annuelle varie de 24,5 à 27,7 °C, avec un ensoleillement de l'ordre de 2 000 h an⁻¹. La pluviométrie moyenne annuelle est de 1 840,10 mm, avec une humidité relative de 80 à 90 % [7].

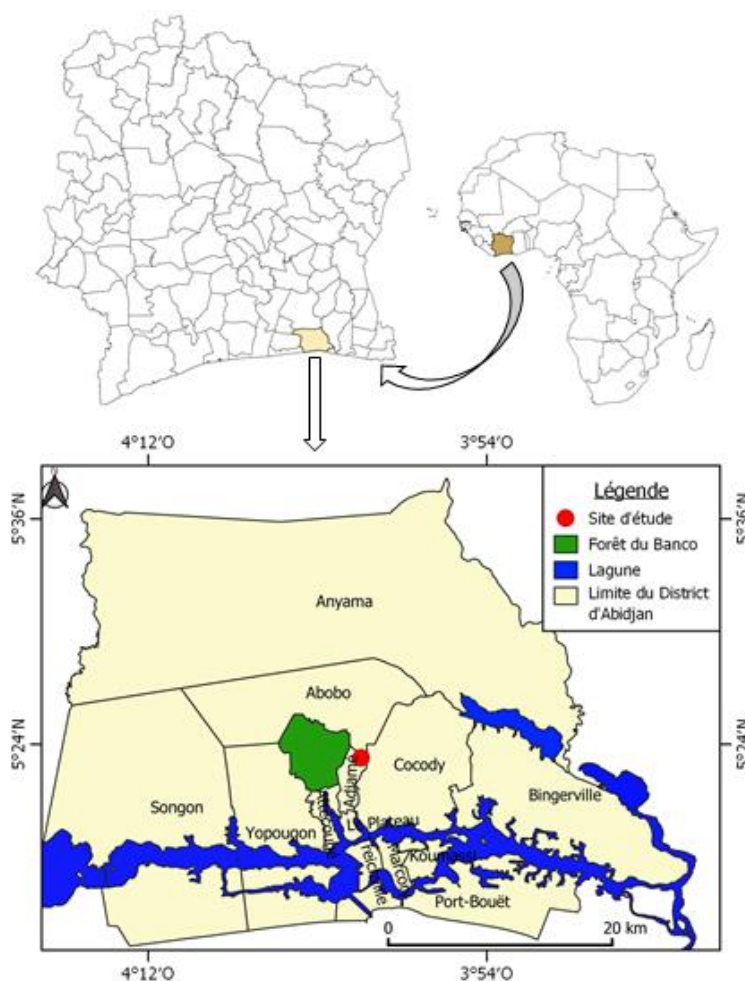


Fig. 1. Site de l'étude

2.2 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal utilisé était *N'Drowa Issia*, une variété d'aubergine issue de la collection des ressources génétiques du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) de Côte d'Ivoire. Elle a une bonne tolérance au flétrissement bactérien et est adaptée aux conditions climatiques du pays. Elle est caractérisée par un potentiel de production qui oscille entre 5 et 24 t ha⁻¹ [4].

2.3 FERTILISANTS

Les fertilisants utilisés sont trois types de déchets organiques solides, d'origine animale, collectés dans des fermes à Abidjan, à savoir la fiente de poudeuse (FP), la bouse de bœuf (BB) et les crottes de lapin (CL).

2.4 ECHANTILLONNAGE ET ANALYSES DU SOL DU SITE EXPERIMENTAL

L'échantillonnage du sol de la parcelle expérimentale a été fait avant la confection des billons, dans les couches 0-20 et 20-40 cm, avec un tube cylindrique métallique en acier inoxydable [8]. Ainsi, deux échantillons composites des deux couches ont été constitués à partir du mélange de cinq échantillons élémentaires prélevés dans chaque couche, dont quatre vers les côtés et un au centre de la parcelle. Ils ont été séchés à l'air libre jusqu'à obtenir une masse constante, tamisés à l'aide d'un tamis de 2 mm de maille et conditionnés dans des sachets plastiques. Ces échantillons ont été analysés à l'Ecole Supérieure d'Agronomie (ESA) de l'INPHB à Yamoussoukro en Côte d'Ivoire.

La texture des sols a été déterminée à partir de leurs compositions granulométriques obtenues suite à une analyse granulométrique faite par la méthode de la pipette de Robinson-Köhn [9]. Le pH_{eau} a été déterminé, à l'aide d'un pH-mètre électronique, dans une solution de sol, avec un rapport sol/eau de 1/2,5. Les teneurs en carbone et en azote ont été déterminées, respectivement, par les méthodes de Walkley et Black et de Kjeldahl. Celles en matière organique ont été obtenues en multipliant les teneurs en carbone par 1,724. Celle en phosphore assimilable a été déterminée selon la méthode d'Olsen et Dabin (1967) dans [10]. La capacité d'échange cationique (CEC) et les teneurs en cations basiques échangeables ont été déterminées par la méthode à l'acétate d'ammonium, à pH 7 [11], permettant ainsi de calculer le taux de saturation en cations basiques échangeables en divisant la somme des cations basiques par la CEC et le tout multiplié par 100 [12].

2.5 ECHANTILLONNAGE ET ANALYSES DES FERTILISANTS ORGANIQUES

Cinq échantillons élémentaires ont été prélevés dans chaque fertilisant à différents endroits puis mélangés dans un seau. Un échantillon homogène de chaque fertilisant y a été prélevé et conservé dans un sachet plastique pour des analyses (Tableau 1) dans le même laboratoire que précédemment.

La conductivité électrique a été déterminée à l'aide d'un conductimètre, la teneur en carbone organique par les méthodes de Walkley et Black et de Kjeldahl, celle en azote total par la perte au feu suivie de la méthode Kjeldahl et celles en Ca, Mg, K, Na par la perte au feu suivie d'un dosage par spectrométrie d'absorption atomique.

Tableau 1. *Caractéristiques physico-chimiques des fertilisants*

Paramètres	Fertilisants organiques		
	BB	FP	CL
pH _{eau}	8,46	7,29	5,84
Conductivité électrique (dS m ⁻¹)	0,92 10 ⁻³	0,69 10 ⁻³	1,62 10 ⁻³
C (%MS)	13,13	29,69	10,40
N (%MS)	0,64	1,01	0,42
C/N	20,52	29,40	24,76
P (%MS)	0,08	0,20	0,08
Ca (%MS)	1,00	1,07	1,01
Mg (%MS)	0,36	0,38	0,34
K (%MS)	1,38	1,41	1,33

BB: bouse de bœuf, FP: fiente de poudeuse, CL: crottes de lapin

2.6 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Le dispositif expérimental est un bloc de Fisher randomisé, comprenant quatre traitements et quatre répétitions, soit un total de 16 parcelles unitaires de 4x3 m (12 m²) chacune. Les traitements sont constitués d'un témoin (sans fertilisant, T), de la bouse de bœuf (BB), de la fiente de pouleuse (FP) et des crottes de lapin (CL).

2.7 APPLICATION DES FERTILISANTS

Avec un écartement de 1 m entre les lignes et 0,5 m entre les plants d'une ligne, les fertilisants ont été appliqués, le 26 mai 2022, dans des poquets à une profondeur de 10 cm sur des billons, en les mélangeant au sol, à la dose de 500 g plant⁻¹ soit 10 t ha⁻¹.

2.8 REPIQUAGE

Les plants repiqués étaient issus d'une pépinière de 31 jours, avec un minimum de 4 feuilles bien étalées et une hauteur variant de 8 à 10 cm. Ils ont été repiqués dans des poquets aux points d'application des fertilisants.

2.9 MESURE DES PARAMETRES DE CROISSANCE

La hauteur et le diamètre au collet des plantes ont été déterminés à partir du 7^e jour après le repiquage (JAR) et à intervalle de 7 jours jusqu'à la floraison. Ainsi, ils ont été déterminés, respectivement, à l'aide d'un mètre-ruban fixé sur une tige en bois et d'un pied à coulisse, sur 9 plantes centrales dans chaque parcelle unitaire, dont 3 par ligne de culture.

2.10 DÉTERMINATION DES RENDEMENTS EN FRUIT

Les fruits ont été récoltés sur les 9 plantes qui ont fait l'objet de mesure des paramètres de croissance. Les premières et dernières récoltes ont été faites, respectivement, les 9 Septembre et 30 Décembre 2022, soit une période de 113 jours. Ainsi, les rendements brut et net ont été déterminés par les formules suivantes:

$$Rb = \frac{Mf \times 10}{S}$$

$$Rn = \frac{Mfs \times 10}{S}$$

Avec:

Rb: rendement brut (t ha⁻¹), Rn: rendement net (t ha⁻¹), Mf: masse de fruits (kg), Mfs: masse de fruits sains (kg), S: surface occupée par les plantes (m²).

2.11 TAUX DE PERTES DE RENDEMENT

Le taux de pertes de rendement est celui des fruits avariés récoltés. Il a été déterminé par la formule suivante:

$$Tp = \frac{Rb - Rn}{Rb} \times 100$$

Avec:

Tp: taux de pertes de rendement (%), Rb: rendement brut (t ha⁻¹), Rn: rendement net (t ha⁻¹).

2.12 ANALYSES STATISTIQUES

Les données ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA), à l'aide du logiciel STATISTICA 7.1, afin de déterminer d'éventuelles différences entre les traitements, après vérification de l'homogénéité des variances avec le test de LEVENE. En cas de différence significative entre les traitements, les moyennes ont été séparées à l'aide du test LSD au seuil de 5 %.

3 RESULTATS

3.1 FERTILITE INITIALE DU SOL DU SITE EXPERIMENTAL

Le sol était limono-sableux et acide, avec une teneur en matière organique moyenne (2,24 %) chutant à faible (1,55 %) dans la couche 20-40 cm. Sa teneur en azote total n'était pas satisfaisante, d'où un rapport C/N élevé (18,57-22,5). Celle en phosphore assimilable était moyenne à faible. Sa CEC était très faible. Ses teneurs en calcium, magnésium, potassium et sodium étaient, respectivement, bonne, moyenne, faible et bonne, tout en notant que la teneur en sodium représentait 1,02 à 1,11 % de la CEC. Toutefois, la somme des cations basiques échangeables était très faible (Tableau 2).

Tableau 2. *Caractéristiques physico-chimiques initiales du sol*

Paramètres	Couche de sol (cm)	
	0 - 20	20 – 40
Argile (%)	10,74	12,19
Limons (%)	32,58	31,59
Sables (%)	56,68	56,22
Texture	Limono-sableuse	Limono-sableuse
pH _{eau}	5	5,2
C org (%)	1,30	0,90
MO (%)	2,24	1,55
N tot (%)	0,07	0,04
C/N	18,57	22,5
P ass (ppm)	55	38
T (cmol _c kg ⁻¹)	3,92	3,6
Ca (cmol _c kg ⁻¹)	0,51	0,51
Mg (cmol _c kg ⁻¹)	0,20	0,18
K (cmol _c kg ⁻¹)	0,09	0,10
Na (cmol _c kg ⁻¹)	0,04	0,04
S (cmol _c kg ⁻¹)	0,84	0,83
V (%)	21,43	23,06

MO: matière organique, T: capacité d'échange cationique, S: somme des cations basiques échangeables, V: taux de saturation en cations basiques échangeables

3.2 EFFET DES FERTILISANTS SUR LA CROISSANCE DES PLANTES

3.2.1 HAUTEUR DES PLANTES

La croissance des plantes a été plus rapide dans les parcelles à bouse de bœuf et plus lente dans les parcelles témoins, avec des hauteurs respectives de 34,93 et 11,03 cm au 35^e jour après le repiquage. Les plantes des parcelles à fiente de pondeuse et crottes de lapin ont eu des rythmes de croissance pratiquement similaires, avec, respectivement, 20,12 et 20,30 cm de hauteur au terme de cette durée de culture (Figure 2).

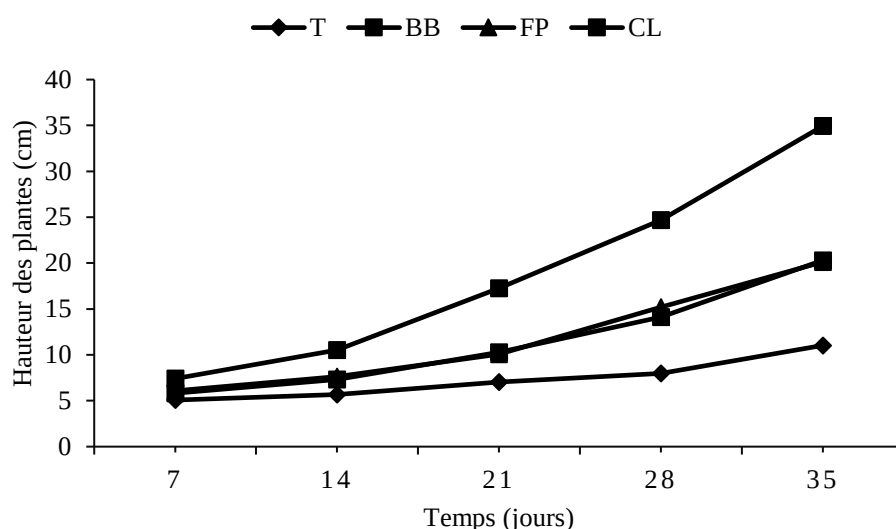


Fig. 2. Evolution de la hauteur des plantes

T: témoin, BB: Bouse de bœuf, FP: Fiente de poule, CL: Crottes de lapin

3.2.2 DIAMÈTRE AU COLLET DES PLANTES

La croissance des plantes a été plus rapide dans les parcelles à bouse de bœuf et plus lente dans les parcelles témoins, avec, respectivement, 0,11 et 0,04 cm de diamètre au 35^e jour. Les plantes des parcelles à fiente de poule et crottes de lapin ont eu un rythme de croissance similaire, avec un diamètre de 0,06 cm au bout de cette durée de culture (Figure 3).

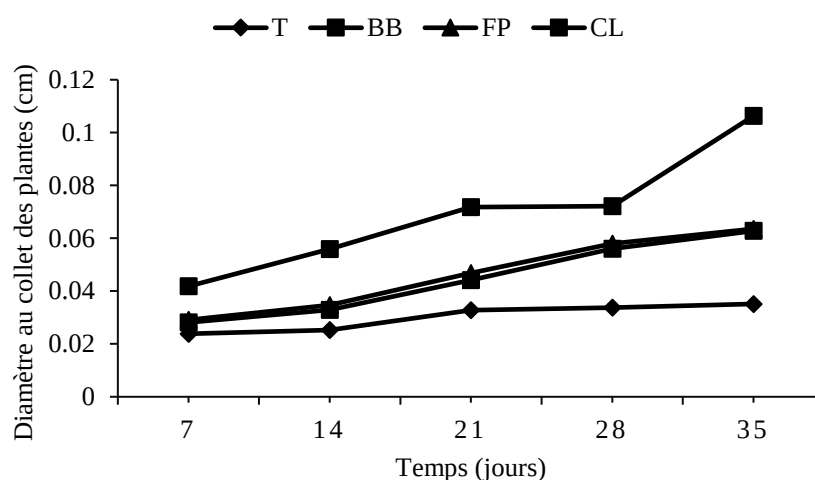


Fig. 3. Evolution du diamètre au collet des plantes

T: témoin, BB: Bouse de bœuf, FP: Fiente de poule, CL: Crottes de lapin

3.3 EFFET DES FERTILISANTS SUR LE RENDEMENT DES PLANTES

3.3.1 RENDEMENT BRUT

Les analyses statistiques ont révélé des différences hautement significatives ($p < 0,01$) entre les traitements. Le rendement brut le plus élevé ($29,12 \text{ t ha}^{-1}$) a été obtenu dans les parcelles à bouse de bœuf suivi de ceux des parcelles à fiente de poule ($20,77 \text{ t ha}^{-1}$) et à crottes de lapin ($15,31 \text{ t ha}^{-1}$) sans leur être significativement différent. Le plus faible rendement ($0,97 \text{ t ha}^{-1}$) a été enregistré dans les parcelles témoins (Figure 4).

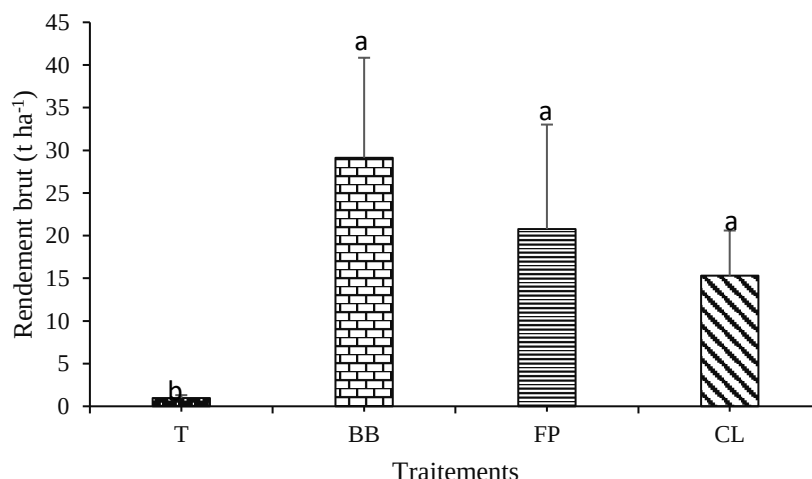


Fig. 4. Variation des rendements bruts en fonction des traitements

Les valeurs affectées de lettres différentes sont significativement différentes en seuil de 5 %.

T: témoin, BB: Bouse de bœuf, FP: Fiente de pondeuse, CL: Crottes de lapin

3.3.2 RENDEMENT NET

Les analyses statistiques ont montré des différences hautement significatives ($p < 0,01$) entre les traitements. Le rendement net le plus élevé ($28,70 \text{ t ha}^{-1}$) a été enregistré dans les parcelles à bouse de bœuf suivi de ceux des parcelles à fiente de pondeuse ($20,63 \text{ t ha}^{-1}$) et à crottes de lapin ($15,15 \text{ t ha}^{-1}$) sans leur être significativement différent. Le plus faible rendement ($0,97 \text{ t ha}^{-1}$) a été obtenu dans les parcelles témoins (Figure 5).

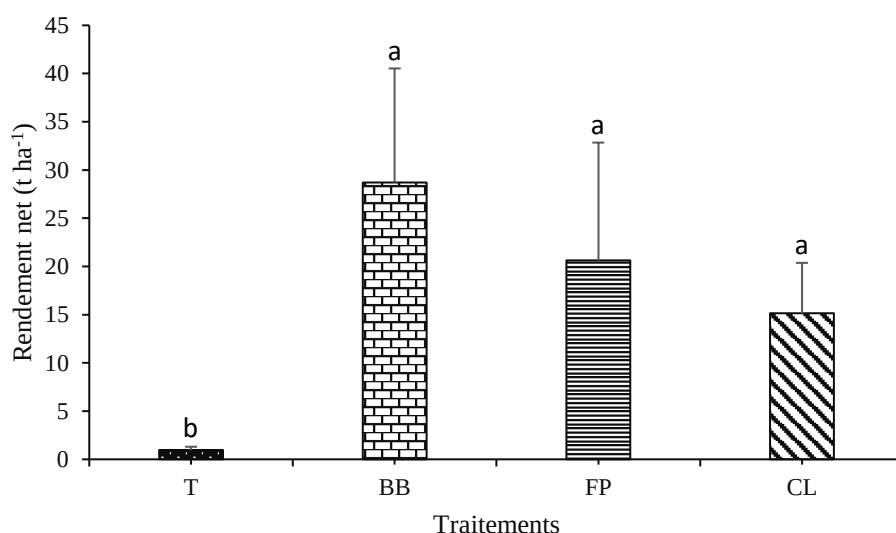


Fig. 5. Variation des rendements nets en fonction des traitements

Les valeurs affectées de lettres différentes sont significativement différentes en seuil de 5 %.

T: témoin, BB: Bouse de bœuf, FP: Fiente de pondeuse, CL: Crottes de lapin

3.3.3 TAUX DE PERTES DE RENDEMENT

Les analyses statistiques ont présenté des différences significatives ($p < 0,05$) entre les traitements. Le taux de pertes de rendement le plus élevé (1,76 %) a été enregistré dans les parcelles à bouse de bœuf suivi de ceux des parcelles à fiente de pondeuse (0,77 %) et crottes de lapin (1,08 %) sans leur être significativement différent. Celui du témoin a été nul (Figure 6).

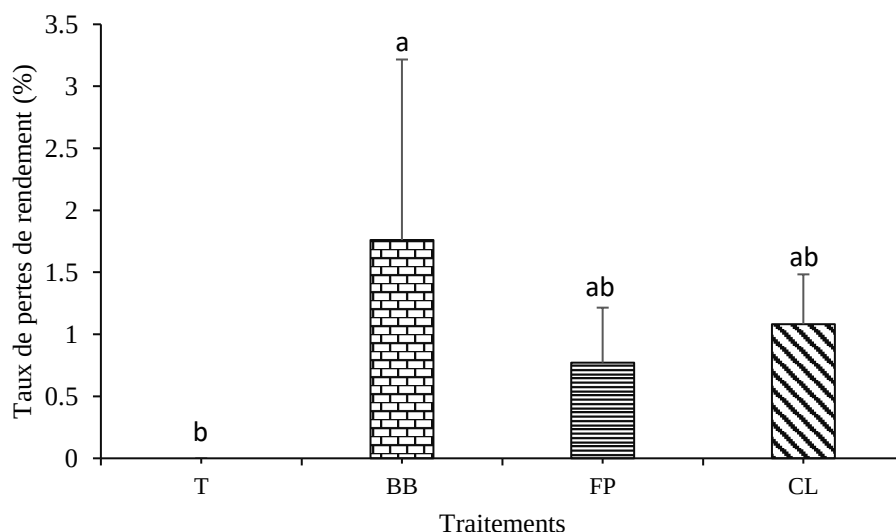


Fig. 6. Variation des taux de pertes de rendement

Les valeurs affectées de lettres différentes sont significativement différentes en seuil de 5 %.

T: témoin, BB: Bouse de bœuf, FP: Fiente de pondeuse, CL: Crottes de lapin

4 DISCUSSION

Le sol sur lequel l'essai a été conduit était physiquement et chimiquement peu fertile. Il était acide, abritant ainsi une activité biologique faible témoignée par le rapport C/N était élevé. Cela a impacté négativement la minéralisation de la matière organique, dont la teneur était faible à moyenne. Aussi, avec sa texture limono-sableuse, présente-t-il une capacité d'échange cationique très faible qui exprime sa faible aptitude à stocker et à fournir des nutriments aux cultures. La somme des cations basiques échangeables était très faible, lui conférant un état hyperdystrique. Les travaux de [13] ont également montré ces contraintes physico-chimiques et chimiques de ce sol.

En effet, parmi les fertilisants organiques utilisés, la bouse de bœuf a eu les meilleurs effets sur la croissance de l'aubergine, notamment sur la hauteur et le diamètre au collet des plantes, durant les 35 premiers jours. Ce fertilisant étant alcalin, avec une bonne teneur en matière organique, aurait amélioré l'environnement microbien de la rhizosphère en favorisant la minéralisation de cette matière et l'assimilation des nutriments par les cultures, car sa teneur en azote total était satisfaisante. Toutefois, les travaux de [14] ont montré une amélioration de la croissance du soja par une fumure organo-minérale à base de déchets végétaux et animaux au cours de la deuxième moitié de son cycle. Celle de la variété Klongbo de l'aubergine a été améliorée par ce même fertilisant dès le 20^e jour après le repiquage [13]. Aussi, faut-il noter que les sols acides limitent la croissance végétale par la diminution de la nitrification, la déficience en phosphore, les toxicités aluminique et manganique et la disponibilité de certains oligo-éléments [15].

La bouse de bœuf, la fiente de pondeuse et les crottes de lapin ont amélioré significativement le rendement de l'aubergine. Mais, les parcelles à bouse de bœuf ont été les plus productives. Ce fertilisant organique, en ameublissant le sol, aurait permis un meilleur enracinement des plantes, avec pour conséquence une bonne alimentation minérale et hydrique des plantes. De plus, les pH de ces fertilisants auraient positivement impacté ceux des sols au regard de la corrélation entre eux et les rendements. [16] et [17] ont montré que la plupart des plantes cultivées se développent harmonieusement dans des sols neutres ou légèrement acides, d'où la recommandation des engrais organiques, tels que la bouse de vache et la fiente de volaille, aux agriculteurs nigériens au détriment des engrais minéraux [18].

Toutefois, les parcelles à bouse de bœuf ont eu le taux de pertes de rendement le plus élevé suivi de celles à crottes de lapin et à fiente de pondeuse. En effet, ces fertilisants abriteraient des ravageurs et agents pathogènes qui ont causé des dégâts sur les fruits, car il n'y a pas eu de perte de rendement dans les parcelles témoins.

5 CONCLUSIONS

L'étude visait à évaluer l'influence de trois types de déchets organiques solides de ferme sur la croissance et le rendement de l'aubergine. La bouse de bœuf a montré sa capacité à améliorer la fertilité du sol à travers de meilleures croissances et rendements de la variété N'Drowa Issia. Toutefois, les pertes de rendement dues aux fruits avariés ont été les plus élevées dans les parcelles ayant reçu ce

fertilisant. Or, aucune perte de rendement n'a été enregistrée dans les parcelles témoins. Cela suggère la nécessité de l'assainissement de ces déchets, à travers le compostage, pour améliorer leur qualité avant de les utiliser.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le Centre de Recherche pour le Développement International (CRDI) dont le financement a permis de réaliser ce travail, dans le cadre du renforcement de l'inclusion du genre dans la recherche agronomique pour des résultats plus probants en Afrique de l'Ouest.

REFERENCES

- [1] A. M. Jouve et M. Padilla, «Les agricultures péri-urbaines méditerranéennes à l'épreuve de la multifonctionnalité: comment fournir aux villes une nourriture et des paysages de qualité ?», *Cahiers Agricultures*, vol. 16, no. 4, pp. 311-317, 2007. doi.org/10.1684/agr.2007.0109.
- [2] F. O. Olasantan, «Vegetable production in tropical Africa: Status and strategies for sustainable management», *Journal of Sustainable Agriculture*, vol. 30, no. 3, pp. 41-70, 2007. doi.org/10.1300/J064v30n03_05.
- [3] I. Opitz, R. Berges, A. Piorr and T. Krikser, «Contributing to food security in urban areas: differences between urban agriculture and peri-urban agriculture in the Global North», *Agric Hum Values*, vol. 33, pp. 341-358, 2016. doi.org/10.1007/s10460-015-9610-2.
- [4] L. Fondio, M. F. P. N'Gbesso and N. D. Coulibaly, «Effect of mineral fertilization on African eggplant (*Solanum spp.*) productivity in Côte d'Ivoire», *Journal of Agricultural Science and Technology*, vol. 6, pp. 188-195, 2016. doi.org/10.17265/2161-6264/2016.03.006
- [5] B. B. Y. Boa, T. J. Ama-Abina, T. T. Lékadou, Y. F. Kouassi, O. C. N'Cho, «Performances agromorphologiques de fumures organiques sur deux variétés de tomate sur sols sableux du littoral ivoirien», *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, vol. 33, no. 1, pp. 136-149, 2022.
- [6] I. E. Esu, A. U. Akpan-Idiok and M. O. Eyong, «Characterization and classification of soils along a typical hillslope in Afikpo area of Ebonyi State, Nigeria», *Nig. J. Soil Env. Res.*, vol. 8, pp. 1-16, 2008. doi.org/10.4314/njser.v8i1.52050.
- [7] E. S. Koffi, K. T. Koffi, J.-L. Perrin, L. Séguis, M. Guilliod, D. L. Goné and B. Kamagaté, «Hydrological and water quality assessment of the Aghien Lagoon hydrosystem (Abidjan, Côte d'Ivoire)», *Hydrological Sciences Journal*, vol. 64, no. 15, pp. 1893-1908, 2019. doi.org/10.1080/02626667.2019.1672875.
- [8] G. R. Yoro, K. E. Kassim et O. Tahouo, «Le tube cylindrique, une innovation pour la prospection pédologique», Le CNRA en 2007, Centre National de Recherche Agronomique, Abidjan, Côte d'Ivoire, pp. 10-13, 2007.
- [9] D. Soltner, Les bases de la production végétale. Le sol et son évolution, Collection Sciences et Techniques Agricoles, 23^e Edition, Tome I, 472 p, 2003.
- [10] J. Boyer, «Sols ferrallitiques. Facteurs de fertilité et utilisation des sols», Tome X, Eds. ORSTOM, Paris, 384 p, 1982.
- [11] IUSS Working Group WRB, «World Reference Base for Soil Resources 2014», International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, World Soil Resources Reports, no. 106, FAO, Rome, 181 p, 2014.
- [12] O. B. Iren, D. J. Udoh, V. F. Ediene et E. E. Aki, «Assessment of soil properties and the development of Lime requirement equations for some soils in South-Eastern Nigeria», *International Journal of Soil Science*, vol. 16, no. 1, pp. 1-12, 2021. doi.org/10.3923/ijss.2021.1.12.
- [13] Y. F. Kouassi, A. H. D. Abobi, K. H. Assié, W. A. Koné et K. T. P. Angui, «Influence of organic and organo-mineral fertilizers on growth and fruit yield of eggplant on acidic soil», *Journal of Agricultural Science*, vol. 13, no. 12, pp. 61-70, 2021. doi.org/10.5539/jas.v13n12p61.
- [14] Y. F. Kouassi, G. A. Gbogouri, K. A. N'Guessan, A. Bilgo, K. T. P. Angui et T. J. Ama, «Effets de fertilisants organique et organo-minéral à base de déchets végétaux et animaux sur la croissance et le rendement du soja (*Glycine max* (L.) MERRILL) en zone de savane de Côte d'Ivoire». *Agronomie Africaine*, vol. 31, no. 1, pp. 21-32, 2019.
- [15] N. E. Kouadio, K. E. Koffi, B. J. Kouakou, G. F. Messoum, K. Brou et N. D. Brou, «Diagnostic de l'état de fertilité des sols sous culture cotonnière dans les principaux bassins de production de Côte d'Ivoire», *European Scientific Journal*, vol. 14, no. 33, pp. 221-238, 2018. doi.org/10.19044/esj.2018.v14n33p221.
- [16] J. R. Landon, «Booker Tropical Soil Manual. A handbook for soil survey and agriculture land evaluation in the tropics and subtropics», 1st Ed. Paperback, Longman, Booker Tate limited, Oxon, Royaume Uni, 474 p, 1991. doi.org/10.4324/9781315846842.
- [17] D. Baize, 2000. «Guide des analyses en pédologie», 2nd Ed, France, INRA Editions, 257 p.
- [18] R. B. Mukhtar, A. Inuwa et M. Umar, «Evaluation of growth response of *Parkia biglobosa* (Jacq) under different levels of organic manures», *Agro-Science*, vol. 20, no. 1, pp. 22-24, 2021. doi.org/10.4314/as.v20i1.4.

Etude du comportement des ondes acoustiques émises par des sources omnidirectives et directives

[Study of comportment the acoustics waves emetted by omnidirectionnal and directionnal sources]

Kisoki Mbunga Henri

Professeur Associé, Faculté des Sciences, Département de Physique et Sciences Appliquées (DPSA), Université Pédagogique Nationale (UPN), Kinshasa-Ngaliema, RD Congo

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

ABSTRACT: In this article, we will present the different consequences that can arise in the event of non compliance with the standards for the propagation of acoustics waves in their daily uses namely: sound system in our churches, evangelization campagn, refreshment bar, bistros, publics areas, etc.

The acoustics waves are induced by vibration of mechanical surfaces which propagate to our ears translated by stamps. This is how we see that interactions between a vibrating body and the propagation medium obey the laws based on the existence of two forms of energy (propagated energy and that exchanged between the source and the propagation medium) described in this study.

To better use acoustics waves, we will focus on the radiation impedance and the parameters allowing us to classify the sources of acoustics waves into two groups that we have called: omnidirectionnal and directionnal models.

KEYWORDS: acoustic, energy, directionnal, impedance, omnidirectionnal, wave.

RESUME: Dans cet article, nous avons présenté les différentes conséquences qui peuvent subvenir en cas de non-respect des normes sur la propagation des ondes acoustiques dans leurs utilisations quotidiennes, à savoir: sonorisation dans nos églises, campagne d'évangélisation, buvette, terrasse, milieux publics, etc. Les ondes acoustiques sont induites par la mise à vibration des surfaces mécaniques qui se propagent jusqu'à nos oreilles traduite par des timbres. C'est ainsi, nous voyons que les interactions entre un corps vibrant et le milieu de propagation obéissent aux lois reposant sur l'existence de deux formes d'énergies (énergie propagée et celle échangée entre la source et le milieu de propagation) décrites dans cette étude. Pour mieux utiliser les ondes acoustiques, nous allons nous intéresser à l'impédance de rayonnement et aux paramètres permettant de classer des sources des ondes acoustiques en deux groupes que nous avons appelés: modèles omnidirectifs et directifs.

MOTS-CLEFS: acoustique, énergie, directif, impédance, omnidirectif, ondes.

1 INTRODUCTION

Pour caractériser physiquement un son pur, il suffit de préciser quatre paramètres de l'onde, à savoir: l'amplitude, la fréquence, la période et la phase [1].

La propagation des ondes acoustiques obéit aux mêmes lois que celles de la théorie des ondes. Toute perturbation induite dans un milieu élastique est à l'origine d'une déformation locale qui se déplace avec une célérité qui ne dépend que des propriétés physiques du milieu considéré [2].

La plupart des ondes acoustiques sont induites par la mise en vibration des surfaces mécaniques. C'est ainsi nous disons que les interactions entre un corps vibrant et le milieu de propagation obéissent à des lois d'une grande complexité reposant sur l'existence de deux formes d'énergies suivantes: énergie propagée celle échangée entre la source et le milieu de propagation [3].

Retenons que l'énergie propagée est celle qui s'éloigne de la source tant que l'onde ne rencontre pas un obstacle ou lorsqu'il n'y a pas changement d'impédances du milieu. Elle correspond à la partie réelle de l'impédance de rayonnement. Tandis que l'énergie échangée entre la source et le milieu de propagation correspond à la partie imaginaire de l'impédance du rayonnement.

Signalons que dans cet article l'accent, sera mis sur l'impédance de rayonnement car c'est une grandeur qui nous permettra à caractériser le mieux les quantités d'énergie mises en jeu lors de la propagation des ondes acoustiques.

Ces énergies seront étudiées suivant les modèles des sources omnidirectives et directives.

2 METHODES ET MATERIELS

Tout travail scientifique doit avoir une certaine méthode et technique pour son élaboration et aussi des matériels adéquats pour l'expérimentation. C'est ainsi, dans cet article, nous avons jugé utile d'utiliser la méthode analytique qui nous a permis à analyser les différentes sources de rayonnement des ondes acoustiques, à partir de certaines relations nous conduisant à la simulation en s'appuyant sur les documents publiés par d'autres chercheurs. Dans les sciences exactes, les matériels utilisés sont souvent des logiciels pour des études à l'échelle microscopique au laboratoire [4]. Pour notre cas, nous avons fait le choix sur l'encarta math et le Matlab.

3 RAYONNEMENT DES SOURCES OMNIDIRECTIVES

Les ondes acoustiques sont émises dans un milieu possédant une impédance. La propagation des ondes acoustiques dans n'importe quel milieu possède une énergie. L'impédance du milieu influence la propagation des ondes acoustiques et son énergie peut être nuisible à l'oreille d'un auditeur lorsque les valeurs admissibles sont dépassées.

Dans ce paragraphe, nous allons mettre à la disposition d'installateurs des matériels de sonorisation des relations mathématiques très simples et souples à utiliser afin de rester dans les normes de la propagation des ondes acoustiques dans un milieu quelconque. Pour se faire, l'accent est mis sur l'impédance de rayonnement et aussi la puissance rayonnée par une source sonore.

3.1 IMPEDANCE DE RAYONNEMENT D'UNE SPHERE PULSANTE.

Nous allons considérer ici la source sphérique pulsante où chaque élément de surface ds exerce sur le fluide une force df_o (fig. 1)

Dans le cas de la membrane vibrant à l'extrémité d'un tube de section constante [5], pour la sphère pulsante vibrant avec une vitesse efficace va , l'impédance de rayonnement Z_R est définie comme l'indique la relation (1) suivante:

$$Z_R = 4\pi \int \frac{df_o}{va} = 4\pi a^2 Z_s(a) \quad (1)$$

Avec: $Z_s(a)$ la valeur de l'impédance acoustique spécifique de l'onde sphérique en $r = a$

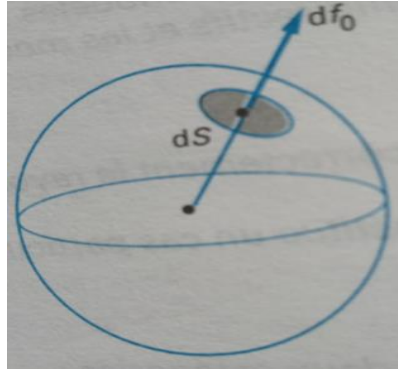


Fig. 1. Représentation de la sphère pulsante comme source de rayonnement omnidirective

Connaissant que:

$$Z_S(r) = \rho_0 C \left(\frac{k^2 r^2}{1+k^2 r^2} + j \frac{kr}{1+k^2 r^2} \right) \quad (2)$$

D'où la relation (1) s'écrira comme:

$$Z_R(a) = 4\pi a^2 \rho_0 C \left(\frac{k^2 a^2}{1+k^2 a^2} + j \frac{ka}{1+k^2 a^2} \right) \quad (3)$$

En définissant la résistance acoustique spécifique réduite (R_{asr}) par:

$$R_{asr} = \frac{k^2 a^2}{1+k^2 a^2} \quad (4)$$

D'où la résistance de rayonnement de la sphère pulsante (R_{rs}) sera donnée par la relation (5) :

$$R_{rs} = 4\pi a^2 \rho_0 C R_{asr} \quad (5)$$

En appliquant le principe de l'électrodynamique [6], la puissance rayonnée par la résistance de rayonnement de la sphère pulsante sera calculée par la relation (6) ci-après:

$$P_r = 4\pi a^2 \rho_0 C R_{asr} v_a^2 \quad (6)$$

3.2 PUISSANCE RAYONNEE PAR LA SPHERE PULSANTE

D'une façon générale, la puissance rayonnée par une sphère pulsante (P_s) peut être également définie comme celle traversant une surface sphérique quelconque de rayon $r > a$.

L'intensité, par définition, étant le flux d'énergie traversant une unité de surface pendant l'unité de temps [7], la puissance rayonnée par une sphère pulsante est donnée comme le montre la relation (7).

$$P_s = 4\pi r^2 I(r) \quad (7)$$

La relation (8) indique la puissance rayonnée par une sphère pulsante de rayon unité.

$$P_s = 4\pi r^2 I(1) \quad (8)$$

En considérant la relation (6), qui est celle de la puissance rayonnée par une résistance de rayonnement, en admettant que la longueur d'ondes est très grande devant le rayon de la sphère, nous aurons la relation (9).

$$P_r = 4\pi a^2 \rho_0 C v_a^2 k^2 a^2 \quad (9)$$

En prenant v_{max} mme l'amplitude vibratoire maximale de l'onde, la relation (9) devient:

$$P_r = 4\pi a^2 \rho_0 C v_{\max}^2 k^2 a^2 \quad (10)$$

En considérant l'hypothèse où, à 1 m d'une source omnidirective, les conditions de champ lointain sont respectées, alors la source dans ce cas pourra être assimilée à un monopole de débit q induisant une pression d'amplitude (p_m) à 1 m

D'où la relation (11) suivante:

$$p_m(1) = \frac{\rho_0 C}{4\pi} k q_a = \frac{1}{2} \rho_0 f q_a \quad (11)$$

C'est ainsi que la puissance rayonnée par ce monopole (P_m) sera calculée par la relation (12)

$$P_m = \frac{\rho_0^2}{8\pi} k^2 q_a^2 \quad (12)$$

4 RAYONNEMENT DES SOURCES DIRECTIVES

4.1 NOTIONS RELATIVES AU FACTEUR DE DIRECTIVITE D'UNE SOURCE À SYMETRIE DE REVOLUTION

Nous devons retenir que l'énergie rayonnée par des corps vibrants provoque le rayonnement des ondes acoustiques. Elle n'est pas émise de façon uniforme dans toutes les directions. En dehors du cas de la sphère pulsante (cfr 3.1), tous les émetteurs acoustiques rayonnent suivant une loi $H(\theta, \varphi)$ qui varie avec une fréquence (figure 2).

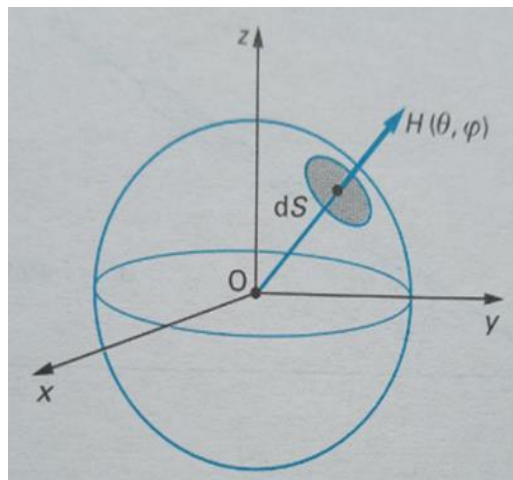


Fig. 2. Fonction de directivité d'une source $H(\theta)$

En considérant une fonction $H(\theta)$ définissant la directivité de l'émetteur dépendant de l'angle que fait la direction d'émission avec l'axe de référence et aussi de la puissance d'une source directive, on peut alors définir un rapport appelé: facteur de directivité Q .

$$Q = \frac{P_{ax}^2(r)}{P_{sph}^2(r)} = \frac{P_{ax}^2(1)}{P_{sph}^2(1)} \quad (13)$$

Les figures 3 et 4 montrent respectivement une puissance émise par une source dans un angle solide élémentaire $d\Omega$ et de surface élémentaire d'intégration ds d'une fonction de directivité.

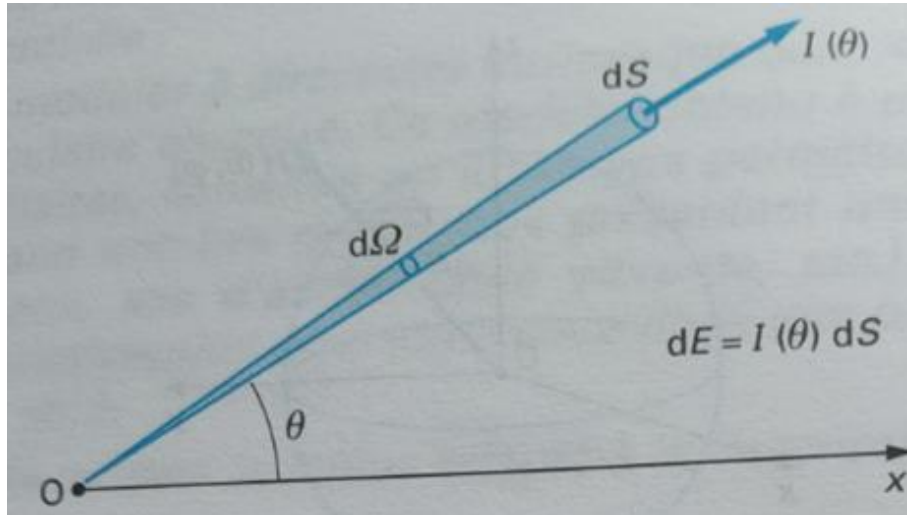


Fig. 3. Puissance émise par une source dans un angle solide élémentaire $d\Omega$

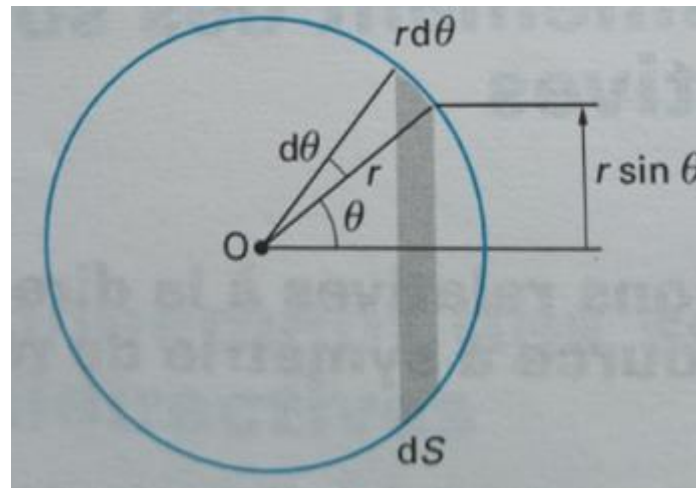


Fig. 4. Surface élémentaire dS d'une fonction de directivité

Avec le principe de la trigonométrie sphérique, une surface élémentaire d'après la figure 4 s'écrit comme le montre la relation (14)

$$dS = 2\pi r^2 \sin \theta d\theta \quad (14)$$

A partir de la relation (14), nous pouvons calculer la surface de rayonnement des ondes acoustiques en tenant compte de l'angle que fait la direction d'émission avec l'axe de référence. D'où, la relation (15)

$$S 2\pi r = 2 \int \sin \theta d\theta \quad (15)$$

Les figures 5 et 6 montrent que les surfaces de rayonnement des ondes sonores en 3 D en coordonnées cylindriques et sphériques dépendent de l'angle que fait la source sonore avec l'axe de référence.

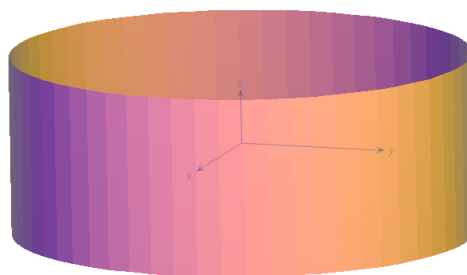


Fig. 5. Surface de rayonnement d'une source sonore en 3D en coordonnées cylindriques

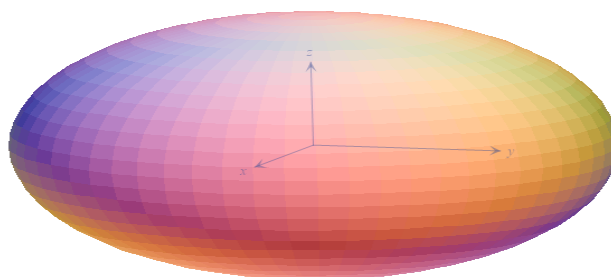


Fig. 6. Surface de rayonnement d'une source sonore en 3D en coordonnées sphériques

La variation de l'impédance de rayonnement dans un milieu à 2D d'une source des ondes acoustiques est montrée par la figure 7 ci-dessous.

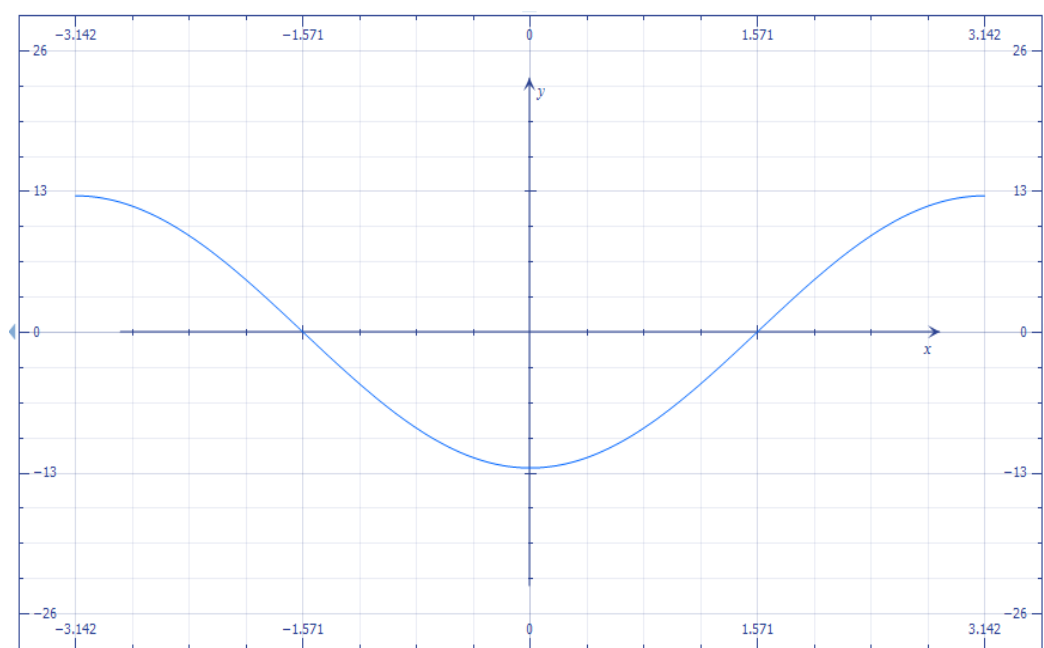


Fig. 7. Variation de l'impédance de rayonnement dans un milieu à 2D d'une source des ondes acoustiques

4.2 DIRECTIVITÉ DE PLUSIEURS MONOPÔLES

Comme nous avons évoqué au début de cette publication, nous n'allons pas se perdre par des formules très complexes.

Cette publication d'adresse particulièrement aux installateurs des sources sonores au profit des églises, campagne d'évangélisation, terrasse, buvette, milieux publics, etc pour leur sonorisation. C'est ainsi, nous signalons que la directivité de plusieurs monopoles peut s'obtenir par association de:

- Deux monopoles synchrones;
- Deux monopoles en opposition de phase;
- Monopoles synchrones alignés et équidistants.

4.3 SOURCES DIRECTIVES

Nous avons vu que tout corps vibrant rayonne une fraction de son énergie dans l'espace environnant, par exemple à l'intérieur d'une église, d'une terrasse, d'un bar etc. où les ondes acoustiques doivent avoir un sens physique afin d'éviter d'effets psychologiques gênants et nuisibles au niveau des timbres d'un auditeur.

Ce rayonnement ne s'effectue pas avec une répartition énergétique uniforme dans toutes les directions bien que le milieu de propagation soit pour la plupart de cas homogène et isotrope [8].

Dans cette publication, nous allons donner aux installateurs des sources de rayonnement des ondes acoustiques deux approches à considérer lors de la mise en place des enceintes acoustiques, à savoir:

- Cas du piston plan encastré
 - Cas d'une électroacoustique
1. Dans le cas du piston plan encastré, l'installateur doit tenir compte des caractéristiques fondamentales suivantes:
 - Fonction de directivité à pression $h(\theta)$

Elle sera calculée par la relation (16) suivante:

$$h(\theta) = \frac{2J_1(ka \sin[\theta])}{ka \sin \theta} \quad (16)$$

- Résistance acoustique spécifique réduite R_{sr}

$$R_{sr} = 1 - \frac{J_1(2ka)}{ka} \quad (17)$$

- Facteur de directivité Q

$$Q = \frac{k^2 a^2}{R_{sr}} \quad (18)$$

- Puissance rayonnée

$$P_r = \frac{\pi}{2} a^2 \rho_0 C R_{sr} v_o^2 \quad (19)$$

La figure 8 montre la variation de la fonction de directivité avec l'angle que font la source sonore et l'axe de référence.

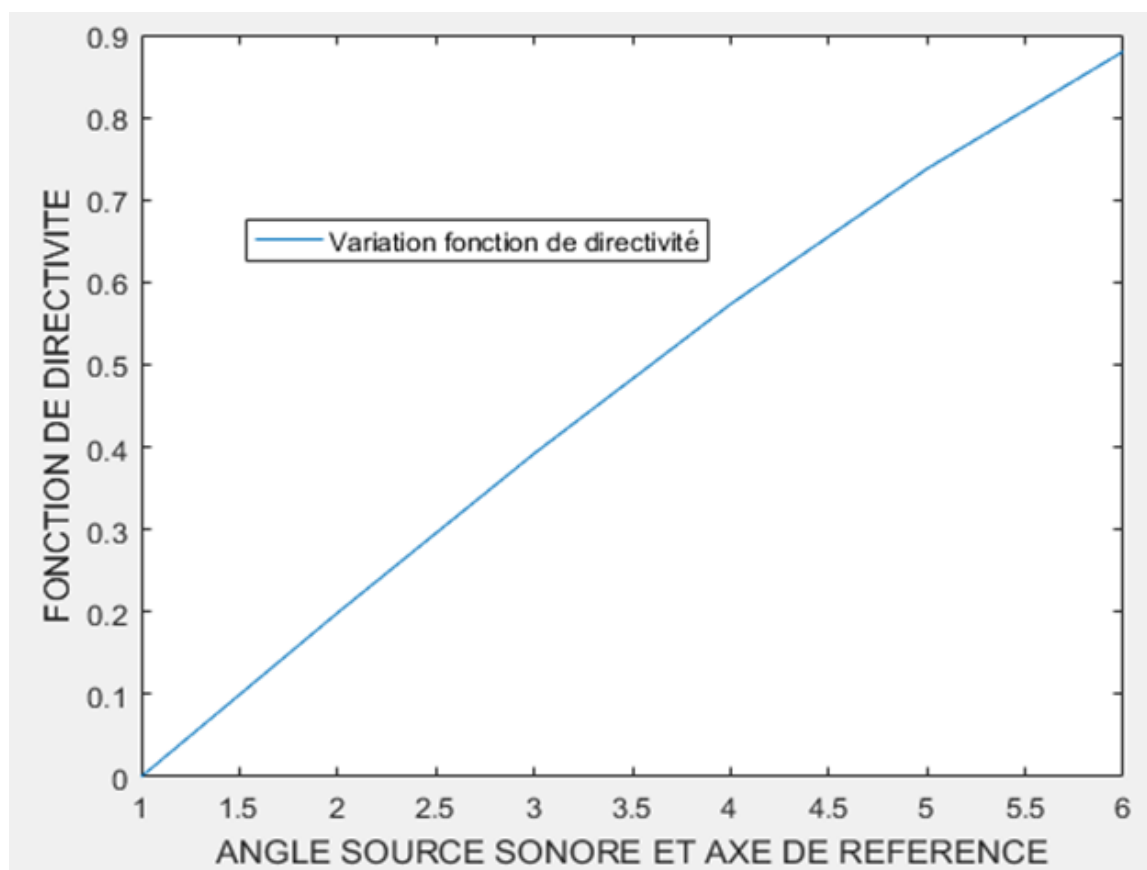


Fig. 8. Variation de la fonction de directivité avec l'angle que font la source sonore et l'axe de référence

2. Pour le cas d'une source électroacoustique, l'installateur doit faire un bon choix sur le transducteur à utiliser en tenant compte des éléments ci-dessous:

- Impédance du transducteur;
- Impédance de haut porteur;
- Milieu de propagation des ondes acoustiques;
- Surface de rayonnement des ondes acoustiques.

5 INTERPRETATION DES RESULTATS

La relation (1) montre que l'impédance de rayonnement joue un rôle très important dans l'adaptation de l'impédance entre la source des ondes sonores et le milieu de propagation.

La puissance rayonnée tient compte de la résistance de rayonnement de la source et les timbres de l'auditeur et aussi de l'amplitude vibratoire de l'onde. Cela a été demandé par la relation (6). Enfin, les figures 5 et 6 montrent que la surface de rayonnement des ondes sonores, quelles que soient les coordonnées dépend de l'angle que fait la source sonore avec l'axe de référence.

6 CONCLUSION

Dans cet article, nous venons d'étudier les différents paramètres entrant en jeu dans la propagation des ondes acoustiques afin d'éviter les effets psychologiques gênants et nuisibles au niveau des timbres de l'auditeur. Pour cela, l'installateur des sources sonores doit tenir compte de l'impédance de rayonnement de la source, de l'énergie rayonnée par la source et aussi du milieu de transport ou de propagation des ondes acoustiques. A la fin de la publication, un conseil a été donné aux installateurs des sources de sonorisation, dans l'exercice de leur métier, à tenir compte des éléments suivants:

Impédance des transducteurs d'entrée (microphone) et de sortie (haut-parleur), de milieu de propagation et de la surface de rayonnement des ondes acoustiques.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier le chef du Département de physique et Sciences Appliquées de l'Université Pédagogique Nationale (UPN) Kinshasa/Binza, RD Congo, le Professeur ONEMA LAMA pour l'autorisation à pouvoir mener des recherches au laboratoire du Département sous sa Direction.

REFERENCES

- [1] Avain, P., Perception de l'intensité, de la hauteur et du timbre des sons, Vol TEB1, ne E5 5120, 2011, Paris.
- [2] Jouhaneau, J., *Propagation des ondes acoustiques*, Vol TEB1, ne TE 5130, chaîne d'acoustique au conservatoire des arts et métiers, 2018, Paris.
- [3] Kisoki, H., *Traitement du Signal*, Editions Universitaires Européennes (EUE), 2023, United Kingdom.
- [4] Kisoki, H., Optimisation de la numérisation dans la gestion du système des Fréquences radioélectriques dans la Ville Province de Kinshasa, ISSN 2028-9324 Vol.41, ne 3 janvier 2024, pp, 758-764, Innovative Space of Scientific Research Journals.
- [5] Jouhaneau, J., *propagation des ondes acoustiques*, Vol TEB1, 5130, chaîne d'acoustique au conservatoire des arts et métiers, 2018, Paris.
- [6] Kisoki, H., *Etude de mouvement d'une particule chargée en électrodynamique*, ISSN 2028-9324 Vol.40; N°3 septembre 2023, pp 1007-1015, Innovative Space of Scientific Research Journals.
- [7] Rossi, M., *Electroacoustique*, Presses Polytechniques romandes 1986.
- [8] Yvon, G., *la fonction visuelle*, Vol TEB1 n° te 5175, 2011, Paris.

Etude comparative des collecteurs (T3Y, AERO MX5149, FLOMIN C7160 et du melange KAX/MIXTURE RINKALORE10) sur les performances de la flottation du minerai du REMBLAI R022 de KZC

[Comparative study of collectors (T3Y, AERO MX5149, FLOMIN C7160 and KAX/MIXTURE RINKALORE10 mixture) on the performance of flotation of ore from KZC embankment R022]

Kyungu Lukomba Demers, Kaij Kanz Ntet Tony, Mwenge Kahinda Jhon, Mucaïl A. Mucaïl Teddy, Kashala Kapalola Jean Luc, Mutala Kabimbi Martin, and Kumwimba Masengo Clarisse

Commissariat Général à l'Energie Atomique, Ministère de la Recherche Scientifique, Lubumbashi, RD Congo

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

ABSTRACT: GECAMINES often uses the minerals from the R022 embankment to feed the Kolwezi concentrator when there is a shortage of deposits.

The objective pursued is to make a comparative study of the collectors (T3Y, FlominC7160, AERO MX5149 and KAX/MixtureRinkalore10 mixture) on the flotation performances of the mineral from the R022 embankment rich in chrysocolla grading 3.23% copper and 1.6% cobalt at the concentrator.

Flotation tests were carried out using T3Y as a collector under the conditions of the reagents in use regime, at the end of which we have:

26.3% copper recovery yield with a content of 19.29% for the head concentrate and 73.8% copper recovery yield with a content of 6.99% for the rough concentrate with a rejection depletion of 0.98%.

So, these results constituted the reference conditions for our work.

Other tests were carried out to compare the performances of T3Y to FlominC7160 collectors, AEROMX5149 and KAX/MixtureRinkalore10 on the copper-cobalt ore of the R022 embankment.

It appears from the tests that the use of FlominC7160 gave good performances for copper. The best performance was deduced at the dose of 6 g/t with 50.2% copper recovery yield and a copper content of 28.21% for the head concentrate, 88.8% copper recovery yield with 12.49% copper content for the rough concentrate with a rejection depletion of 0.91%. The FlominC7160 collector therefore allowed good selectivity.

KEYWORDS: concentrator, flotation, collectors, reagents, performance, selectivity, copper, cobalt.

RESUME: La GECAMINES souvent à court de gisement utilise les minerais du remblai R022 pour alimenter le concentrateur de Kolwezi.

L'objectif poursuivi est de faire une étude comparative des collecteurs (T3Y, FlominC7160, AERO MX5149 et mélange KAX/MixtureRinkalore10) sur les performances de la flottation du minerai du remblai R022 riche en chrysocolle titrant en cuivre 3,23% et 1,6% en cobalt au concentrateur.

Des essais de flottation ont été effectués en utilisant le T3Y comme collecteur dans les conditions du régime des réactifs en usage, à l'issue desquels on a:

26,3% de rendement de récupération en cuivre avec une teneur de 19,29% pour le concentré de tête et 73,8% de rendement de récupération en cuivre avec une teneur de 6,99% pour le concentré ébauché avec un appauvrissement en rejet de 0,98%.

Ainsi donc ces résultats ont constitué les conditions de référence pour notre travail.

D'autres essais ont été réalisés en vue de comparer les performances du T3Y aux collecteurs FlominC7160, à l'AEROMX5149 et au KAX/MixtureRinkalore10 sur le minerai cuprocobaltifère du remblai R022.

Il ressort des essais que l'usage du FlominC7160 a donné des bonnes performances pour le cuivre. On a déduit la meilleure performance à la dose de 6 g/t avec 50,2% de rendement de récupération en cuivre et une teneur de 28,21% en cuivre pour le concentré de tête, 88,8% de rendement de récupération en cuivre avec 12,49% de teneur en cuivre pour le concentré ébauché avec un appauvrissement en rejet de 0,91%. Le collecteur FlominC7160 a donc permis une bonne sélectivité.

MOTS-CLEFS: concentrateur, flottation, collecteurs, réactifs, performance, sélectivité, cuivre, cobalt.

1 INTRODUCTION

Le concentrateur de Kolwezi (KZC) produit par flottation un concentré riche en cuivre et en cobalt titrant respectivement 18,2 % Cu et 2,8 % Co. Il est actuellement alimenté par du minerai provenant de la mine à ciel ouvert de KINGAMYAMBO ou des anciens remblais de la Gécamines en cas de non approvisionnement par la mine. La teneur de coupure est fixée à 2,5 % pour le Cu et 0,6 % pour le Co. Le concentré obtenu est directement expédié pour l'extraction du cuivre et cobalt aux usines hydrométallurgiques de Shituru à Likasi.

Plusieurs travaux ont été initiés par la Gécamines portant sur l'étude des conditions permettant d'améliorer la flottation des minerais stockés sous forme des remblais aux airs de stockage dans l'enceinte même de KZC. Ces différents remblais servent de tampon pour alimenter l'usine en cas d'absence de minerai pouvant être due au fait que la Gécamines est souvent à court de gisement bien connu pour son exploitation. C'est en vue de pallier à cette problématique que le Département de Contrôle d'Exploitation du concentrateur de Kolwezi a initié plusieurs études de traitements de ces remblais.

Outre les objectifs généraux (préparation de l'échantillon, caractérisation du minerai, détermination des doses optimales, etc.), l'objectif spécifique de notre étude réalisée au LABO/KZC est de faire une étude comparative de ces collecteurs sur les performances de la flottation du minerai de notre remblai et voir par la suite qui donnerait premièrement un meilleur concentré de tête et un bon rendement de récupération du cuivre comme métal principal suivie de celui du cobalt et deuxièmement voir le réactif qui pourrait le plus appauvrir le rejet en teneur cuivre à moins de 0,95 %.

L'intérêt de ce travail est de permettre enfin à KZC d'alimenter seul le remblai R022 riche en chrysocolle afin d'obtenir des concentrés riches en teneur cuivre avec de bons rendements de récupération.

2 MATERIEL ET METHODE

2.1 ECHANTILLONNAGE

L'échantillon sur lequel nous avons mené notre étude provient des carrières de MUSONOI, MUPINE, KOV et MUTOSHI stockés actuellement aux airs de stockage 022, c'est un minerais oxydé cuprocobaltifère et dont le remblai est indexé R022.



Fig. 1. Vue (1 et 2) des Air de stockage du remblai R022

En vue de réduire la masse de notre minerai, notre composite de 40 Kg a été fragmenté dans un concasseur à mâchoire ARBED puis tamisé sur un tamis de 8 mesh.

Avant de soumettre notre échantillon à la caractérisation c'est-à-dire à une analyse minéralogique, chimique et granulochimique, ce dernier a été homogénéisé par la méthode de quartage en utilisant un diviseur à riffles. L'échantillon ainsi obtenu après homogénéisation a été placé à l'étuve.

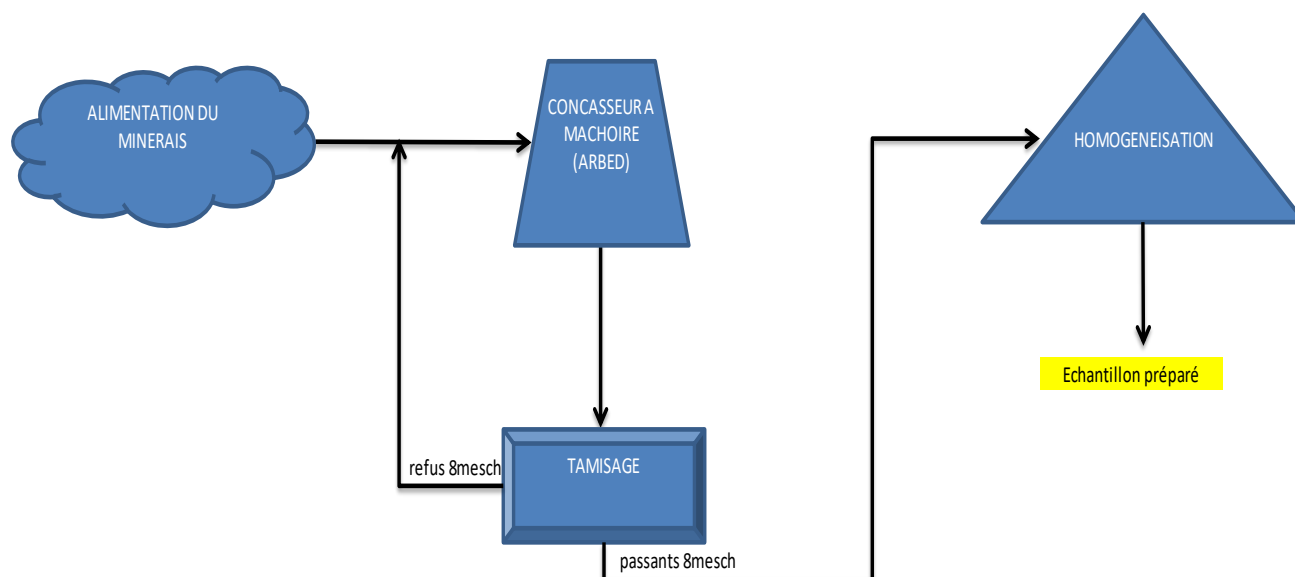


Fig. 2. Les différentes étapes pour l'obtention d'un échantillon au laboratoire

2.2 MATÉRIEL UTILISÉ

L'échantillonnage s'est fait en utilisant le matériel suivant:

- Une bêche;
- Un sac afin de porter l'échantillon;
- Un concasseur à mâchoires de type ARBED;
- Un tamis de 8mesh;
- Une balance électronique;
- Un diviseur pour l'homogénéisation de l'échantillon;
- Un Etuve



Fig. 3. (1) minerais alimenté au concasseur et (2) Passant au tamis de 8 mesh après concassage

2.3 CARACTERISATION DE L'ECHANTILLON

Après concassage les passants au tamis de 8mesh ont fait l'objet d'une série de caractérisation à savoir une analyse minéralogique, une analyse chimique, une analyse granulochimique et un test de broyabilité. Mais étant donné que pour la flottation on exige à KZC 30 % de refus au passant de 200 mesh un broyage sera effectué sur les passants du tamis de 8 mesh avant la caractérisation granulochimique.

2.3.1 ANALYSE MINÉRALOGIQUE

L'analyse minéralogique de l'échantillon effectuée par le Département d'Etudes Métallurgiques (EMT) de Likasi à l'aide du microscope stéréoscopique, révèle la présence des minéraux suivants:

- Comme minéraux de cuivre: une prédominance de Chrysocolle $\text{CuSiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ et la présence de la Malachite $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})$;
- Comme minéral de cobalt: l'heterogénite $\text{CoO} \cdot 3\text{Co}_2\text{O}_3 \cdot \text{CuO} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$;
- Comme minéraux de gangue: le quartz, oxydes de fer, limonite, goetite, argile.

2.3.2 ANALYSE CHIMIQUE

2.3.2.1 MATÉRIEL UTILISÉ

Le but de l'analyse chimique est de déterminer les éléments constitutifs de l'échantillon et leurs proportions. Dans le cas du minerai de remblai R022 faisant l'objet de notre étude, l'analyse chimique a été effectuée par le laboratoire EMT/KZC en utilisant les appareils et matériels suivants:

- Un porte échantillon;
- Une spatule;
- Un bécher;
- Un diffractomètre à Rayons X;
- Un spectromètre d'absorption atomique.

2.3.2.2 RÉSULTATS D'ANALYSES

L'analyse de notre échantillon de minerai du remblai R022 a été réalisée grâce aux appareils vus dans la figure 4 et a révélé la présence des composés repris dans le tableau V.1 suivants.

Tableau 1. Analyse chimique complète de l'échantillon du remblai R022

Elément ou composé	Teneur	Elément ou composé	Teneur
Cu_{Tot}	3,23	CaO _{Tot}	3,26
Cu_{ox}	2,4	CaO _{Sol}	1,09
Co_{tot}	0,16	SiO ₂	71,1
MgO_{Tot}	2,22	Al ₂ O ₃	11,21
MgO_{Sol}	0,32	Fe _{Tot}	2,25



Fig. 4. *Diffractomètre des rayons X à gauche et le spectromètre d'absorption atomique à droite*

L'examen du tableau fournit les renseignements suivants:

- 74,30 % du cuivre total se présente sous forme oxydée ;
- En ce qui concerne la nature de la gangue de notre minerai, selon la classification Gécamines elle est de nature dolomitique. En effet, la relation ci-dessus permet de le confirmer compte tenu de la valeur du rapport $\%Cu_{Tot}/CaO_{sol}$ qui est de:
 $3,23/1,09 = 2,96 < 15$;

Sa gangue justifie le choix de la flottation par sulfuration qui sera notre cas.

2.3.3 DETERMINATION DU TEMPS DE BROyage DE L'ECHANTILLON

L'objectif de notre test de broyabilité est de fixer un temps de broyage nécessaire pour atteindre une granulométrie voulue, pour notre cas nous devons réduire notre minerai de -8mesh à une granulométrie d'un d_{70} de $75\mu m$ (200 mesh). Ce temps est déterminé à partir d'une courbe tracée à différents temps de broyage de passant au tamis de $75\mu m$.

2.3.3.1 MATÉRIEL UTILISÉ

- Broyeur à boulets du laboratoire ayant les caractéristiques suivantes:
 - vitesse de rotation: 123 tours/min;
 - longueur: 285 mm;
 - diamètre: 183 mm;
 - masse des corps broyants: 7 kg de boulets de diamètre compris entre 12,5 et 35 mm;
- Balance électronique;
- Chronomètre;
- Tamis de 200 mesh (S/ TYLER);
- Pans;
- Étuve.

Voici en image les quelques matériels utilisés lors de notre caractérisation au labo/KZC présentés ci-dessous.



Fig. 5. Matériel utilisé au laboratoire (chronomètre, broyeur à boulet, balance, étuve et pan)

2.3.3.2 MODE OPÉRATOIRE

- Peser 1000 g de minerai auxquels on ajoute 1000 ml d'eau dans le broyeur afin d'obtenir une dilution de 50/50;
- Exécuter plusieurs broyages à différents temps, dans le cas présent, les temps suivants ont été retenus: 0, 5, 10, 15 et 20 minutes;
- Tamiser à la maille de 200 mesh la décharge du broyeur;
- Sécher et déterminer chaque fois le poids et le pourcentage de refus au tamis de 200 mesh;
- Tracer la courbe de broyabilité en portant en abscisse les différents temps de broyage et en ordonnées les pourcentages poids des refus à 200 mesh;
- Déterminer sur la courbe, le temps correspondant à 30 % de refus à 200 mesh donc faire correspondre l'ordonnée à son abscisse.

2.3.3.3 RÉSULTATS D'ANALYSES

Le tableau, nous donne les résultats des essais de broyage et la figure nous donne sa représentation graphique.

Tableau 2. Résultats de l'étude de broyabilité de l'échantillon R022

Temps de broyage (minutes)	Poids d'alimentation(g)	Poids refus +200mesch(g)	Proportion de la fraction +200mesch
0	1000	700	70
5	1000	440	44
10	1000	290	29
15	1000	175	17,5
20	1000	105	10,5

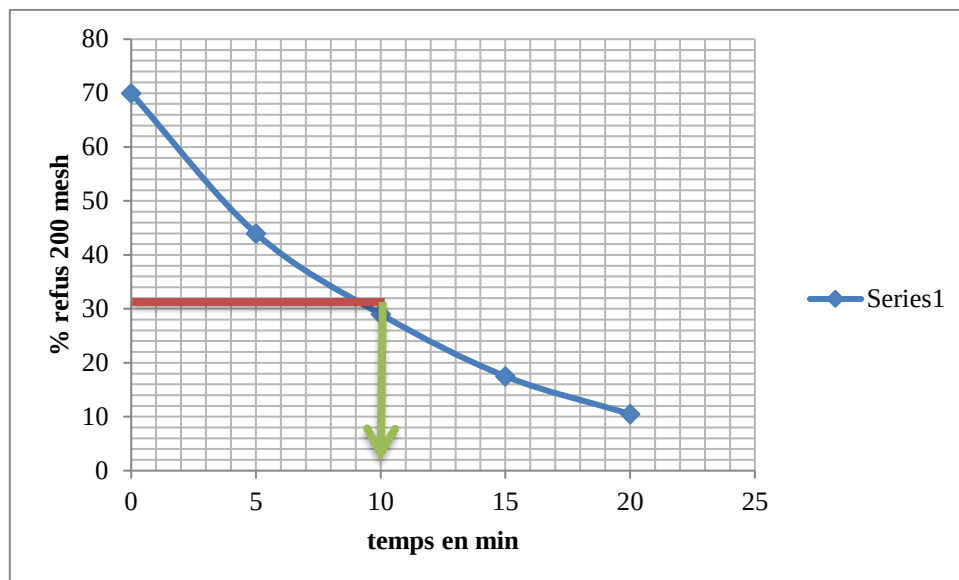


Fig. 6. Courbe de broyabilité de l'échantillon R022

En se référant à la figure V.6, il ressort de la courbe de broyabilité que le temps de broyage correspondant à 30 % de refus au tamis de 200 mesh est de 9 minutes et 45 secondes.

2.3.4 ANALYSE GRANULOCHIMIQUE DE L'ÉCHANTILLON

L'analyse granulométrique est définie comme étant la séparation d'un ensemble de particules en fonction de leur grosseur afin d'obtenir des ensembles de particules appelées fractions granulométriques; les fractions granulométriques ont été soumises à l'analyse chimique pour le cuivre et le cobalt. Le but poursuivi dans cette étude est de déterminer la répartition du cuivre et cobalt dans chaque fraction fine, moyenne ou grossière.

2.3.4.1 MATÉRIEL UTILISÉ

- Un jeu de tamis de la série de TYLER de 28, 35, 48, 65, 100, 150, 200, 270 et 325 mesh;
- Un tamiseur de marque MACSLAB (ROTAPE);
- Une balance électronique de marque SARTORUIS;
- Une minuterie.

2.3.4.2 PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE

- Peser 1000 g de minerai auxquels on ajoute 1000 ml d'eau dans le broyeur à boulets du laboratoire pour obtenir une pulpe à dilution dans le rapport 1/1;
- Exécuter le broyage pendant 9 minutes et 44 secondes;
- Tamiser la pulpe sur un tamis de 325 mesh (45 μ m);
- Sécher les refus et les passants de 45 μ m obtenus dans l'étuve durant 24 h;
- Tamiser les refus de 45 μ m sur le ROTAPE en utilisant le jeu de 9 tamis;
- Mêler la fraction de -45 μ m obtenue par tamisage sur le rotape avec les passants de 45 μ m préalablement séché à l'étuve;
- Peser les poids des refus des différents tamis et déterminer leurs proportions en pourcentage;
- Faire analyser les métaux cuivre et cobalt de chaque fraction granulométrique;
- Calculer les répartitions.



Fig. 7. (a) Tamisage des refus de 45µm sur le rotape et (b) Tamisage à l'eau

2.3.4.3 RÉSULTATS D'ANALYSES

Les résultats d'analyse granulochimique de notre minerai sont repris dans le tableau 3.

Tableau 3. Analyse granulochimique du minerai du remblai R022

Tamis (mesh)	Masse(g)	Masse(%)	CUIVRE		COBALT	
			Teneur	Répartition	Teneur	Répartition
+28	5	0,51	4,26	0,70	0,18	0,59
-28 +35	5	0,51	2,58	0,42	0,22	0,72
-35 +48	10	1,02	2,55	0,84	0,25	1,64
-48 +65	55	5,61	2,45	4,46	0,2	7,22
-65 +100	35	3,57	2,63	3,05	0,18	4,13
-100 +150	105	10,71	2,9	10,09	0,16	11,03
-150 +200	105	10,71	3	10,44	0,16	11,03
-200 +270	130	13,26	2,93	12,63	0,14	11,95
-270 +325	30	3,061	2,6	2,58	0,12	2,36
-325	500	51,02	3,3	54,72	0,15	49,27
Alim	980	100		100		100

Au vu des résultats consignés dans le tableau IV.3, les commentaires suivants peuvent être formulés:

- environ 29 % de cuivre et 36 % de cobalt sont contenus dans la fraction supérieur à 200 mesh.
- environ 15,18 % de cuivre et 14,26 % de cobalt se retrouvent dans la fraction -200 +325 mesh;
- et 54,72 % de cuivre et 49,27 % de cobalt sont compris dans la fraction -325 mesh.

2.3.5 INVENTAIRE DES MOYENS UTILISES POUR LES ESSAIS DE FLOTTATION

2.3.5.1 MATÉRIEL UTILISÉ

Pour l'accomplissement des essais de flottation, on a employé les matériels suivants:

- Une machine de flottation de laboratoire de marque DENVER;
- Un broyeur à boulet;
- Une étuve;
- Des pans pour recueillir la mousse chargée des particules;
- Une raclette en caoutchouc;
- Une balance électronique;

- Un chronomètre;
- Un erlen meyer;
- Des pipettes;
- Des seringues de 1cc, 2cc, 5cc et 10cc;
- Des emballages 0.5.

2.3.5.2 RÉACTIFS UTILISÉS

Les réactifs cités ci-dessous ont été utilisés lors de nos essais en campagne de sulfuration:

- Le nahs: Le sulfhydrate de sodium, qui est un agent sulfurant préparé à une concentration de 240 g/l.

Le calcul de la dose se fait comme suit: (% Cu + % Co) x 800 g/t

- Le T3Y: Collecteur composé du KAX à 80%, du Tall oil à 10% et du Rinkalore à 10%, préparé à une concentration de 55 g/l.

Le calcul de la dose:

$$\frac{\text{dose NaHS} \left[\frac{g}{t} \right]}{8}$$

- La mixture rinkalore10: c'est le second collecteur. Il s'agit d'un collecteur à longue chaîne qui va jouer sur la récupération. Elle est préparée à 10 % dans l'eau sous émulsion et elle comprend: 73 % rinkalore10, 24 % Gasoil et 3 % tall oil.
- La mixture dolomitique: collectrice d'appoint composé du Gasoil à 70% et du Rinkalore à 30%, préparé à une concentration de 860 g/l.

Le calcul de la dose:

$$\frac{T3Y \left[\frac{g}{t} \right]}{2}$$

- Le senfroth G41: agent moussant préparé à une concentration de 900g/l.

Le calcul de la dose G41:

$$\frac{\text{Dose M.D} \left[\frac{g}{t} \right]}{2}$$

- Le silicate de sodium: agent jouant 2 rôles de dispersant pour les fines particules et déprimants pour la gangue, préparé à une concentration variant entre 100 et 300 g/l.
- Le Booster: agent activant de cobalt, préparé à 50 g/l.
- La mixture rinkalore10: acides gras utilisé comme une mixture composé de Rinkalore à 75 % et du Gasoil à 25 % stabilisée par du carbonate de sodium.
- Flomin C7160: collecteur huileux de allyl amyl xanthate ester / isopropyl ethyl thionocarbamate, sont des excellents collecteurs pour the metallic copper, molybdenite et sulfidized base metal oxides.
- AERO MX5149: collecteur huileux de thionocarbamate modifié, elle est prise comme collecteur principale en remplaçant les xanthates, elle donne des biens meilleurs résultats lorsque les grains sont bien broyés.

Vues les faibles quantités de réactifs à utiliser au laboratoire il est commode de convertir les quantités des doses en volume de solution de réactif. Pour les réactifs utilisés en solution, la conversion des quantités en volume de solution se fait à l'aide de la formule suivante:

$$V = \frac{m.C1}{10.C2}$$

Avec:

- V: volume de la solution du réactif [ml];
- m: masse de minerai à flotter [kg];

- C1: masse en gramme de réactif à utiliser pour traiter une tonne de minerai [g/t];
- C2: concentration en pourcentage pondéral du réactif considéré dans sa solution de laboratoire [%].

Par exemple, pour la flottation au laboratoire de 1 kg de minerai, 10 g/t de AERO MX5149 correspondant à un volume V de la solution de AERO MX5149 à 100 % est égal à:

$$V = \frac{1 \times 10}{10 \times 100} = 0.01 \text{ ml} = 10 \text{ } \mu\text{l}$$

2.3.5.3 MODE OPÉRATOIRE

Voici la procédure que nous avons suivie pour nos essais:

- Peser 1000 g de l'échantillon et le placer dans le broyeur à boulet;
- Ajouter 1 litre d'eau et 7 kg des corps broyant dans le broyeur à boulet;
- Réaliser le broyage humide pendant 9 min et 45 sec;
- Recueillir la pulpe dans la cellule de flottation;
- Réaliser la flottation dans les conditions précises des tests élaborés comme suit;
- Ajouter les réactifs tout en observant le temps de conditionnement nécessaire pour un mélange homogène. Ce temps est de 5 minutes;
- Admettre de l'air après le conditionnement pour recueillir la mousse. La flottation se fait pendant 6 minutes.
- Ajuster le pH autour de 9;
- On récupère la première fraction après 30 secondes; la deuxième fraction après 90 secondes et la troisième fraction après 4 minutes;
- Le rejet est recueilli en fin de flottation puis il est séché pour analyse. Il en est de même pour les différentes fractions et;
- Après séchage, les solides sont pesés avant de prélever les échantillons pour analyse.

Nos essais de flottation se sont réalisés suivant le schéma représenté à la figure 8 ci-dessous.

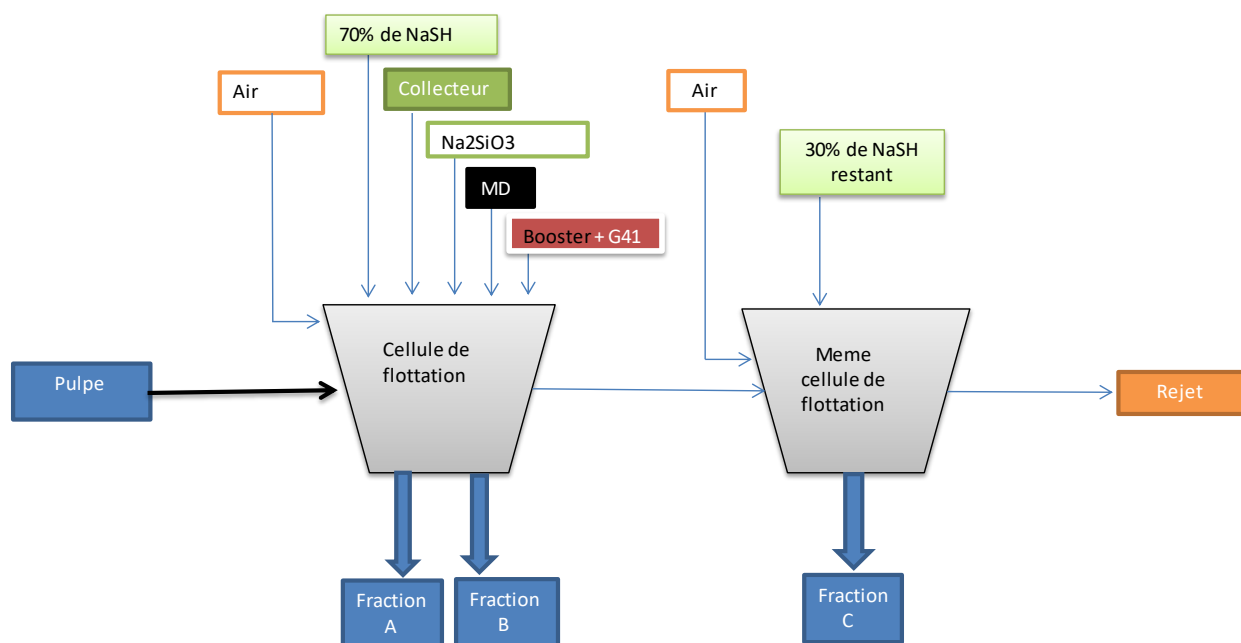


Fig. 8. Schéma des essais de flottation

Voici, ci-dessous, la figure 9 qui représente en image le déroulement d'un essai de flottation.



Fig. 9. Essai de flottation avec le denver

3 RESULTATS

3.1 PRESENTATION DES ESSAIS

Notre travail est une étude comparative des performances métallurgiques du T3Y, du Flomin C7160, de l'AERO MX5149 et du rapport KAX/RINKALORE10 utilisés comme collecteur sur la flottation d'un minerai oxydé cuprocobaltifère du remblai R022 alimenté seul.

Partant de cela, nos essais de flottation ont été réalisés suivants la méthodologie ci-après:

1. Le tout premier essai de flottation (essai de référence) a été réalisé dans les conditions d'usine du concentrateur de Kolwezi avec le T3Y comme collecteur,
2. La deuxième série d'essais de flottation a été réalisé dans le but de vérifier et de déterminer la dose optimale des différents réactifs de flottation avec le T3Y comme collecteur,
3. La troisième série d'essais est une étude comparative des performances métallurgiques du T3Y, du FlominC7160, de l'AERO MX5149 et du rapport KAX/RINKALORE10 utilisé comme collecteur pour la flottation. Et l'un des objectifs visés étant également d'avoir un rejet inférieur à 95% de cuivre.

Pour cela on a effectué: la détermination de la dose optimale du FlominC7160; la détermination de la dose optimale de l'AERO MX5149 et la détermination de la dose optimale du mélange KAX/RINKALORE10 (KAX/MR10).

Toutefois il faudra noter que la proportion du mélange KAX/MR10 à varier dans ces rapports 50/50, 75/25 et 25/75.

Pour se faire, nous avons retenus deux types de critères pour l'évaluation des résultats des essais de flottation, à savoir: la teneur en Cuivre et Cobalt du concentré ainsi que le rendement de récupération du Cuivre et du Cobalt.

3.2 PREMIERE SERIE D'ESSAI (ESSAI DE REFERENCE)

3.2.1 DOSE

Les conditions initiales sont les suivantes:

- Densité pulpe: 1300;
- Granulométrie: $d_{70} = 74$ microns;
- Temps de conditionnement: 5 minutes.

Les doses des réactifs sont les suivantes:

C'est sur base de la dose de NaHS que l'on détermine la proportion des autres réactifs à l'exception du silicate et booster.

$$\text{NaHS} = (\% \text{Cu} + \% \text{Co}) \times 800 = (3,23 + 0,16) \times 800 = 2712 \text{ g/t}$$

La suite des doses des réactifs est reprise dans le tableau qui suit:

Tableau 4. Dose des réactifs aux conditions standards d'usine

Réactif	Proportion par rapport au NaHS	Dose g/t
T3Y	$\frac{\text{Dose NaHS}}{8}$	339 g/t
Mixture dolo	$\frac{\text{Dose T3Y}}{2}$	169 g/t
G41	$\frac{\text{Dose Mixture dolo}}{2}$	84,75 g/t
Silicate		200 g/t
Booster		40 g/t

3.2.2 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Les résultats de cet essai sont présentés dans le tableau VI.2:

Tableau 5. Synthèse de résultat métallurgique aux conditions standard de l'usine

ESSAI	FRACTION	CUIVRE		COBALT	
		Teneur(%)	Rdt(%)	Teneur(%)	Rdt(%)
KL-1	Conc de tete	19,29	26,3	0,31	7,5
	Conc éb	6,99	73,83	0,22	42,33

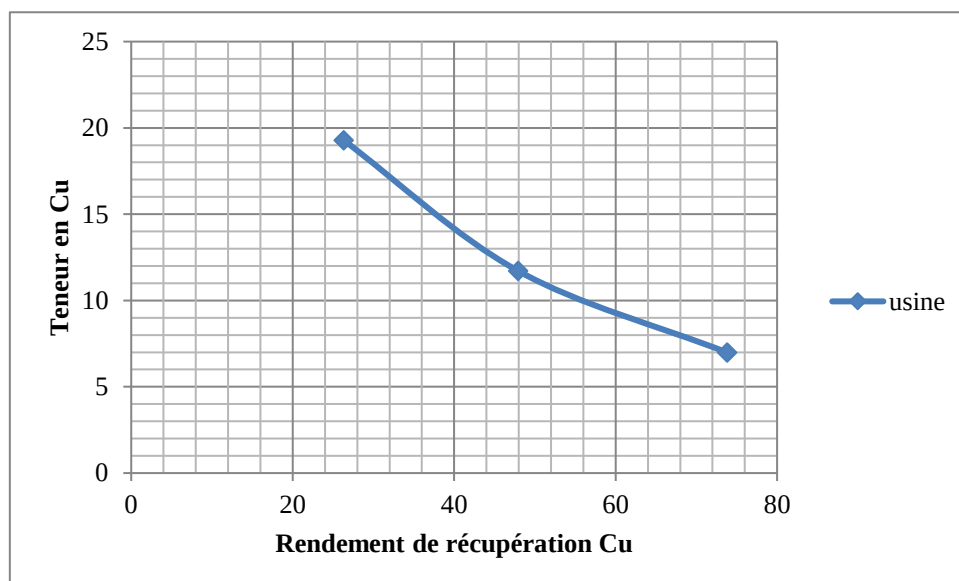


Fig. 10. Evolution de la teneur cuivre en fonction du rendement de récupération cuivre aux conditions standards de l'usine

En examinant la figure et tableaux ci-dessus, on déduit ce qui suit:

- Les résultats de cet essai montrent que nous avons atteint pour le concentré de tête un rendement de récupération de 26,3 % avec une teneur en cuivre de 19,29 % et nous avons atteint pour le concentré ébauché un rendement de récupération de 73,8 % avec une teneur en cuivre de 6,99 %.
- Une analyse minéralogique des rejets (voir annexe) indique pour le cuivre une forte proportion de chrysocolle suivi de la malachite et pour le cobalt de l'hétérogonite avec le quartz, l'oxyde de fer, la goéthite comme minéral de la gangue.
- La forte proportion de chrysocolle dans les rejets indique que le minéral n'a pas flotté correctement et le cuivre présent dans le concentré pourrait être en majorité celui sous forme de malachite, ceci confirme que la chrysocolle flotte réellement mal et c'est pourquoi le remblai r022 n'est jamais alimenté seul.

3.3 DEUXIEME SERIE D'ESSAI DE FLOTTATION

La deuxième série d'essai de flottation a été réalisé dans le but de vérifier et de déterminer la dose optimale des différents réactifs de flottation avec le T3Y comme collecteur.

3.3.1 ESSAI D'OPTIMISATION DE LA DOSE DE T3Y

Une série de trois essais ont été effectués à différentes doses du T3Y (0, 200 et 300 g/t). Les doses du NaHS, du Silicate et de la MD sont maintenues respectivement à 2712 g/t, 200 g/t et 169,5 g/t; le senfroth G41 et le booster maintenues à 84,75 g/t et 40 g/t; les résultats métallurgiques sont donnés dans le tableau avec illustration graphique sur les figures qui suivent:

Tableau 6. Synthèse de résultats métallurgiques des essais d'optimisation de la dose T3Y

ESSAI	FRACTION	CUIVRE		COBALT		DOSE(T3Y)
		Teneur(%)	Rdt(%)	Teneur(%)	Rdt(%)	
KL-9	Conc de tête	7,56	15	0,18	6,5	0g/t
	Conc éb	5,77	38,9	0,19	22,6	
KL-10	Conc de tête	12,74	28,7	0,24	10,9	200g/t
	Conc éb	7,33	73,1	0,22	43,5	
KL-11	Conc de tête	13,5	28	0,24	10,1	300g/t
	Conc éb	7,85	72,2	0,23	43,4	

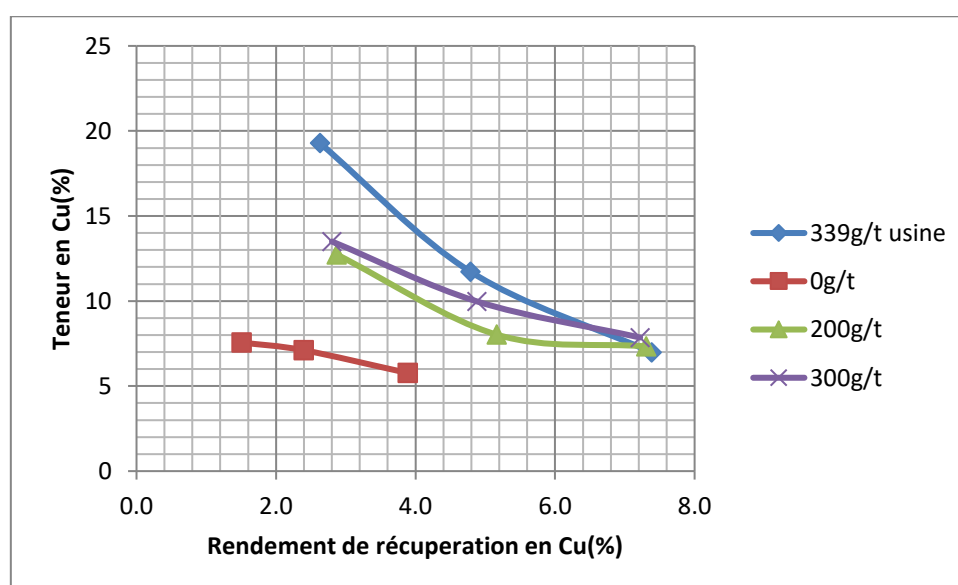


Fig. 11. Evolution de la teneur cuivre en fonction du rendement de récupération cuivre à chaque dose de T3Y

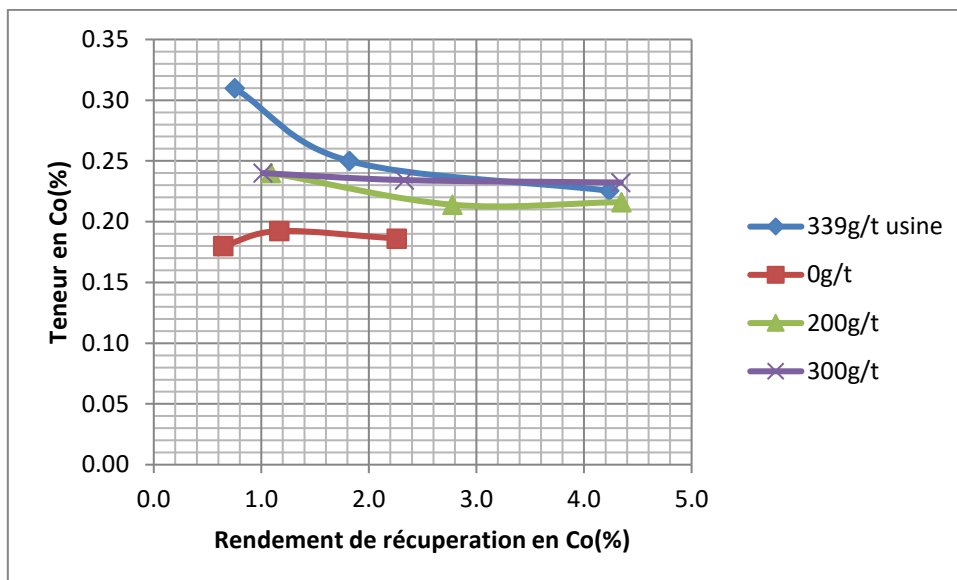


Fig. 12. Evolution de la teneur cobalt en fonction du rendement de récupération cobalt à chaque dose de T3Y

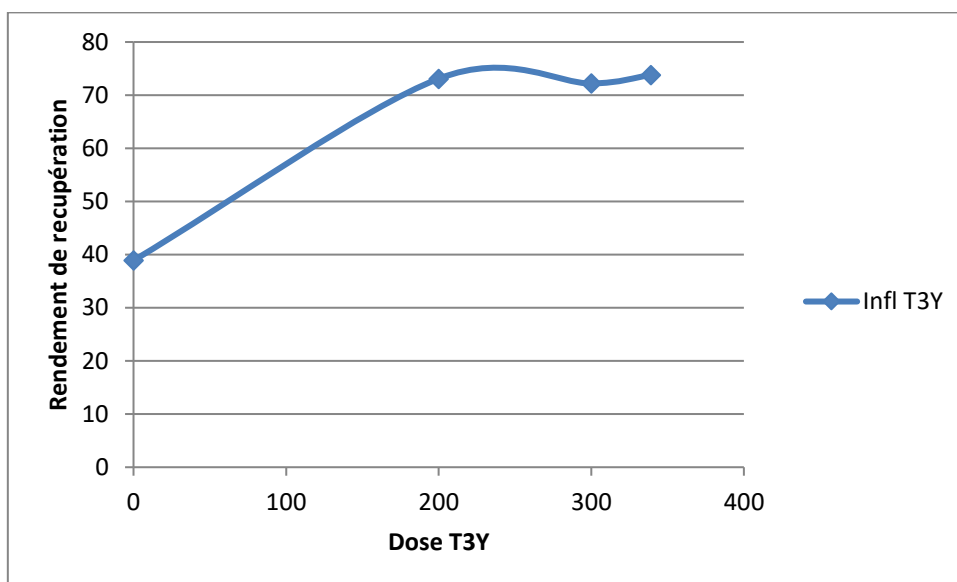


Fig. 13. Influence de la dose T3Y en fonction du rendement de récupération cuivre

En examinant les figures et tableau ci-dessus, on déduit ce qui suit:

- Par rapport à la courbe de sélectivité on constate que l'ajout du collecteur, étant donné que les doses choisies sont plus basse que celle que nous devons avoir avec la correspondance de la quantité de NaHS on a une influence positive sur les performances métallurgiques.

A 339 g/t on a atteint la valeur optimale et en deçà de 339 g/t l'allure décroissante de la courbe serait peut-être due au fait qu'en deçà de la dose nécessaire le déficit de la dose réduit ainsi la récupération des minéraux utiles.

- Les figures montrent que la qualité du concentré est améliorée avec l'augmentation de la dose du T3Y jusqu'à la dose de 339 g/t. Comme les meilleures performances métallurgiques sont obtenues à 339 g/t de T3Y, nous avons donc retenu cette dose comme étant optimale.

3.3.2 ESSAI D'OPTIMISATION DE LA DOSE DE L'AERO MX5149 COMME COLLECTEUR PRINCIPALE

Cinq essais ont été réalisés pour voir l'influence sur la flottation de l'AERO MX5149 aux doses suivantes: 20 g/t, 40 g/t, 60 g/t, 80 g/t et 100 g/t. Les doses du NaHS et de la MD sont maintenues respectivement à 2712 g/t et 169,5 g/t; le senfroth G41 et le booster maintenues à 84,75 g/t et 40 g/t. Le tableau VI.7 repris ci-dessous nous donne la synthèse des résultats métallurgiques obtenus au cours de nos cinq essais de flottation.

Tableau 7. Synthèse de résultats métallurgiques des essais d'optimisation de la dose de l'AERO MX5149

ESSAI	FRACTION	CUIVRE		COBALT		DOSE(MX)
		Teneur(%)	Rdt(%)	Teneur(%)	Rdt(%)	
KL-12	Conc de tête	9,34	11,2	0,22	3,8	20g/t
	Conc éb	4,3	53,5	0,16	29,6	
KL-13	Conc de tête	21,54	20,5	0,38	7,2	40g/t
	Conc éb	7,21	65,1	0,23	41,4	
KL-14	Conc de tête	19,44	29,7	0,25	7,5	60g/t
	Conc éb	6,94	69,9	0,18	36,2	
KL-15	Conc de tête	11	21	0,22	8,8	80g/t
	Conc éb	5,67	70,4	0,17	44,2	
KL-16	Conc de tête	21,54	19	0,38	7,1	100g/t
	Conc éb	7,04	71,3	0,23	48,9	

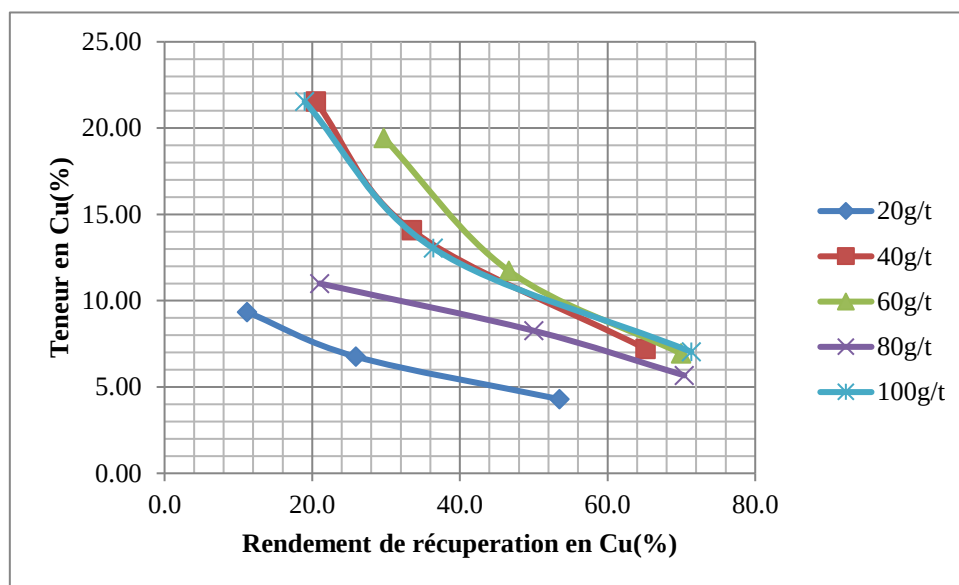


Fig. 14. Evolution de la teneur cuivre en fonction du rendement de récupération cuivre à chaque dose de l'AERO MX5149

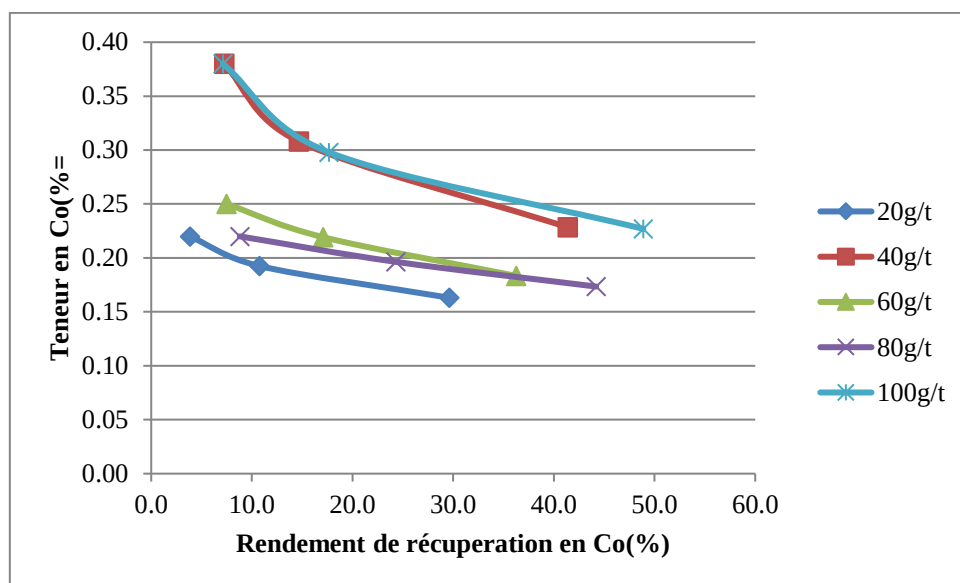


Fig. 15. Evolution de la teneur cobalt en fonction du rendement de récupération cobalt à chaque dose de l'AERO MX5149

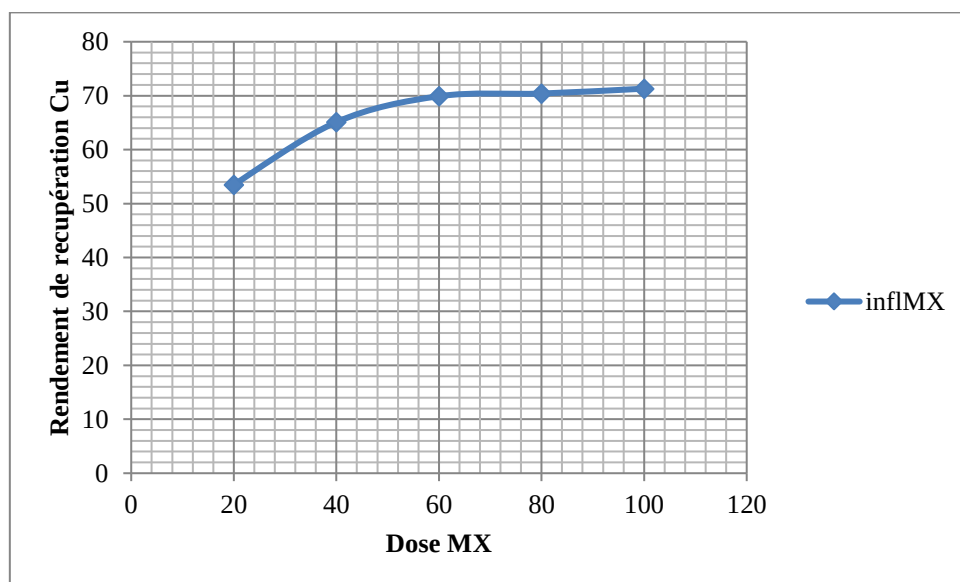


Fig. 16. Influence de la dose de l'AERO MX5149 en fonction du rendement de récupération cuivre

En examinant les figures et tableau ci-dessus, on déduit ce qui suit:

- L'allure de la courbe représentant le rendement de récupération de nos cinq essais en fonction de la dose nous indique une évolution croissante du rendement de récupération du cuivre au fur et à mesure de l'ajout du collecteur.
- Le collecteur est le réactif principal de la flottation, on l'utilise généralement en faible quantité car on utilise essentiellement la dose nécessaire pour la formation d'une couche mono moléculaire sur la surface des particules. Une concentration trop élevée du collecteur tend à flotter les autres minéraux réduisant sa sélectivité et augmentant le coût de production. Pour constater l'utilisation d'une dose excessive de l'aero mx5149 l'allure de la courbe aurait atteint un optimum et serait décroissante après cet optimum. Les doses retenues pour nos essais ne nous permettent pas de dire qu'à 100 g/t nous avons atteint cet optimum.
- L'essai réalisé à 100 g/t de l'aero mx5149 fournit les meilleurs résultats de cette série d'essai, elle se traduit par une légère augmentation du concentré de tête de cuivre (de + 2 %) mais une baisse excessive du rendement de récupération de cuivre de l'ordre de 7 % par rapport aux résultats de l'essai retenu comme référence dans les conditions de KZC.

3.3.3 ESSAI D'OPTIMISATION DE LA DOSE DU FLOMINC7160 COMME COLLECTEUR PRINCIPAL

Cinq essais ont été réalisés pour voir l'influence sur la flottation du Flomin C7160 aux doses suivantes: 2 g/t, 4 g/t, 6 g/t, 8 g/t et 10 g/t. Les doses du NaHS et de la MD sont maintenues respectivement à 2712 g/t et 169,5 g/t; le senfroth G41 et le booster maintenues à 84,75 g/t et 40 g/t. Le tableau VI.8 repris ci-dessus nous donne la synthèse de résultats métallurgiques obtenus au cours de nos cinq essais de flottation.

Tableau 8. Synthèse de résultats métallurgiques des essais d'optimisation de la dose du FlominC7160

ESSAI	FRACTION	CUIVRE		COBALT		DOSE(FloM)
		Teneur(%)	Rdt(%)	Teneur(%)	Rdt(%)	
KL-17	Conc de tête	14,99	30,8	0,27	10,9	2 g/t
	Conc éb	5,40	69,9	0,19	47,9	
KL-18	Conc de tête	24,64	31,4	0,26	6,3	4 g/t
	Conc éb	7,85	73,8	0,21	37,4	
KL-19	Conc de tête	28,21	50,2	0,35	16,2	6 g/t
	Conc éb	12,49	88,8	0,26	48,9	
KL-20	Conc de tête	27,87	31,5	0,47	11,4	8 g/t
	Conc éb	8,56	67,6	0,26	45	
KL-21	Conc de tête	25,91	16,6	0,26	3,6	10 g/t
	Conc éb	8,47	69,4	0,21	37,3	

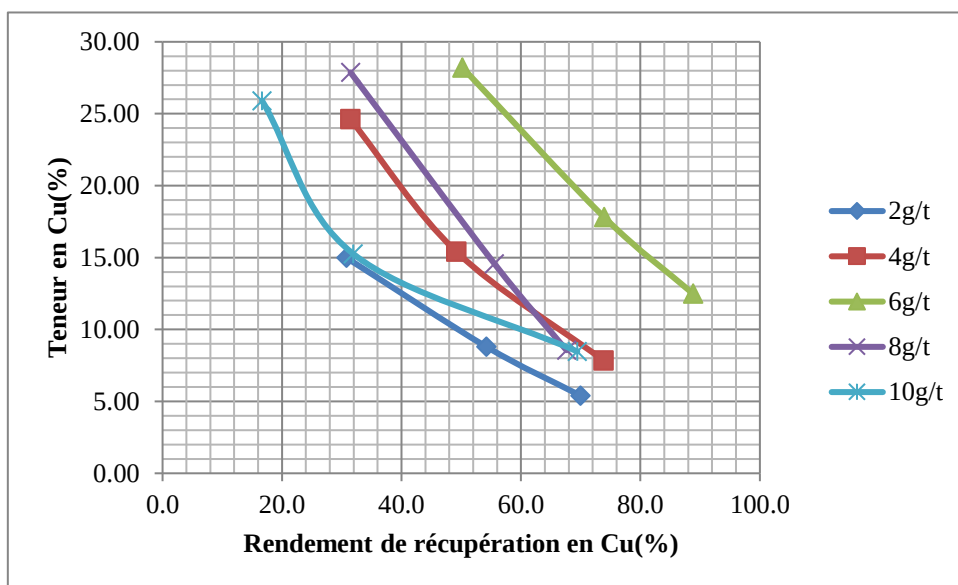


Fig. 17. Evolution de la teneur cuivre en fonction du rendement de récupération cuivre à chaque dose du Flomin C7160

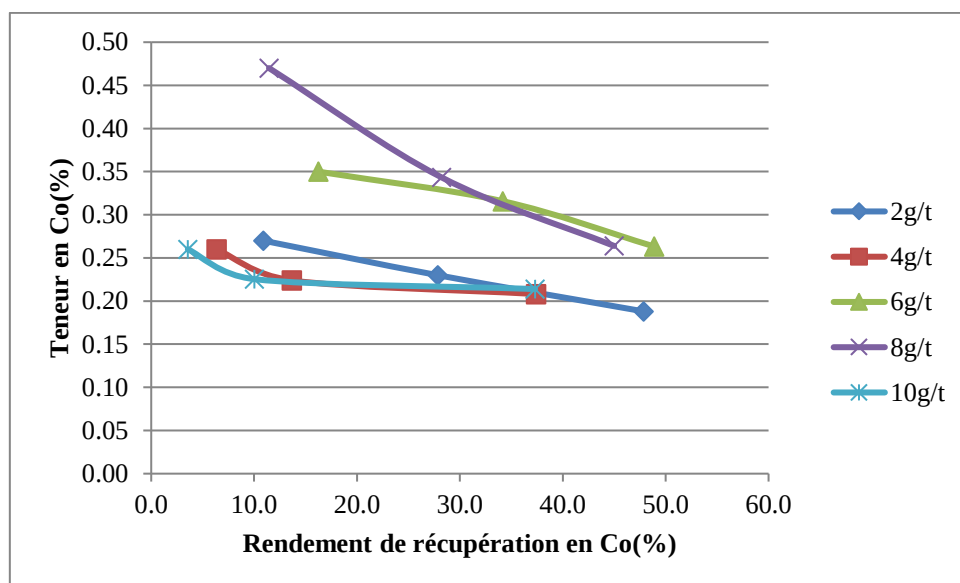


Fig. 18. Evolution de la teneur cobalt en fonction du rendement de récupération cobalt à chaque dose du Flomin C7160

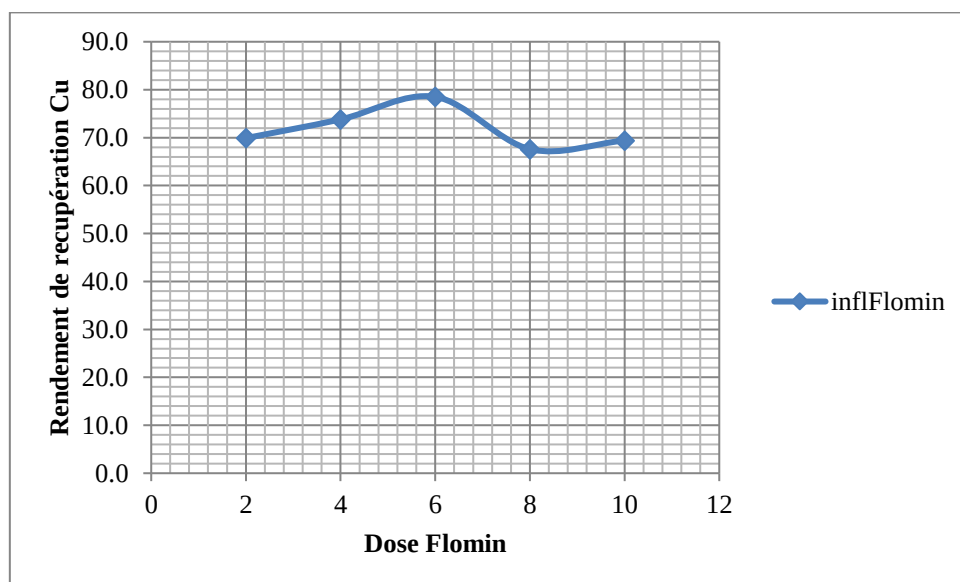


Fig. 19. Influence de la dose du Flomin C7160 en fonction du rendement de récupération cuivre

En examinant les figures et tableau ci-dessus, on déduit ce qui suit:

- L'allure de la courbe du rendement de récupération en fonction de la dose indique que dans la gamme de 2 à 6 g/t, l'allure est en augmentation et atteint un optimum à 6 g/t et qu'après cet optimum l'allure est décroissante.
- Une telle allure pourrait s'interpréter par le fait qu'au-delà de 6 g/t nous atteignons une concentration trop élevée du collecteur, une des conséquences de l'excès du collecteur est celle d'avoir tendance à flotter d'autres minéraux et ainsi réduire la sélectivité et augmenter le coût de production.
- L'analyse des différentes courbes de sélectivité obtenue aux différentes doses de Flomin C7160 comme collecteur indique pour le cas d'ébauchage que le meilleur résultat métallurgique en termes de récupération est obtenu à une dose de 6 g/t au-delà de laquelle la dose du collecteur semble être en excès.
- Il y a une amélioration des performances métallurgiques sur la sélectivité du cuivre, on déduit que l'essai réalisé à 6 g/t de Flomin C7160 fournit les meilleurs résultats de cette série d'essai, elle se traduit par une augmentation considérable de la teneur en cuivre du concentré de tête de + 8,92 % et du rendement de récupération de cuivre de l'ordre de + 23,9 % pour le concentré ébauché on a constaté également une augmentation du concentré ébauché de + 5,5 % et du rendement de

récupération de l'ordre de + 14,97 % par rapport aux résultats de l'essai retenu comme référence dans les conditions de KZC.

3.3.4 ESSAI D'OPTIMISATION DE LA DOSE DU RAPPORT KAX/MR10 COMME COLLECTEUR PRINCIPAL

Cette série d'essais a été effectuée avec le mélange des collecteurs à savoir xanthate et acides gras (KAX et Mixture Rinkalore10) dans certaines proportions à savoir: 75/25, 50/50 et 25/75, et cela, en vue de chercher à améliorer les performances métallurgiques de la flottation par rapport aux conditions de référence. Les doses du NaHS et de la MD sont maintenues respectivement à 2712 g/t et 169,5 g/t; le senfroth G41 et le booster maintenues à 84,75 g/t et 40 g/t; les résultats métallurgiques sont donnés dans le tableau avec illustration graphique sur les figures ci-dessous.

Le tableau VI.9 indique les proportions pondérales des mélanges de collecteurs xanthate/acides gras (KAX/Mixture Rinkalore10) soumises à l'essai.

Tableau 9. Proportions pondérales des collecteurs dans les mélanges testés

KAX (g/t)		300	300	300
Proportion KAX/MR10(%)		75/25 (5)	50/50 (1)	25/75 (0,33)
Mixture Rinkalore10 (g/t)		100	300	900
Composition Mixture Rinkalore10				
Rinkalore10 (g/t)	75%	75	225	675
Gasoil (g/t)	25%	25	75	225

Hormis la variation des doses de collecteurs KAX/mixture Rinkalore10 telle que renseignée ci-avant, tous les autres réactifs ont été utilisés aux mêmes doses que dans les essais de référence.

La synthèse des résultats obtenus en utilisant comme collecteur est consignée dans le tableau 10.

Tableau 10. Synthèse de résultats métallurgiques des essais d'optimisation de la dose du mélange KAX/MR10

ESSAI	FRACTION	CUIVRE		COBALT		DOSE (KAX/MR10)
		Teneur(%)	Rdt(%)	Teneur(%)	Rdt(%)	
KL-23	Conc de tête	20,52	11,5	0,32	3,4	75/25
	Conc éb	4,22	74,2	0,20	67,7	
KL-24	Conc de tête	27,2	34,5	0,52	15,7	50/50
	Conc éb	9,34	82,9	0,27	56,4	
KL-25	Conc de tête	24,53	35,4	0,52	19,1	25/75
	Conc éb	9,83	81,2	0,27	56,7	

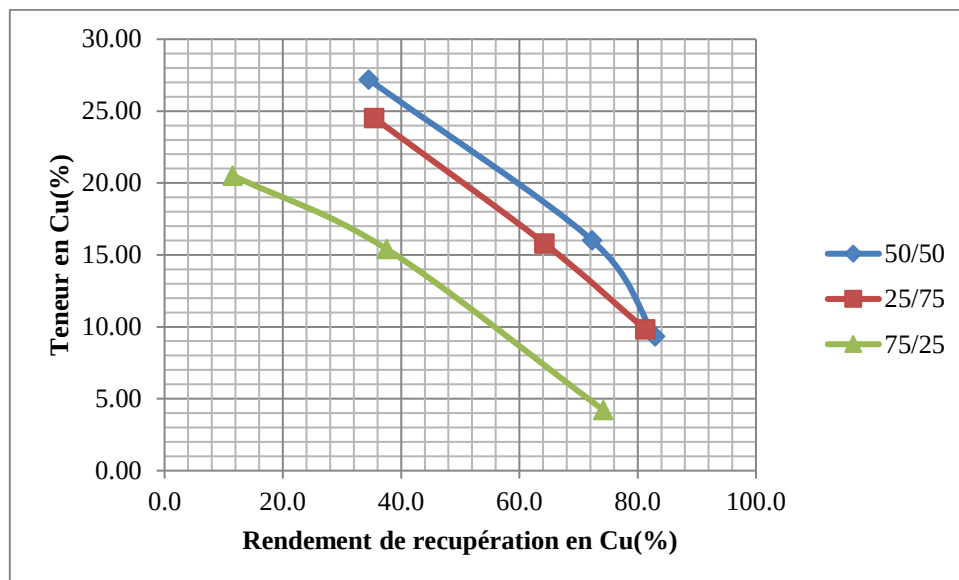


Fig. 20. Evolution de la teneur cuivre en fonction du rendement de récupération cuivre à chaque dose du KAX/MR10

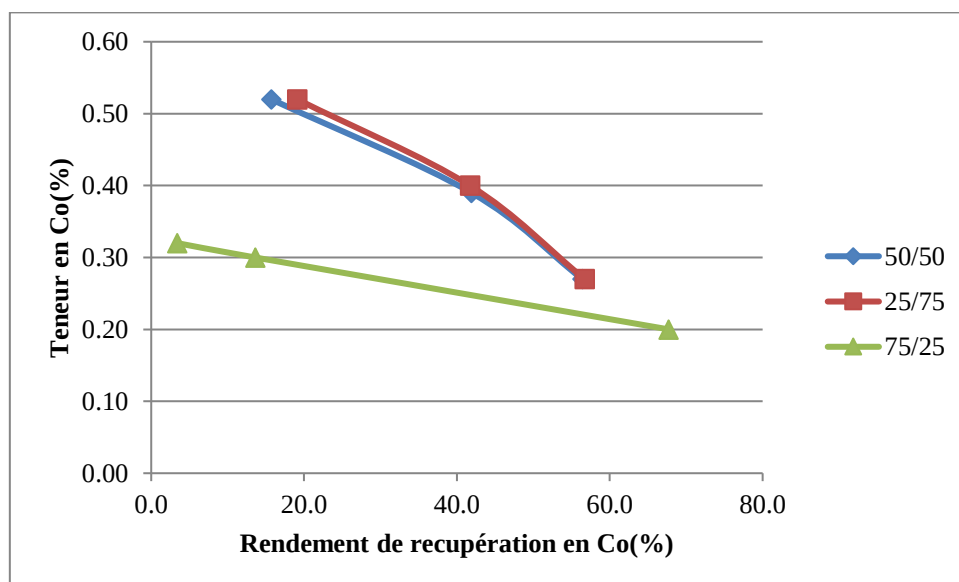


Fig. 21. Evolution de la teneur cobalt en fonction du rendement de récupération cuivre à chaque dose du KAX/MR10

Les résultats du tableau ci-dessus ainsi que les figures montrent que l'effet de synergie semble plus prononcé aux proportions KAX/Mixture Rinkalore10 de 50/50 où l'obtient une augmentation considérable de la teneur en cuivre du concentré de tête (+ 7,91 %) et du rendement de récupération de cuivre de l'ordre de + 8,2 % par contre pour le concentré ébauché on a une légère augmentation du concentré ébauché (+ 2,35 %) et une augmentation du rendement de récupération de l'ordre de + 9,07 % par rapport aux résultats de l'essai retenu comme référence dans les conditions de KZC. Et sur le plan pratique, cela se traduit par la formation d'une mousse coulante abondante et chargée aux fractions de tête, et une mousse épaisse et blanchâtre dans la dernière fraction; signe d'un épuisement poussé (Kanda, 2012).

Nous retenons dans cette partie que pour les trois séries d'essais d'optimisation de la dose de Flomin C7160, de l'AERO MX5149 et du mélange KAX/Mixture Rinkalore10 qui ont été réalisées, il s'est avéré par les résultats obtenus qu'on doit établir une synthèse de tous ces résultats afin de déterminer celui qui aurait répondu à nos objectifs.

3.3.5 SYNTHESE DES MEILLEURS RESULTATS DES DIFFERENTS ESSAIS

En examinant les essais de flottation ayant donné les meilleurs résultats pour la série des essais d'optimisation avec le T3Y (condition de référence), et des essais d'optimisation avec l'AERO MX5149, le Flomin C7160 et le mélange KAX/Mixture Rinkalore10; on a le tableau suivant:

Tableau 11. Meilleurs résultats obtenus pour les essais avec le T3Y (KL-1), avec l'AERO MX5149 (KL-16), avec le Flomin7160 (KL-19) et avec le mélange KAX/MR10 (KL-23)

ESSAI	FRACTION	CUIVRE		COBALT	
		Teneur(%)	Rdt(%)	Teneur(%)	Rdt(%)
KL-1	Conc de tête	19,29	26,3	0,31	7,5
	Conc éb	6,99	73,83	0,22	42,33
KL-16	Conc de tête	21,54	19	0,38	7,1
	Conc éb	7,04	71,3	0,23	48,9
KL-19	Conc de tête	28,21	50,2	0,35	16,2
	Conc éb	12,49	88,8	0,26	48,9
KL-23	Conc de tête	27,2	34,5	0,52	15,7
	Conc éb	9,34	82,9	0,27	56,4

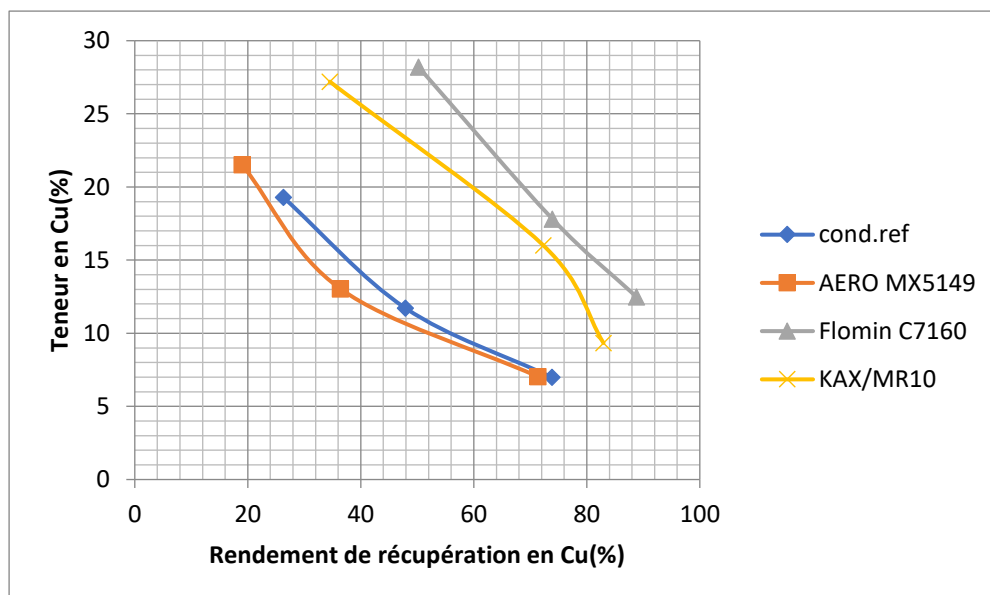


Fig. 22. Evolution de la teneur cuivre en fonction du rendement de récupération cuivre de chaque meilleur résultat

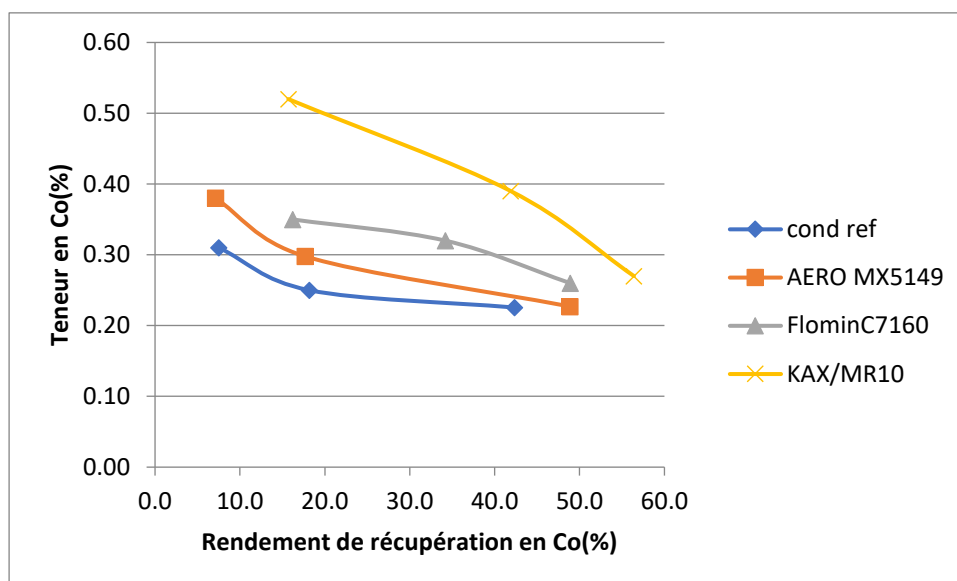


Fig. 23. Evolution de la teneur cuivre en fonction du rendement de récupération cuivre de chaque meilleur résultat

En examinant les figures et tableau ci-dessus, on déduit ce qui suit:

- Le T3Y nous donne des moins bonnes performances métallurgiques par rapport à l'utilisation d'autres collecteurs, on a des bonnes teneurs en cuivre mais pour de rendement de récupération faible pour un rejet de 1,13 %.
- L'aero MX5149 nous offre une nette amélioration sur les performances métallurgiques, on remarque une légère amélioration sur la sélectivité du cuivre et une amélioration considérable sur la sélectivité du cobalt comparativement aux résultats obtenus dans les conditions de référence pour un appauvrissement en rejet de 1,55 %.
- Le flominc7160 nous offre une excellente amélioration sur les performances métallurgiques que celle de l'aero MX5149, on remarque une très bonne sélectivité du cuivre comparativement aux résultats obtenus dans les conditions de référence pour un appauvrissement en rejet de 0,91 %.
- Le mélange KAX/MR10 nous donne aussi une très bonne amélioration des performances métallurgiques sur la sélectivité du cuivre que celle de l'aero MX5149, et donnant aussi une très bonne sélectivité du cobalt comparativement aux résultats obtenus dans les conditions de référence pour un appauvrissement en rejet de 0,93 %.

4 CONCLUSION GENERALE

Dans notre travail, il a été question de faire une étude comparative des performances métallurgiques du T3Y, de l'AERO MX5149, du FlominC7160 et du mélange KAX/Mixture Rinkalore10 utilisé comme collecteur sur le minerai oxydé cuprocobaltifère du remblai R022 à prédominance de la chrysocolle.

La caractérisation de notre échantillon a montré qu'il titre en cuivre et cobalt respectivement 3,23 % et 0,16 %. Il est constitué en majeure partie de la chrysocolle, de la malachite et de l'hétérogénite comme minéraux utiles et le quartz, les oxydes de fer, la limonite, la goéthite ainsi que l'argile comme minéraux de gangue, ensuite il a été soumis aux essais de flottation par sulfuration.

Le tout premier essai de flottation a été réalisé dans les conditions d'usine du concentrateur de Kolwezi. Le but était de maintenir ce premier résultat comme référence pour la suite de nos essais, et les résultats obtenus sont les suivants:

- Dose des réactifs maintenues: 2712 g/t pour le NaHS, 339 g/t pour le T3Y, 169,5 g/t pour le MD, 84,75 g/t pour le G41, 200 g/t pour le Na_2SiO_3 et 40 g/t pour le booster;
- Les teneurs dans le concentré de tête ont été de 19,29 % en cuivre et 0,31 % en cobalt pour des rendements de récupération de 26,3 % pour le cuivre et 7,5 % pour le cobalt;
- Les teneurs dans le concentré ébauché titrent 6,99 % en cuivre et 0,22 % en cobalt pour des rendements de récupération de 73,83 % en cuivre et 42,33 % en cobalt.

La seconde partie des essais de flottation a été réalisée dans le but de vérifier et de déterminer l'optimal de flottabilité avec les réactifs utilisés généralement au concentrateur de Kolwezi. On a donc varié la dose de NaHS (2000 g/t, 4000 g/t et 5000 g/t), de la Mixture dolomitique (200, 250 et 300 g/t), du Na_2SiO_3 (100, 200 et 300 g/t) et du T3Y (0, 200, 300 g/t). Les résultats obtenus sont les suivants:

- Dose des réactifs: 2712 g/t pour le NaHS, 339 g/t pour le T3Y, 169,5 g/t pour le MD, 84,75 g/t pour le G41, 200 g/t pour le Na_2SiO_3 et 40 g/t pour le booster;
- Les teneurs dans le concentré de tête ont été de 19,29 % en cuivre et 0,31 % en cobalt pour des rendements de récupération de 26,3 % pour le cuivre et 7,5 % pour le cobalt;
- Les teneurs dans le concentré ébauché sont de 6,99 % en cuivre et 0,22 % en cobalt pour des rendements de récupération de 73,83 % en cuivre et 42,33 % en cobalt.

On peut dire ici que l'optimal maintenu est la même que celle prise dans les conditions de référence lors de notre premier essai.

La troisième partie des essais de flottation a visé l'utilisation de l'AERO MX5149, du FlominC7160 et du mélange KAX/RINKALORE10 en vue toujours d'atteindre nos objectifs à savoir, obtenir des meilleurs résultats métallurgiques et que l'appauvrissement en rejet soit très poussé. Ces essais ont conduit aux résultats ci-après:

- À la dose de 100 g/t de AERO MX5149, on constate une légère augmentation de la teneur en cuivre du concentré de tête de + 2 % mais une baisse excessive du rendement de récupération en cuivre de l'ordre de 7 % par rapport aux résultats de l'essai avec T3Y retenu comme référence dans les conditions de KZC;
- À la dose de 6 g/t du FlominC7160, on constate une augmentation considérable de la teneur en cuivre du concentré de tête de + 8,92 % et du rendement de récupération en cuivre de l'ordre de + 23,9 %. Pour le concentré ébauché on constate également une augmentation de la teneur en cuivre de + 5,5 % et du rendement de récupération en cuivre de l'ordre de + 14,97 % par rapport aux résultats de l'essai avec le T3Y retenu comme référence dans les conditions de KZC;
- L'utilisation du mélange du KAX/Rinkalore10 pris dans une proportion de 50/50, nous donne aussi une augmentation considérable de la teneur en cuivre du concentré de tête de + 7,91 % et du rendement de récupération de cuivre de l'ordre de + 8,2 %. Par contre pour le concentré ébauché, on a une légère augmentation de la teneur en cuivre de + 2,35 % et une augmentation du rendement de récupération de l'ordre de + 9,07 % par rapport aux résultats de l'essai avec le T3Y retenu comme référence dans les conditions de KZC.

L'utilisation de ces trois collecteurs à savoir le FlominC7160, l'AERO MX5149 et le mélange KAX/RINKALORE10 nous a donné des meilleurs résultats métallurgiques comparativement à celui avec l'utilisation du collecteur T3Y. C'est avec le Flomin C7160 que nous avons obtenu des biens meilleures résultats métallurgiques et avons appauvri le rejet jusqu'à atteindre une teneur de 0,91 %. Nous pouvons conclure en disant que les objectifs que nous sommes fixés ont été tous atteints. Nous suggérons à l'exploitant de continuer les recherches avec d'autres combinaisons de dosage des réactifs et d'autres facteurs afin de donner une option définitive sur l'utilisation du Flomin C7160 sans oublier le caractère économique que cela impliquerait.

REFERENCES

- [1] Blazy P., 1970, La valorisation des minerais, Presse universitaire de France, Paris.
- [2] Bouchard S., 2001, Traitement du minerai, Edition le Griffon d'argile; Québec.
- [3] Bouchard S., 2005, Traitement du minerai, Edition le Griffon d'argile, Polytechnique, Université de Lubumbashi.
- [4] Bulatovic, S.M., 2007. Handbook of Flotation Reagents, Chemistry, Theory and Practice: Flotation of Sulfide Ores, Elsevier Science & Technology Books.
- [5] Cytec., 2010. Mining Chemical Handbook.
- [6] Ek C., et Masson A., 1973, Cours de Minéralurgie et Préparation des minerais, Edition Deroux, Liège.
- [7] Evrard. LM., 1971, Contribution à l'étude de la flottabilité des oxydes hydratés de cobalt du groupe de l'hétérogénite: amélioration de leur flottation à l'aide de l'alkylhydroxamates.
- [8] Fr.wikipedia.org/wiki/Chrysocolle, 2008.
- [9] Fullston, D., Fornasiero, D. Et Ralston, J., (1999), Zeta potential study of the oxidation of copper sulphide minerals. Colloids and surfaces. A: Physicochemical and Engineering.
- [10] Gill, C.B., 1991, Material Benefication, New York: Springer-Verlag.
- [11] Gosselin, A., Blackburn, D., Bergeron, M., 1999, Protocole d'évaluation de la traitabilité des sédiments, des sols et des boues à l'aide des technologies minéralurgique, Sainte-Foy.
- [12] Kalenga P., 1992, Cours de Préparation des minerais, Lubumbashi, Faculté.

- [13] Kamanda M., (2014): Contribution à l'étude de la flottation de minerai cuprocobaltifère à prédominance de chrysocolle à l'aide du rinkalore X1A.
- [14] Kanda J.M., 2012, Etude de la flottabilité de la malachite à l'aide de l'amyl xanthate de potassium et des acides gras. Cas d'étude: Flottation du minerai oxydé de Kamfundwa au Katanga en RD Congo. Thèse de doctorat. Université de Liège.
- [15] Kitobo W., 2009, Dépollution et valorisation des rejets miniers sulfurés du Katanga. Thèse. Université de Liège.
- [16] Richard T.A., 1921, Concentration by flotation, New York: Springer-Verlag.
- [17] Shengo L.M. (2013): Étude du recyclage de l'eau résiduaire dans la flottation des minerais oxydés cuprocobaltifères du gisement de Luiswishi.
- [18] SNFflomin., 2015. Chemical Catalogue.

Effets de la vulnérabilité des transhumants face au changement climatique sur leur moyens d'existence en Afrique de l'Ouest: Cas du Nord-Bénin

[Effects of vulnerability of transhumant herders to climate change on their livelihood in West Africa: Case of North-Benin]

Janvier Egah^{1,2}, Milka Grâce Djakpa¹, Marcel Dato¹, and Néhémie Kotobiodjo¹

¹Laboratoire Société-Environnement, Université de Parakou, Bénin

²Faculté d'Agronomie, Université de Parakou, Bénin

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

ABSTRACT: The article analyzed the effects of vulnerability of transhumant herders to climate change on their livelihood in the North- Benin. A total of 100 herders were surveyed. Data such as perceptions of the manifestations of climate change, the socio-economic characteristics of transhumant herders, the impact of climate risks on livelihoods and livelihoods, the degree of vulnerability of transhumant herders and its determinants, etc. were collected during group and individual interviews using an interview guide and questionnaire. Data were analyzed using discourse analysis, sensitivity matrix, descriptive statistics and linear regression. Reduced rainfall, excessive heat during the day, irregular rainfall, early cessation of rainfall, pockets of drought, excessive heat at night, poor rainfall distribution and late onset of rains are the main perceptions of the manifestations of climate change in Nord-Benin. Flooding, drought and excessive heat are the climatic risks that have the greatest impact on livelihoods, according to the herders. Age and widowhood help to reduce the vulnerability of transhumant herders to climate change. On the other hand, traditional religion and years of experience increase the degree of vulnerability of transhumant herders to climate change. It therefore seems important to take age and widowhood into account to mitigate the adverse effects of climate change on transhumant herders.

KEYWORDS: perception, vulnerability, climate change, transhumant, West Africa.

RESUME: L'article a analysé les effets de la vulnérabilité des transhumants au changement climatique sur leurs moyens d'existence au Nord-Bénin. Au total, 100 transhumants ont été enquêtés dans les communes de Sinendé et de Gogonou. Les perceptions sur les manifestations du changement climatique, les caractéristiques socioéconomiques des transhumants, les incidences des risques climatiques sur les moyens et les modes d'existence, le degré de vulnérabilité des transhumants et ses déterminants, etc. ont été collectés lors des *focus groups* et des entretiens individuels à l'aide d'un guide d'entretien et du questionnaire. Les données ont été analysées à l'aide de l'analyse de discours, de la matrice de sensibilité, de la statistique descriptive et de la régression linéaire. La baisse des pluies, la chaleur excessive en journée, l'irrégularité des pluies, l'arrêt précoce des pluies, les poches de sécheresse, la chaleur excessive les nuits, la mauvaise répartition des pluies et le démarrage tardif des pluies sont les principales perceptions des manifestations du changement climatique. L'inondation, la sécheresse et les chaleurs excessives sont les risques climatiques qui ont plus d'impact sur les modes d'existence selon les transhumants enquêtés. L'âge et le veuvage contribuent à l'atténuation de la vulnérabilité des transhumants face aux affres du changement climatique. Par contre, la religion traditionnelle et le nombre d'années d'expérience aggravent le degré de vulnérabilité des transhumants face au changement climatique. Il paraît donc important de tenir compte de l'âge et du veuvage pour atténuer les conséquences négatives du changement climatique sur les transhumants.

MOTS-CLÉFS: perception, vulnérabilité, changement climatique, transhumant, Afrique de l'Ouest.

1 INTRODUCTION

La variabilité climatique et le changement climatique engendrent des effets néfastes sur les populations et leurs activités dépendant du climat telles que l'agriculture, l'élevage et la pêche en Afrique [1]. La sensibilité et l'incapacité de ces populations et de leurs activités d'agir contre les risques climatiques traduit leur vulnérabilité. La vulnérabilité d'un système dépend donc de l'exposition du système, sa sensibilité et sa capacité d'adaptation face à l'ampleur et à la variation du climat [2]. La vulnérabilité d'un système au changement climatique dépend de son degré d'exposition à la chaleur, de ses caractéristiques socioéconomiques qui vont influencer sa sensibilité à la chaleur et de sa capacité d'adaptation pour prévenir ou faire face à cette chaleur ([3]; [4]). Un ménage est dit vulnérable lorsqu'il est incapable de réagir pour atténuer les effets néfastes des risques climatiques [5]. Ainsi, l'étude de la vulnérabilité d'un système au changement climatique doit analyser la capacité d'adaptation de ce système pour réduire les impacts potentiels liés au degré d'exposition et de sensibilité du système [1]. Ainsi, selon la FAO [6], les populations dépendant plus des ressources naturelles sont plus vulnérables face au changement climatique. Ces populations sont notamment des agriculteurs, des éleveurs et pêcheurs. Mais plus particulièrement les éleveurs des gros ruminants sont relativement plus exposés du fait du caractère extensif ou transhumant de ce mode d'élevage.

Plusieurs études ont été réalisées sur la vulnérabilité des populations face au changement climatique. De ces études, il ressort que le statut socio-économique, le fait de vivre en milieu rural, le faible accès à certains biens et services tels que l'éducation, le marché, le crédit, etc. sont les facteurs qui expliquent la vulnérabilité des populations [7]. Quant à la [6], les populations les plus vulnérables sont celles qui sont violemment frappées par les effets du changement climatique ou celle qui assurent l'essentiel de la production vivrière notamment les petits agriculteurs, les éleveurs, les pêcheurs, les forestiers communautaires, etc. Parallèlement à cela, [8], [9] expliquent la compréhension des causes multiples des crises sociales ou alimentaires dans une logique d'amélioration des moyens d'existence des communautés.

La vulnérabilité au changement climatique est la résultante des trois composantes à savoir l'exposition, la sensibilité et la capacité d'adaptation. L'exposition fait référence aux individus, aux systèmes biologiques, aux services, aux actifs, aux infrastructures, aux ressources financières ou sociales qui subissent les effets du changement climatique [10]. Elle peut être mesurée par un indicateur d'exposition aux risques climatiques. La sensibilité est la mesure dans laquelle un cadre ou un système biologique est influencé, de manière antagoniste ou utile, soit par le changement climatique ou par sa variabilité [1]. La capacité d'adaptation au changement climatique est la capacité des systèmes, des personnes et des différents écosystèmes à faire face ou se conformer aux dommages potentiels, à exploiter les ouvertures ou à réagir à des conséquences variées des changements climatiques (*ibid*). Ainsi, la vulnérabilité d'un individu ou système peut être analysée à travers l'exposition, la sensibilité et la capacité d'adaptation. Dans le cas d'espèce, il s'agit d'analyser la vulnérabilité des transhumants face au changement climatique tout en essayant de caractériser les transhumants enquêtés au Nord-Bénin, d'appréhender leurs perceptions des risques climatiques et d'évaluer les effets des risques climatiques sur les moyens d'existence des transhumants. Le présent article a permis de comprendre comment les risques climatiques affectent les moyens d'existence des transhumants en adoptant une approche méthodologique mixte qui combinent les méthodes qualitatives et quantitatives.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1 ZONE D'ÉTUDE

L'étude a été menée dans les communes de Sinendé et de Gogounou situées respectivement dans les départements du Borgou et de l'Alibori. Deux villages par commune ont fait l'objet d'étude. Dans chaque commune, 50 transhumants ont été enquêtés; soit au total, 100 transhumants enquêtés dans les deux communes. La technique d'échantillonnage a été aléatoire systématique.

Les communes de Sinendé et Gogounou, situés respectivement dans les départements de du Borgou et de l'Alibori se caractérisent par un climat soudanien avec une saison des pluies d'avril à octobre et une saison sèche de novembre à mars. Sur le plan géographique, Sinendé est situé à une latitude de 10°20'41" nord et une longitude de 2°22'45" est, tandis que Gogounou se trouve entre 10°33' et 10°57' de latitude nord et 2°15' et 3°15' de longitude est, à l'entrée sud du département d'Alibori. Ces deux communes abritent un grand effectif de bovins. Le bilan de l'évolution de l'effectif du cheptel bovin de ces deux communes sur les cinq dernières années se présente dans le Tableau 1. Cette région est confrontée à des défis climatiques majeurs. Plusieurs études dans cette région ont constaté une réduction de 11 à 28 % des jours de pluie et une augmentation des températures d'environ 1°C sur une période de 60 ans, aggravant ainsi l'incertitude quant à la disponibilité des ressources alimentaires pour les animaux transhumants, surtout en saison sèche ([11], [12], [13]). Des études récentes menées dans ces zones montrent que les éleveurs ont développé des pratiques endogènes pour mieux s'adapter au changement climatique. En effet, les agriculteurs et les éleveurs de cette zone sont tous confrontés aux effets du changement climatique qui se manifestent essentiellement par les pluies tardives, les poches de sécheresses, les inondations [14], [15]. De plus, la dégradation des terres est un problème majeur dans la plupart des communes. Selon les études de ([16], [17]), 60 % de la superficie arable est menacée de destruction. Bien qu'elle soit soumise aux effets du changement climatique, elle continue d'être une zone de prédilection pour les éleveurs. Le contexte de l'évolution des activités pastorales et surtout de la transhumance offrent un cadre d'analyse pour l'analyse de la vulnérabilité des agro-pasteurs face au changement climatique.

Tableau 1. Evolution du cheptel bovin de 2019 à 2023

Départements	Communes	2019	2020	2021	2022	2023
Alibori	Gogounou	123887	135377	147932	161652	176644
Borgou	Sinendé	50 397	55 071	60 179	65 760	71 859

Source: DSA MAEP, 2024

Pour faire l'échantillonnage, nous avons utilisé une méthode aléatoire raisonnée en se basant sur l'importance de la transhumance et l'adaptation des éleveurs transhumants au changement climatique. Dans un premier temps, des discussions ouvertes ont eu lieu avec les agents des organisations professionnelles nationales et régionales d'éleveurs de bovins (UDOPER) et de l'Association nationale des organisations professionnelles d'éleveurs de ruminants (ANOPER) ainsi que les responsables des Cellules Communales des Agences Territoriale de Développement Agricole (ATDA) des deux communes. Sur la base des informations recueillies, deux villages ont été sélectionnés dans chacune des communes. Il s'agit de Ouèssèkè et Fana dans le district de Gogounou et de Sèkèrè et Didi dans le district de Sinendé. En résumé, 25 éleveurs transhumants ont été sélectionnés de façon aléatoire dans chaque village pour avoir 50 éleveurs transhumants à l'échelle de chaque commune. Au total, 100 éleveurs transhumants ont été donc sélectionnés pour l'étude. La carte de la zone d'étude est présentée par la figure 1.

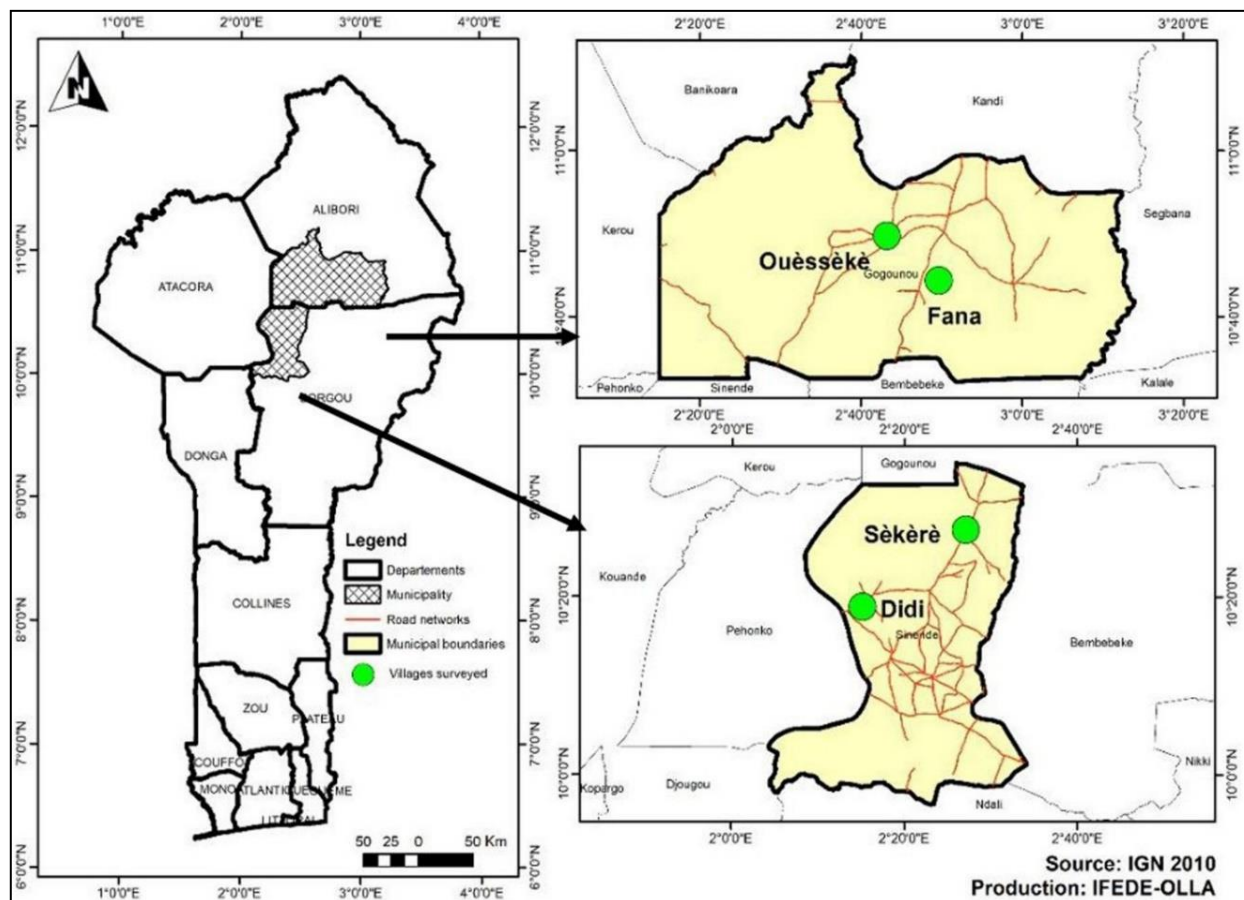


Fig. 1. Carte de la zone d'étude

2.2 METHODE DE COLLECTE ET D'ANALYSE DE LA VULNERABILITE DES TRANSHUMANTS FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

La littérature propose des méthodes d'analyse de la vulnérabilité comme l'utilisation des approches participatives [18]. La Méthode Accélérée de Recherche Participative (MARP) est l'une des méthodes prônant la participation des communautés à l'analyse de la vulnérabilité. Elle se définit comme une démarche pluridisciplinaire qui, tout en prenant en compte le contexte socioculturel et le savoir local du milieu étudié implique les communautés qui y vivent dans l'analyse de leur situation pour proposer des actions concrètes et planifiées, visant à améliorer leurs conditions de vie [19]. La FAO [18] définit cette méthode comme une méthode participative de diagnostic rapide des conditions physiques et socio-économiques au niveau du terroir. Elle accélère l'apprentissage en combinant plusieurs outils pour avoir accès à des informations fiables et riches ([20], [21]). Informelle, systématique et progressive, elle se base des techniques et outils visuels tels que les séances d'animation (*focus group*), d'entretiens individuels ou en groupe (entretien semi-direct), les observations, la lecture du terroir sur base participative pour impliquer les communautés locales à une compréhension qualitative de l'environnement dans lequel ils vivent.

La MARP a un ancrage scientifique très développé et a été utilisée dans plusieurs études. Dans la sous-région, [22], [23], [21] et [20] ont utilisé cette approche. Les deux premiers auteurs ont utilisé cette méthode dans des recherches sur les pratiques pastorales. De façon pratique, nous avons conduit des focus group ayant une taille moyenne de 10 personnes avec les éleveurs transhumants dans chacun des six villages d'enquête sous forme d'interviews semi structurées. Cette forme d'interview n'utilise pas de questionnaire et permet à l'enquêteur de construire de nouvelles questions en fonction de l'orientation des débats. Les entretiens ont été axés sur les caractéristiques socio-économiques, les contraintes liées à la transhumance et les changements survenus durant les vingt (20) dernières années.

Les données collectées pour atteindre cet objectif sont les perceptions des transhumants sur le changement climatique et ses effets, les caractéristiques socioéconomiques telles que l'âge, la taille du ménage, le niveau d'instruction, le statut matrimoniale, le sexe, la religion, l'accès au crédit, l'appartenance à des organisations, les activités principale et secondaire, le nombre de bovins, etc, les moyens d'existence tels que la terre, les ressources en eau, le pâturage, etc. et les modes d'existence des transhumants, etc. Ces données ont été collectées sur la base des entretiens de groupe et des entretiens individuels.

Deux types d'indicateurs ont été retenus pour apprécier la vulnérabilité des transhumants et de leurs ressources face au changement climatique. Il s'agit des indicateurs d'exposition qui a pris en compte les moyens et modes d'existence et d'impact qui a tenu compte des modes d'existence. Lors des entretiens de groupe, les participants ont apprécié le degré d'exposition et d'impact des ressources aux risques climatiques sur la base d'une échelle allant de 1 à 5. Les risques climatiques considérés sont ceux évoqués par les transhumants à savoir le vent violent, la sécheresse, les pluies tardives, les inondations et la chaleur excessive. Ainsi, les indicateurs d'exposition et d'impact ont été estimés de façon participative avec les transhumants. Aussi, ils ont été aussi estimés au niveau individuel par chaque enquêté. Par ailleurs, les perceptions des incidences des aléas climatiques sur les moyens d'existence et les modes d'existence ont été appréhendées et analysées à partir de la statistique descriptive. L'analyse des données s'est faite par l'analyse de discours pour faire ressortir les mots clés des discours des acteurs [24]. Le score de vulnérabilité a été calculé et traduit le score moyen attribué aux incidences des risques climatiques sur l'éleveur transhumant. Les déterminants du score de vulnérabilité ont été identifiés à partir d'une régression linéaire multiple.

3 RÉSULTATS

3.1 PROFIL DES TRANSHUMANTS ENQUÊTÉS

Le profil des transhumants enquêtés regroupe deux types de profil: le profil quantitatif et celui qualitatif.

3.1.1 PROFIL QUANTITATIF DES TRANSHUMANTS ENQUÊTÉS

Le profil quantitatif caractérise l'âge, le nombre d'années d'expériences dans la transhumance, la taille du ménage et le nombre d'actifs agricoles des transhumants enquêtés dans cette étude. Il est présenté dans le tableau 3.

Tableau 2. Profil quantitatif des transhumants enquêtés

Paramètres	Commune	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
Age	Gogounou	44,02	13,32	18	77
	Sinendé	44,74	11,74	23	80
	Zone d'étude	44,38	12,44	18	80
Expérience en élevage	Gogounou	22,16	10,17	2	45
	Sinendé	22,14	9,54	8	55
	Zone d'étude	22,15	9,76	2	55
Taille du ménage	Gogounou	10,62	6,12	1	26
	Sinendé	10,82	4,96	2	24
	Zone d'étude	10,72	5,52	1	26
Actifs agricoles	Gogounou	5,46	3,77	1	15
	Sinendé	5,36	2,93	2	14
	Zone d'étude	5,41	3,34	1	15

Source: Enquête de terrain, Mars 2020

L'analyse de ce tableau révèle des informations sur l'âge, le nombre d'années d'expériences dans la transhumance, la taille du ménage et le nombre d'actifs agricoles des transhumants enquêtés.

- Age des transhumants enquêtés

Dans la zone d'étude, les transhumants enquêtés ont un âge moyen de 44 ans ($\pm 12,44$). Le transhumant enquêté le plus âgé est de 80 ans alors que le moins âgé est de 18 ans. Cette tendance reste similaire d'une commune à l'autre à la seule exception que le transhumant le plus âgé a été enquêté à Sinendé alors que le moins âgé a été enquêté à Gogounou.

- Expériences des transhumants enquêtés

Les transhumants enquêtés disposent en moyenne 22 ($\pm 9,76$) années d'expérience dans la pratique de l'élevage en général et de la transhumance en particulier quelle que soit la commune. Il varie entre 2 et 55 années d'expériences dans la transhumance. Le moins expérimenté (02 années d'expérience) a été enquêté à Gogounou alors que le plus expérimenté (55 années d'expérience) a été enquêté à Sinendé.

- Taille du ménage des transhumants enquêtés

Les transhumants enquêtés dirigent des ménages ayant une taille moyenne de 11 ($\pm 5,52$) personnes avec une taille minimale d'une (01) personne et une taille maximale de 26 personnes. La taille moyenne des ménages ne varie pas sensiblement selon les communes.

- Actifs agricoles dans les ménages dirigés par les transhumants enquêtés

Le nombre d'actifs agricoles disponibles dans les ménages des transhumants enquêtés est en moyenne de 5 ($\pm 3,34$) actifs agricoles par ménage. Ces actifs agricoles sont utilisés pour la conduite des troupeaux à la recherche de la nourriture. Leur nombre varie très peu entre les communes.

3.1.2 PROFIL QUALITATIF DES TRANSHUMANTS ENQUÊTÉS

Le profil qualitatif regroupe le sexe des transhumants, leur groupe socioculturel, leur religion, leur statut matrimonial, leur appartenance à des groupes socioculturels et leur accès aux services d'encadrement. Le tableau 4 présente les fréquences des enquêtés selon les paramètres considérés.

Tableau 3. Fréquence (en %) des enquêtés selon les paramètres qualitatifs

Paramètres qualitatifs	Modalités	Gogounou	Sinendé	Total
Sexe	Féminin	2,0	0,0	1,0
	Masculin	98,0	100,0	99,0
Niveau d'instruction	Aucun	76,0	80,0	78,0
	Primaire	18,0	16,0	17,0
	Secondaire	6,0	2,0	4,0
	Universitaire	0,0	2,0	1,0
Niveau d'alphabétisation	Non	66,0	88,0	77,0
	Oui	34,0	12,0	23,0
Groupe socioculturel	Bariba	4,0	50,0	27,0
	Ditamari	2,0	0,0	1,0
	Peulh	94,0	50,0	72,0
Situation matrimoniale	Célibataire	4,0	2,0	3,0
	Divorcé(e)	0,0	4,0	2,0
	Marié(e)	96,0	92,0	94,0
	Veuf/Veuve	0,0	2,0	1,0
Religion	Animisme	0,0	46,0	23,0
	Christianisme	4,0	14,0	9,0
	Islam	96,0	40,0	68,0
Activité secondaire	Agriculture	80,0	100,0	90,0
	Commerce	18,0	0,0	9,0
	Etude	2,0	0,0	1,0
Appartenance à une organisation d'éleveurs	Non	24,0	100,0	62,0
	Oui	76,0	0,0	38,0
Contact avec un service de vulgarisation	Non	48,0	100,0	74,0
	Oui	52,0	0,0	26,0

Source: Enquête de terrain, Mars 2020

De ce tableau, il ressort les résultats suivants:

- Sexe des transhumants enquêtés

La plupart des transhumants enquêtés sont des hommes (99%) dans la zone d'étude, ce qui confirme le fait que l'activité d'élevage des bovins et surtout la transhumance reste et demeure une activité réservée aux hommes. Toutefois, environ 2% des enquêtés à Gogounou sont des femmes transhumantes contrairement à Sinendé où tous les transhumants enquêtés sont des hommes.

- Niveau d'instruction et niveau d'alphabétisation des transhumants enquêtés

Concernant l'instruction formelle, environ 78% des enquêtés n'ont aucun niveau d'instruction formelle dans la zone d'étude. Par contre, 22% des transhumants ont suivi des études formelles soit au niveau primaire (17%), soit au niveau secondaire (4%) ou au niveau supérieur (1%).

Quant à l'alphabétisation, environ 23% des transhumants enquêtés savent lire et écrire dans une langue locale. Cette tendance a été plus observée dans la commune de Gogounou qu'à Sinendé.

- Groupes socioculturels des transhumants enquêtés

La majorité des transhumants enquêtés (72%) sont des Peulh dans la zone d'étude, confirmant ainsi que la transhumance singularise les peulh. Cette tendance a été plus constatée dans la commune de Gogounou où environ 94% des enquêtés sont des peulh. Dans la commune de Sinendé, environ 50% des transhumants enquêtés sont des bariba. Environ 2% des enquêtés à Gogounou sont des Ditamari. Ce qui montre l'apparition de certains groupes socioculturels dans l'arène de la transhumance.

- Statut matrimonial des transhumants enquêtés

Au moins neuf éleveurs sur dix (94%) sont mariés dans la zone d'étude. Cette tendance est générale dans les deux communes de l'étude. Toutefois, on note l'existence des célibataires, des divorcés et des veufs parmi les transhumants enquêtés.

- Religion des transhumants enquêtés

La religion pratiquée par la majorité des transhumants enquêtés est l'Islam (68%). Cette tendance est plus observée à Gogounou où près de 96% des enquêtés sont des musulmans. Par contre, à Sinendé, ce sont les animistes (46%) qui dominent l'échantillon des enquêtés. Peu de transhumants (9%) sont chrétiens dans les deux communes.

- Activités secondaires des transhumants enquêtés

L'élevage constitue l'activité principale de tous les enquêtés. Ces derniers exercent des activités secondaires telles que l'agriculture, le commerce et les études. Environ 90% d'entre eux pratiquent l'agriculture comme activité secondaire. A Sinendé, tous les transhumants enquêtés pratiquent l'agriculture comme activité secondaire.

- Appartenance à des organisations socioprofessionnelles

La majorité des transhumants enquêtés (62%) n'appartiennent pas à des organisations socioprofessionnelles telles que l'Union Communale des Organisations Professionnelles des Eleveurs de Ruminants. Cette tendance varie suivant les communes étudiées. A Gogounou, la majorité des enquêtés (76%) appartiennent à des organisations socioprofessionnelles alors qu'à Sinendé, tous les enquêtés ont déclarés n'appartenir à aucune organisation socioprofessionnelle.

- Accompagnement des transhumants enquêtés par les services de vulgarisation

Environ 74% des enquêtés ont déclaré n'être pas en contact avec un service de vulgarisation. En effet, 26% ont accès à l'accompagnement des services de vulgarisation. Ceci pourrait avoir un impact sur le conseil qu'ils peuvent recevoir auprès des services de vulgarisation afin de mieux régler certains problèmes liés à la reproduction de leurs troupeaux ou à l'adaptation aux variabilités climatiques.

En définitive, on peut retenir que la plupart des transhumants enquêtés sont des hommes musulmans mariés ayant environ 44 ans d'âge qui exercent des activités secondaires notamment l'agriculture. Ils sont pour la plupart des peulh et bariba.

3.2 PERCEPTIONS SUR LES MANIFESTATIONS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les transhumants enquêtés ont perçu les manifestations du changement climatique de différentes manières. Le tableau 5 présente les manifestations du changement climatique perçues par les enquêtés selon les communes.

Tableau 4. Fréquence (en %) des enquêtés selon les perceptions des transhumants sur le changement climatique

Perceptions des manifestations du changement climatique	Gogounou	Sinendé	Total
Baisse des pluies	82,0	76,0	79,0
Augmentation des pluies	34,0	6,0	20,0
Intensité des pluies	32,0	42,0	37,0
Irrégularité des pluies	72,0	80,0	76,0
Démarrage tardif	58,0	64,0	61,0
Arrêt précoce	60,0	90,0	75,0
Poche de sécheresse	64,0	82,0	73,0
Inondations	32,0	14,0	23,0
Mauvaise répartition des pluies	50,0	72,0	61,0
chaleur excessive le jour	66,0	88,0	77,0
chaleur excessive les nuits	72,0	62,0	67,0
Fraîcheur les jours	26,0	14,0	20,0
Fraîcheur les nuits	46,0	36,0	41,0
Vent violent	54,0	22,0	38,0
Tourbillons	36,0	14,0	25,0
Brumes de poussières plus fréquentes	28,0	26,0	27,0

Source: Enquête de terrain, Mars 2020

De l'analyse de ce tableau, il ressort que plus de la moitié des enquêtés ont perçu les manifestations du changement climatique par la baisse des pluies (79%), la chaleur excessive en journée (77%); de l'irrégularité des pluies (76%), de l'arrêt précoce des pluies (75%), des poches de sécheresse (73%), de la chaleur excessive les nuits (67%), de la mauvaise répartition des pluies (61%) et du démarrage tardif des pluies (61%) dans la zone d'étude. Cette tendance varie très peu entre les communes. Toutefois, il faut noter que les vents violents symbolisent les manifestations du changement climatique selon 54% des enquêtés à Gogounou.

Par contre, l'augmentation des pluies, l'intensité des pluies, les inondations, la fraîcheur dans la journée, la fraîcheur dans la nuit, les tourbillons et les brumes de poussières plus fréquentes sont faiblement perçues comme les manifestations du changement climatique dans les communes étudiées par les transhumants enquêtés.

Ainsi, l'on peut retenir que les transhumants perçoivent le changement climatique à travers la baisse des pluies, la chaleur excessive en journée, de l'irrégularité des pluies, de l'arrêt précoce des pluies, des poches de sécheresse, de la chaleur excessive les nuits, de la mauvaise répartition des pluies et du démarrage tardif des pluies au Nord-Bénin en général et dans les communes de Gogounou et de Sinendé en particulier. Ces résultats montrent que le changement climatique se manifeste essentiellement par une variation de la pluviométrie et de la température. La pluviométrie est l'une des ressources très capitale pour les transhumants et qui pousse les éleveurs à la transhumance. Ces facteurs affectent la pratique de la transhumance dans le Nord-Bénin.

3.3 SENSIBILITÉ DES MOYENS ET MODES D'EXISTENCE DES TRANSHUMANTS AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

La sensibilité des moyens et modes d'existence a été appréciée par les indicateurs d'exposition des ressources aux risques climatiques et les indicateurs d'impact des risques climatiques.

3.3.1 INDICATEURS D'EXPOSITION ET D'IMPACT À GOGOUNOU

Cinq risques climatiques ont été retenus par les transhumants lors des *focus groups* dans la commune de Gogounou (Photo 1). Il s'agit des inondations, de la sécheresse, des pluies tardives et violentes, des vents violents et de la chaleur excessive.

La matrice de sensibilité réalisée au cours des *focus groups* organisés sur le terrain à Gogounou a montré le degré d'exposition des modes et des moyens d'existence aux risques climatiques d'une part et des risques pour lesquels les impacts sont les plus grands sur les modes d'existence d'autre part.

Le tableau 6 présente les indicateurs d'exposition et d'impact des moyens et modes d'existence face aux risques climatiques à Gogounou.

Tableau 5. Matrice de sensibilité aux risques climatiques dans la Commune de Gogounou

	Risques climatiques					Indicateur d'exposition
	Inondation	Sécheresse	Pluies tardives et violentes	Vents violents	Chaleur excessive	
Systèmes naturels						
Terres	2,5	2,5	2	2,5	1	42%
Plan d'eau et ressource en eau	2,5	4	3	1	3,5	56%
Fourrage	1,5	4,5	2,5	2	3,5	56%
Systèmes humains						
Energie domestique	1	1,5	2	1,5	1	28%
Travail saisonnier	2,5	2,5	2	2	2,5	46%
Elevage	2,5	3,5	2,5	2,5	1,5	50%
Commerce	2	1	2	1	1	28%
Infrastructures	1,5	1	1,5	1	1	24%
Santé	2	1	2	1,5	0,5	28%
Agriculture	3	4	3	3	3	64%
Modes d'existence						
Petits exploitants agricoles	4	3,5	3,5	2,5	3	66%
Eleveurs	4	4,5	3,5	2,5	4	74%
Commerçants et transporteurs	3,5	2	2,5	1,5	1,5	44%
Indicateurs d'impact	77%	67%	63%	43%	57%	

Source: Enquête de terrain, Mars 2020

L'analyse de ce tableau révèle des informations sur les indicateurs d'exposition des moyens et modes d'existence des transhumants et les indicateurs d'impact des risques climatiques.

En ce qui concerne les indicateurs d'exposition, il ressort que les ressources du système naturel les plus exposés aux risques climatiques sont les ressources en eau et les fourrages avec un indicateur d'exposition de 56%. L'élevage et l'agriculture sont les moyens d'existence du système humain les plus exposés aux risques climatiques respectivement avec un indicateur d'exposition 50% et 64%. Le mode d'existence le plus exposé aux risques climatique est l'élevage (74%). Ces résultats s'expliquent par le fait que ces moyens d'existence dépendent fortement des eaux pluviales à Gogounou. Par contre, les moyens et modes d'existence dépendant faiblement des eaux pluviales sont faiblement exposés aux risques climatiques.

Quant aux indicateurs d'impact, les risques climatiques majeurs ayant un fort impact sur les modes d'existence selon les transhumants de la commune de Gogounou sont l'inondation (77%), la sécheresse (67%), les pluies tardives et violentes (63%) et les chaleurs excessives (57%).

Les résultats montrent que les risques climatiques affectent les activités de transhumance dans la commune de Gogounou en ayant un grand impact sur les ressources fourragères et la disponibilité en eau. Cette situation occasionne une forte exposition de l'élevage et des éleveurs aux risques climatiques.

3.3.2 INDICATEURS D'EXPOSITION DES MOYENS ET MODES D'EXISTENCE ET D'IMPACT DES RISQUES CLIMATIQUES À SINENDÉ

A Sinendé, les risques climatiques retenus par les transhumants lors des *focus groups* sont les inondations, la sécheresse, les pluies tardives et violentes, les vents violents et la chaleur excessive. La matrice de sensibilité des moyens et modes d'existence face aux risques climatiques à Sinendé est présentée dans le tableau 7:

Tableau 6. Matrice de sensibilité aux risques climatiques dans la Commune de Sinendé

	Risques climatiques					Indicateur d'exposition
	Inondation	Sécheresse	Pluies tardives et violentes	Vents violents	Chaleur excessive	
Systèmes naturels						
Terres	2,5	3,5	2,5	1,5	1	44%
Plan d'eau et ressource en eau	2	3,5	2,5	1,5	2	46%
Fourrage	3,5	4,5	2,5	1	1,5	52%
Systèmes humains						
Energie domestique	2	1	2	1	1	28%
Travail saisonnier	2,5	2,5	2,5	1,5	2	44%
Elevage	4	3	3	2	3	60%
Commerce	3	1	1,5	1	1,5	32%
Infrastructures	2,5	1	1,5	1	1,5	30%
Santé	2,5	1,5	1,5	1	1,5	32%
Agriculture	5	4,5	4	3	3,5	80%
Modes d'existence						
Petits exploitants agricoles	4	4	3	2	3	64%
Eleveurs	4	4	2,5	3	3	66%
Commerçants et transporteurs	2	2	1	1	1,5	30%
Indicateurs d'impact	67%	67%	43%	40%	50%	

Source: Enquête de terrain, Mars 2020

De ce tableau, il ressort que les ressources fourragères, l'élevage, l'agriculture, les petits exploitants agricoles et les éleveurs sont les plus exposés aux risques climatiques à Sinendé. L'indicateur d'exposition de ces moyens et modes d'existence s'élève à 52% pour les ressources fourragères, 60% pour l'élevage, 80% pour l'agriculture, 64% pour les petits exploitants agricoles et 66% pour les éleveurs à Sinendé.

Quant aux indicateurs d'impact, les risques climatiques ayant un fort impact sur les modes d'existence selon les transhumants sont les inondations, la sécheresse et la chaleur excessive à Sinendé. Leur indicateur d'impact s'élève respectivement à 67%, 67% et 50%.

Ainsi, les ressources dépendant fortement des eaux pluviales sont plus exposées aux risques climatiques. Aussi, les modes d'existence dont les activités dépendent directement des eaux pluviales telles que l'élevage et l'agriculture sont plus exposés aux risques climatiques à Sinendé.

En somme, on peut retenir que dans la zone d'étude, les ressources fourragères, l'élevage, l'agriculture, les petits exploitants agricoles et les éleveurs sont les plus exposés aux risques climatiques. Toutefois, il faut que les ressources en eau sont plus exposées aux risques climatiques à Gogounou qu'à Sinendé.

Les risques climatiques dont les impacts sont plus élevés sur les modes d'existence selon les transhumants sont l'inondation, la sécheresse et les chaleurs excessives. Ces risques affectent les transhumants dans leurs activités avec une raréfaction accentuée des ressources en eau et en fourrage. Par ailleurs, à Gogounou, les pluies tardives et violentes ont plus impact sur les modes d'existence qu'à Sinendé.

3.4 INCIDENCES DES RISQUES CLIMATIQUES SUR LES MOYENS ET MODES D'EXISTENCE

3.4.1 INCIDENCES DES RISQUES CLIMATIQUES SUR LES MOYENS D'EXISTENCE

L'exposition des moyens et modes d'existence n'est pas sans incidence sur les ressources et les transhumants. Le niveau d'incidence des risques climatiques a été évalué par les transhumants enquêtés à Gogounou et à Sinendé selon une échelle de Likert comme expliquée dans la méthodologie. La figure 3 présente le degré d'incidence des risques climatiques sur les ressources utilisées au cours de la transhumance et sur l'exploitation agricole de l'éleveur.

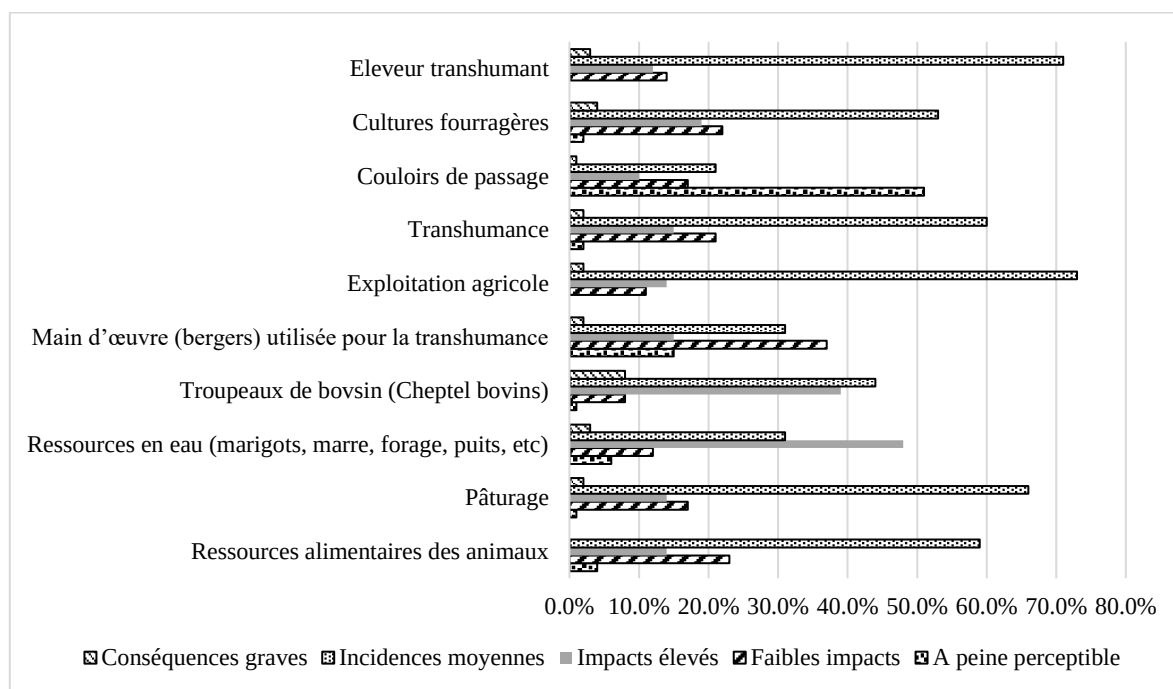


Fig. 2. Incidences des risques climatiques sur les ressources utilisées

De cette figure, il ressort que la proportion des enquêtés selon lesquels les risques climatiques ont une incidence moyenne sur toutes les ressources d'existence et des modes d'existence est plus élevée. A titre illustratif, les risques climatiques ont une incidence moyenne sur l'exploitation agricole (73%), sur l'éleveur transhumant (71%), sur le pâturage (66%), sur la transhumance (60%), sur les ressources alimentaires des animaux (59%), sur les cultures fourragères (53%) et sur les troupeaux de bovins (44%). Par contre, selon 48% et 44% des enquêtés, les risques climatiques ont un impact élevé sur les ressources en eau et le cheptel bovin dans la zone d'étude. Des cas de perte due à la mortalité ont même été enregistrés selon 8% des enquêtés. Environ 51% des enquêtés jugent peu perceptibles, les conséquences des risques climatiques sur les couloirs de passage alors que 37% d'entre eux pensent que les risques climatiques ont de faibles impacts sur la main d'œuvre utilisée pour la transhumance. Il faut également noter les cas de décès de bergers (2%) et d'éleveur transhumant (3%) qui seraient dus aux risques climatiques.

3.4.2 SCORE DE VULNERABILITE DES TRANSHUMANTS AUX RISQUES CLIMATIQUES

Le score de vulnérabilité des transhumants aux risques climatiques se traduit par la résultante des incidences sur l'éleveur transhumant. Plus ce score est élevé, plus le transhumant est vulnérable aux risques climatiques. Le tableau 8 présente le score moyen de vulnérabilité de même que son écart-type, son minimum et son maximum.

Tableau 7. Score de vulnérabilité des transhumants aux risques climatiques

Communes	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum
Gogounou	2,86	0,59	1,6	4
Sinendé	2,68	0,39	1,8	3,6
Zone d'étude	2,77	0,5	1,6	4

Source: Enquête de terrain, Mars 2020

De ce tableau, il ressort que le score moyen de vulnérabilité est de 2,77 avec un écart-type de 0,5. Ce score confirme que les risques climatiques ont des incidences moyennes sur les transhumants.

3.4.3 DETERMINANTS DU SCORE DE VULNERABILITE CHEZ LES ÉLEVEURS

Le tableau 9 présente les résultats de la régression du score de vulnérabilité en fonction des caractéristiques socio-économiques des enquêtés. Le modèle est globalement significatif au seuil de 1%. Environ 34% des variations du score de vulnérabilité des transhumants face au changement climatique sont expliqués par les variables exogènes introduites dans le modèle.

Tableau 8. Déterminants du score de vulnérabilité pour les éleveurs

Variable	Coefficient	Erreur standard	t	Sig.
Constante	2,85	0,215	13,264	0,000
Age	-0,016	0,007	-2,444	0,016
Situation matrimoniale veuf	-1,01	0,437	-2,313	0,023
Appartenance à une organisation	0,071	0,123	0,576	0,566
Vulgarisation	0,058	0,133	0,434	0,665
Religion animisme	0,576	0,114	5,032	0,000
Activité secondaire agriculture	0,166	0,154	1,077	0,284
Expérience en élevage	0,014	0,008	1,707	0,091
R ² = 34% ; Ddl= 7 ; Sig= 0,000				

Source: Enquête de terrain, Mars 2020

De ce tableau, il ressort que la religion (animisme) et l'expérience en élevage influencent positivement le score de vulnérabilité des éleveurs face au changement climatique au seuil de 5% et de 10% respectivement. Autrement dit, les transhumants pratiquant la religion traditionnelle (animisme) sont plus vulnérables au changement climatique que ceux pratiquant les autres religions. Aussi, plus le nombre d'années d'expériences en transhumance est élevé, plus le transhumant est vulnérable.

Par contre, l'âge et la situation matrimoniale (veuf) influencent négativement le score de vulnérabilité chez les éleveurs au seuil de 5%. Ainsi, plus le transhumant est âgé, moins il est vulnérable face au changement climatique. Les transhumants veufs sont moins vulnérables que les transhumants mariés, célibataires ou divorcés.

En définitive, l'âge et le statut matrimonial (veuf) contribue à l'atténuation de la vulnérabilité des transhumants face au changement climatique. Par contre, la religion traditionnelle et le nombre d'années d'expérience aggravent le degré de vulnérabilité des transhumants face au changement climatique.

4 DISCUSSION

Cette étude met en exergue les perceptions paysannes du changement climatique. Les perceptions des éleveurs sont principalement basées sur les variations de la température et de la disponibilité de l'eau suivant les saisons. La hausse des températures caractérisée par les chaleurs excessives de jour comme de nuit est une des principales manifestations du changement climatique. Les études de ([25], [26], [27]) ont également identifié ces perceptions comme les plus récurrentes selon les producteurs agricoles. La baisse des pluies est perçue par la plupart des éleveurs. Par rapport au nombre de pluies, les producteurs perçoivent de même que les éleveurs une baisse des pluies ([28]; [27]). Les éleveurs soulignent que les pluies étaient fréquentes pendant les saisons pluvieuses. De plus en plus, de courtes périodes sans pluies marquant les poches de sécheresses s'observent. Ces constats corroborent avec ceux de [29].

Les résultats ont permis également d'identifier dans les communes de Gogounou et de Sinendé la sécheresse, les pluies tardives et violentes et les inondations comme les risques climatiques majeurs qui affectent le Nord-Bénin en général et les éleveurs transhumants de cette région en particulier. Ces résultats sont comparables à la matrice de sensibilité aux risques climatiques de la commune de Malanville selon le Programme d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques du Bénin (PANA-BENIN) en 2008. En effet ces travaux ont distingué les différents facteurs sus-énumérés comme ceux qui affectent le plus les habitants des zones agro écologiques du Centre et du Nord Bénin avec une grande exposition de l'élevage et les petits exploitants. L'exposition de l'élevage montre le degré auquel les activités en lien avec cette activité peuvent être affectées.

L'âge est un proxy de l'expérience que détient l'éleveur dans le domaine de la transhumance et de l'élevage de gros bétail. Les jeunes éleveurs ne disposent pas d'autant de connaissances pour s'adapter efficacement aux divers phénomènes caractéristiques du changement climatique au même titre que les éleveurs les plus âgés. Cette réalité se justifie par le fait que l'insuffisance de ressources alimentaires pousse à un individualisme auquel les jeunes transhumants ne sont pas habitués, ce qui fait qu'ils subissent plus facilement les désagréments climatiques. Leur vulnérabilité décroît progressivement avec l'expérience. Plus le transhumant est âgé, plus il y a d'expérience et il s'adapte aux phénomènes climatiques. Mais le signe positif du coefficient significatif à hauteur de 10% de la variable « expérience en élevage » contredit la corrélation négative entre l'expérience et le score de vulnérabilité. Malgré que l'expérience soit un proxy de l'âge, un éleveur plus expérimenté est plus vulnérable au changement climatique. L'expérience n'améliore donc pas toute fois l'adaptation des éleveurs au changement climatique. Ceci se justifie par le fait que la transhumance est plus exigeante en effort physique quand le changement climatique occasionne une rareté accrue de ressources alimentaires pour le bétail. Les distances à parcourir sont plus longues et sont difficilement supportables par les éleveurs les plus expérimentés donc les plus âgés.

5 CONCLUSION

La plupart des transhumants enquêtés sont des hommes musulmans mariés ayant environ 44 ans d'âge et qui exercent des activités secondaires notamment l'agriculture. Ils sont pour la plupart des peulh et bariba. La baisse des pluies, la chaleur excessive en journée, l'irrégularité des pluies, l'arrêt précoce des pluies, les poches de sécheresse, la chaleur excessive les nuits, la mauvaise répartition des pluies et le démarrage tardif des pluies sont les principales perceptions des manifestations du changement climatique au Nord-Bénin en général et dans les communes de Gogounou et de Sinendé en particulier. L'inondation, la sécheresse et les chaleurs excessives sont les risques climatiques qui ont plus d'impact sur les modes d'existence selon les transhumants enquêtés.

En définitive, l'âge et le veuvage contribue à l'atténuation de la vulnérabilité des transhumants face au changement climatique. Par contre, la religion traditionnelle et le nombre d'années d'expérience aggravent le degré de vulnérabilité des transhumants face au changement climatique.

REFERENCES

- [1] J. Amuzu, A. T. Kabo-Bah, B. P. Jallow, et S. Yaffa, « Households' livelihood vulnerability to climate change and climate variability: A case study of the Coastal Zone, The Gambia », *J. Environ. Earth Sci.*, vol. 8, n° 1, p. 35-46, 2018, Consulté le: 22 janvier 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.econstor.eu/handle/10419/174883>.
- [2] S. Schneider *et al.*, « Overview of impacts, adaptation, and vulnerability to climate change », *Clim. Change*, p. 75-103, 2001, Consulté le: 22 janvier 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.unisdr.org/files/8387_wg2TARchap11.pdf
- [3] N. Pricope, L. Pardo-Rodriguez, et D. Lopez-Carr, « Vulnerability to Climate Change », 2013.
- [4] J. Birkmann *et al.*, « Understanding human vulnerability to climate change: A global perspective on index validation for adaptation planning », *Sci. Total Environ.*, vol. 803, p. 150065, janv. 2022, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.150065.
- [5] D. Ouédraogo, M. Kaboré, et B. Kienou, « Insécurité alimentaire, vulnérabilité et pauvreté en milieu rural au Burkina : une approche en termes de consommation d'énergie », *Mondes En Dév.*, vol. 140, n° 4, p. 65-84, déc. 2007, doi: 10.3917/med.140.0065.
- [6] FAO, « Climate change and food security: risks and responses », FAO, Rome, 2015.
- [7] S.-P.-K. Dovonou-Vinagbe, « Approche intégrée pour évaluer la vulnérabilité aux impacts des changements climatiques: cas du bassin versant de l'Artibonite en Haïti », 2017.
- [8] J. C. Ribot, « Vulnerability does not fall from the sky : toward multiscale, pro-poor climate policy », in *Social Dimensions of Climate Change : Equity and Vulnerability in a Warming World*, World Bank., R. Mearns et A. Norton, Éd., World Bank, Washington, DC, 2010, p. 47-74.
- [9] I. Scoones, « Livelihoods perspectives and rural development », *J. Peasant Stud.*, vol. 36, p. 171-196, 2009. doi: 10.1080/03066150902820503.
- [10] I. Niang *et al.*, « Chapter 22 Africa. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change », 2014, p. 1199-1265.
- [11] P. Lesse *et al.*, « Transhumance en République du Bénin : états des lieux et contraintes », *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 9, n° 5, p. 2668, févr. 2016, doi: 10.4314/ijbcs.v9i5.37.
- [12] H. S. Totin Vodounon, G. L. Djohy, E. Amoussou, et M. Boko, « INSTABILITÉ DU RÉGIME CLIMATIQUE ET DYNAMIQUE DES SYSTÈMES PASTORAUX DANS LA COMMUNE DE SINENDE AU NORD-BENIN », *Sci. Environ.*, n° 13, p. 157-178, 2016, Consulté le: 23 janvier 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://hal.science/hal-01552159>.
- [13] G. L. Djohy et A. H. Edja, « Effet de la variabilité climatique sur les ressources en eau et stratégies d'adaptation des éleveurs et maraîchers au Nord-Bénin », *Ann. Univ. Parakou Sér. » Sci. Nat. Agron.*, vol. 8, n° 2, p. 83-91, 2018, Consulté le: 23 janvier 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://hal.science/hal-02046892>.
- [14] J. B. K. Vodounou et Y. Onibon Doubogan, « Agriculture paysanne et stratégies d'adaptation au changement climatique au Nord-Bénin », *Cybergeog. Eur. J. Geogr.*, nov. 2016, doi: 10.4000/cybergeog.27836.
- [15] S. Abdul-Jalil *et al.*, « Impacts du changement climatique sur l'agriculture et l'ensemble de l'économie du Bénin avec différenciation des Pôles de Développement Agricole (PDA) », 2023, Consulté le: 6 octobre 2024. [En ligne]. Disponible sur: https://www.agrar.huberlin.de/en/institut-en/departments/dao/ihe-en/publ/1-policy-brief_cc-impacts-on-agriculture_benin-1.pdf
- [16] A. M. Igue, K. S. Ezui, S. Youl, J. Ouedraogo, et J. Sogbedji, « Application et adaptation de l'approche intégrée DSSAT-SIG à la formulation », janv. 2013.
- [17] A. M. Igue, K. S. Ezui, S. Youl, J. Ouedraogo, et J. Sogbedji, « Application et adaptation de l'approche intégrée DSSAT-SIG à la formulation », janv. 2013.
- [18] FAO, Approche participative, communication et gestion des ressources forestières en Afrique sahélienne Bilan et perspectives, FAO. Rome, 1995.
- [19] B. Gueye et K. Schoonmaker Freudenberger, « Introduction a la Methode Acceleree de Recherche Participative (MARP): (Rapid Rural Appraisal) quelques notes pour appuyer une formation pratique », 1991, Consulté le: 22 janvier 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://agris.fao.org/search/en/providers/122621/records/64739670ce9437aa76003f84>.

- [20] D. Ouedraogo, « climatique en zones sahélienne, nord et sud soudaniennes du Burkina Faso. », Université Polytechnique de Bobo-Dioulassa, 2010.
- [21] Y. E. Lam González, « Institutional and policy gap analysis of climate services in West Africa: a stakeholders' perspective », 2021, Consulté le: 22 janvier 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/106825/2/LIBRO-AMENET-ISBN.pdf>
- [22] O. Mertz, C. Mbow, A. Reenberg, et A. Diouf, « Farmers' Perceptions of Climate Change and Agricultural Adaptation Strategies in Rural Sahel », *Environ. Manage.*, vol. 43, n° 5, p. 804-816, mai 2009, doi: 10.1007/s00267-008-9197-0.
- [23] S. Adaawen, « Understanding Climate Change and Drought Perceptions, Impact and Responses in the Rural Savannah, West Africa », *Atmosphere*, vol. 12, n° 5, p. 594, mai 2021, doi: 10.3390/atmos12050594.
- [24] P. N. Kabore, B. Barbier, P. Ouoba, A. Kiema, et L. Some, « Perceptions du changement climatique, impacts environnementaux et stratégies endogènes d'adaptation par les producteurs du Centre-nord du Burkina Faso Farmers' perceptions of climate change, environmental impacts and endogenous adaptive strategies in », *Vertigo*, vol. 19, n° 1, p. 29, 2019.
- [25] H. Paeth, A. Capo-Chichi, et W. Endlicher, « Climate Change and Food Security in Tropical West Africa — A Dynamic-Statistical Modelling Approach », *Erdkunde*, vol. 62, n° 2, p. 101-115, 2008, Consulté le: 22 janvier 2025. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.jstor.org/stable/25648102>.
- [26] C. P. Gnanglè, R. G. Kakaï, A. E. Assogbadjo, S. Vodounnon, J. A. Yabi, et N. Sokpon, « Tendances climatiques passées, modélisation, perceptions et adaptations locales au Bénin », *Climatologie*, vol. 8, p. 27-40, 2011, doi: 10.4267/climatologie.259.
- [27] P. V. Vissoh *et al.*, « Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements climatiques : le cas des communes d'Adjohoun et de Dangbo au Sud-Est Bénin », *Cah. O.-m.*, vol. 260, n° 4, p. 479-492, 2012, doi: 10.4000/com.6700.
- [28] A. M. R. Fadina et D. Barjolle, « Farmers' Adaptation Strategies to Climate Change and Their Implications in the Zou Department of South Benin », *Environments*, vol. 5, n° 1, p. 15, janv. 2018, doi: 10.3390/environments5010015.
- [29] C. P. Gnanglè, « Perceptions paysannes du changement climatique, stratégies d'adaptation dans la gestion des parcs à karité au Bénin », 2012.

Apport de l'éclairage naturel par tube solaire dans une pièce aveugle

[Supply of natural lighting by solar tube in a blind room]

Sibiath O. G. Osseni^{1,2}, Didier Berléo M. Apovo¹, Zoukifirou Sambo Mama¹, Alida Kpoviessi¹, and Aristide C. Houngan²

¹Laboratory of Applied Energetic and Mechanic (LEMA), Polytechnic School of Abomey-Calavi (EPAC), University of Abomey-Calavi - UAC), 01 POB: 2009 Cotonou, Benin

²Laboratory of Sciences, Engineering and Mathematics, National School of Energy and Process Engineering, National University of Sciences, Technologies, Engineering and Mathematics of Abomey, Abomey, POB 486 Abomey, Sogbo-Aliho, Benin

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

ABSTRACT: Visual comfort refers to the lighting conditions to ensure optimal clarity inside a building (office, classrooms, homes, etc.). Good natural lighting helps create a comfortable indoor atmosphere and also reduces the building's energy consumption. However, modern architecture focuses on the aesthetic aspect of lighting in the building to the detriment of its energy performance. The objective of this study is to propose a skylight system in a so-called «blind» room in order to reduce daytime energy consumption. For this, a bibliographic study was carried out on the concepts of lighting and visual comfort in order to retain solar tubes for their ease of implementation. The lighting, both indoor and outdoor, is simulated with and without skylights in the DIALux evo 10.1 software. The simulation results of this study revealed that the building could have better visual comfort and sufficient illumination, equivalent to at least 300 lux, according to the NF EN 12464-1 standard, with daylight by integrating a solar tube. A prototype skylight was made of cardboard and validated the simulation results giving an average illumination of 490 lux for a FLJ = 1.13%. We then note a reduction in energy consumption of 108 kWh/year corresponding to a financial saving of 21,600 FCFA/year and 77.76 kgCO₂eq avoided each year, for this room only.

KEYWORDS: natural lighting, visual comfort, solar tube, digital simulation, energy consumption.

RESUME: Le confort visuel fait référence aux conditions d'éclairage pour assurer une clarté optimale à l'intérieur d'un bâtiment (bureau, salles de classe, maisons,...). Un bon éclairage naturel permet de créer une atmosphère intérieure confortable et de réduire également la consommation énergétique du bâtiment. Cependant, l'architecture moderne se focalise sur l'aspect esthétique de l'éclairage dans le bâtiment au détriment de sa performance énergétique. L'objectif de la présente étude est de proposer un système de puits de lumière dans une salle dite « aveugle » afin de réduire la consommation d'énergie diurne. Pour cela, une étude bibliographique a été faite sur les notions d'éclairage et de confort visuel afin de retenir les tubes solaires pour leur facilité de mise en œuvre. L'éclairement, intérieur comme extérieur, est simulé avec et sans puits de lumière dans le logiciel de DIALux evo 10.1. Les résultats de simulation de cette étude ont révélé que le bâtiment pourrait présenter un meilleur confort visuel et un éclairage suffisant, équivalent à 300 lux au minimum, selon la norme NF EN 12464-1, avec la lumière du jour par l'intégration d'un tube solaire. Un prototype de puits de lumière a été réalisé en carton et a permis de valider les résultats de simulation donnant un éclairage moyen de 490 lux pour un FLJ = 1,13%. On note alors une réduction de la consommation énergétique de 108 kWh/an correspondant à une économie financière de 21 600 FCFA/an et 77,76 kgCO₂eq évité chaque année, pour ce local seul.

MOTS-CLEFS: éclairage naturel, confort visuel, tube solaire, simulation numérique, consommation énergétique.

1 INTRODUCTION

Le changement climatique est un phénomène auquel tous les pays sont confrontés [1]. Ceci est dû majoritairement à l'utilisation abusive des énergies fossiles [2]. En Afrique, près de 530 millions d'habitants dépendent de sources d'énergies polluantes et peu efficaces (bois, charbon, gaz) pour la cuisson, le chauffage et l'éclairage [3]. La demande en énergie devrait s'accroître considérablement avec l'urbanisation et pourrait, par exemple, être multipliée par cinq d'ici 2030 et par douze d'ici 2050 dans les pays de la Communauté Economique des Etats d'Afrique de l'Ouest (CEDEAO) [4]. Le secteur de l'énergie représente 75 % des émissions mondiales de CO₂, dont 41 % pour l'électricité [5]. Par ailleurs, l'éclairage représente 19 % de la consommation électrique mondiale et environ 6 % des émissions de gaz à effet de serre [6]. L'éclairage est aujourd'hui une partie importante de la consommation électrique, car le poids des systèmes d'éclairage est observé sur la dépense énergétique dans les lieux où les gens passent habituellement leur temps [7]. Il a été aussi démontré qu'une réduction de l'ordre de 30 à 70% de cette consommation est possible grâce à la combinaison de l'éclairage naturel et artificiel. De ce fait, des mesures se prennent pour favoriser l'adoption de l'éclairage naturel dans le bâtiment. Cependant, de par leurs configurations, certaines pièces ou salles ne peuvent pas profiter de l'éclairage naturel et se trouvent alimentées à plein temps par l'éclairage artificiel (lampes électriques). Il s'agit en réalité de pièce dite « aveugle ». Il est donc d'une grande nécessité de proposer un système permettant à ces types de salles de bénéficier de la lumière naturelle afin de réduire la consommation énergétique observée. Ainsi, différents systèmes d'éclairage naturel sont disponibles (tableau 1) [8] et les puits de lumière, de par leur efficacité, ont été retenus pour cette étude. Un système de puits de lumière consiste en une ouverture horizontale ou inclinée dans le toit d'un bâtiment. Il est conçu pour capter la lumière du soleil lorsqu'il est au zénith, permettant à la lumière du jour de pénétrer dans les bâtiments. On distingue différents types de puits de lumière. Les puits de lumière avec laser Cut panels [9] dont la performance dépend de l'espacement de laser Cut panels, de l'angle d'inclinaison de la pyramide ou du triangle, de la profondeur du puits de lumière, de l'heure, du jour, de la saison et des conditions du ciel (figure 1.a). Ce dispositif peut fournir un éclairage qui atteint 1200 lux sous un ciel clair, alors que sous des conditions de ciel couvert, l'éclairage intérieur est compris entre 250 lux et 600 lux.

Tableau 1. Dispositifs d'éclairage naturel

Types d'éclairages naturels	Dispositif d'éclairages	Avantages	Limites
Eclairage latéral	Etagères	Réduction d'éblouissement et contraste Distribution plus uniforme de lumière	Non adapté aux pièces exposées au nord
	Vitrages prismatiques	Amélioration significative du confort thermique	Effet vitrage prismatique négligeable en ciel couvert
	Plafond anidolique	Augmentation du facteur de lumière du jour Meilleur éclairage à ciel couvert	Eblouissement en ciel dégagé
Eclairage zénithal direct	Verrière	Appréciable en cas d'obstacles extérieurs élevés	Apport solaire important Difficulté de nettoyage
	Dôme	Meilleur facteur de lumière du jour	Eblouissement important Gains de chaleur très importants
	Tabatière	Luminance élevée Eclairage intérieur uniforme	Problèmes d'étanchéité Difficulté de nettoyage
Eclairage au zénithal indirect	Toitures en dents de scie	Eclairage suffisant et homogène Limitation des apports solaires	Rayon solaire direct
	Les lanterneaux	Absence d'effet directionnel de la lumière du jour Distribution des FLJ symétrique	Inclinaison du vitrage
	L'Atrium	Diminution du risque d'éblouissement	Eclairage dépendant de la réflexion des matériaux
	Fibres optiques	Distance parcourue non sensible sur la luminosité	Onéreux
	Puit de lumière	Eclairage obtenu même dans les profondeurs Pas d'éblouissement et de surchauffe.	Coudes et longues distances diminuent l'éclairage

Son rendement sera maximisé lorsqu'on inverse la position de la pyramide ou du triangle en orientant le sommet vers le bas [10]. Les puits de lumière avec élément optique holographique (EOH) sont installés sur les toits plats ou en pentes et qui peuvent fournir un niveau d'éclairage uniforme dans un espace à condition que sa surface vitrée ne soit pas supérieure à 5 % ou 6 % de la surface totale du toit. Ils sont constitués d'un ensemble d'éléments holographiques placés entre deux plaques de verre conçus pour réorienter directement la lumière du soleil incidente dans une plage angulaire relativement étroite et normale à la surface et la faire pénétrer à travers le puits jusqu'au bas à l'intérieur (figure 1.b). La performance de ce système diffère selon le type de ciel (clair ou couvert). Le gain

thermique peut fortement être produit dans les climats chauds. Parmi les inconvénients de ce système, le coût élevé de production à cause de la complexité du processus de fabrication. De plus, si la surface du puits de lumière est importante, le risque d'éblouissement ou de surchauffe peut fortement se produire surtout à la mi-journée. En outre, les éléments optiques holographiques nécessitent un nettoyage et une maintenance permanente afin de garder leur transparence et leur performance [10]. Les tubes solaires (figure 1.c) sont des dispositifs dont le fonctionnement consiste principalement à apporter la lumière directe du soleil dans des pièces qui ne possèdent pas d'ouverture sur l'extérieur ou en complément d'une ouverture existante, comme il permet d'éclairer des espaces ayant une grande profondeur sans produire de surchauffe en été [11]. Ce système est un dispositif linéaire qui canalise la lumière au centre d'un bâtiment [12]. Il permet également de réduire considérablement la consommation énergétique pendant le jour. Il est constitué de trois composants: un dôme, un conduit lumineux et un diffuseur. Le dôme est un collecteur extérieur en forme de coupole claire lumineuse, fabriqué en polycarbonate propre qui élimine tous les rayons ultraviolets indésirables et empêche la pénétration de la poussière et de la pluie. Le collecteur doit être installé au niveau du toit afin de collecter et capter le maximum de lumière du soleil. Le conduit de lumière se présente sous forme d'un tube recouvert d'un film réfléchissant qui agit comme un élément de transport léger qui guide la lumière dans le bâtiment par réflexion. Le tube doit avoir des surfaces internes hautement réfléchissantes et l'utilisation d'un film prismatique optique ou d'une feuille d'aluminium de haute réflectance, d'environ 95 à 99 %, augmente considérablement son rendement [13]. Le diffuseur prend la forme d'un dôme en polycarbonate blanc monté sur le plafond de la pièce à éclairer, il peut être plat, convexe ou concave. Il est fait d'un matériau transparent et sa transparence varie pour répondre aux besoins de l'éclairage. Son rôle consiste à diffuser la lumière réfléchi depuis le tube afin de la répartir à l'intérieur. L'enquête menée par Marwaee et al [14] sur treize bâtiments a révélé que les tubes solaires pourraient fournir 25 % à 50 % d'éclairage nécessaire sur un plan de travail et la performance maximale de ce système est obtenue dans des conditions de ciel dégagé (clair); l'éclairage atteint 1200 lux contre un éclairage de 57 lux seulement sous un ciel couvert.

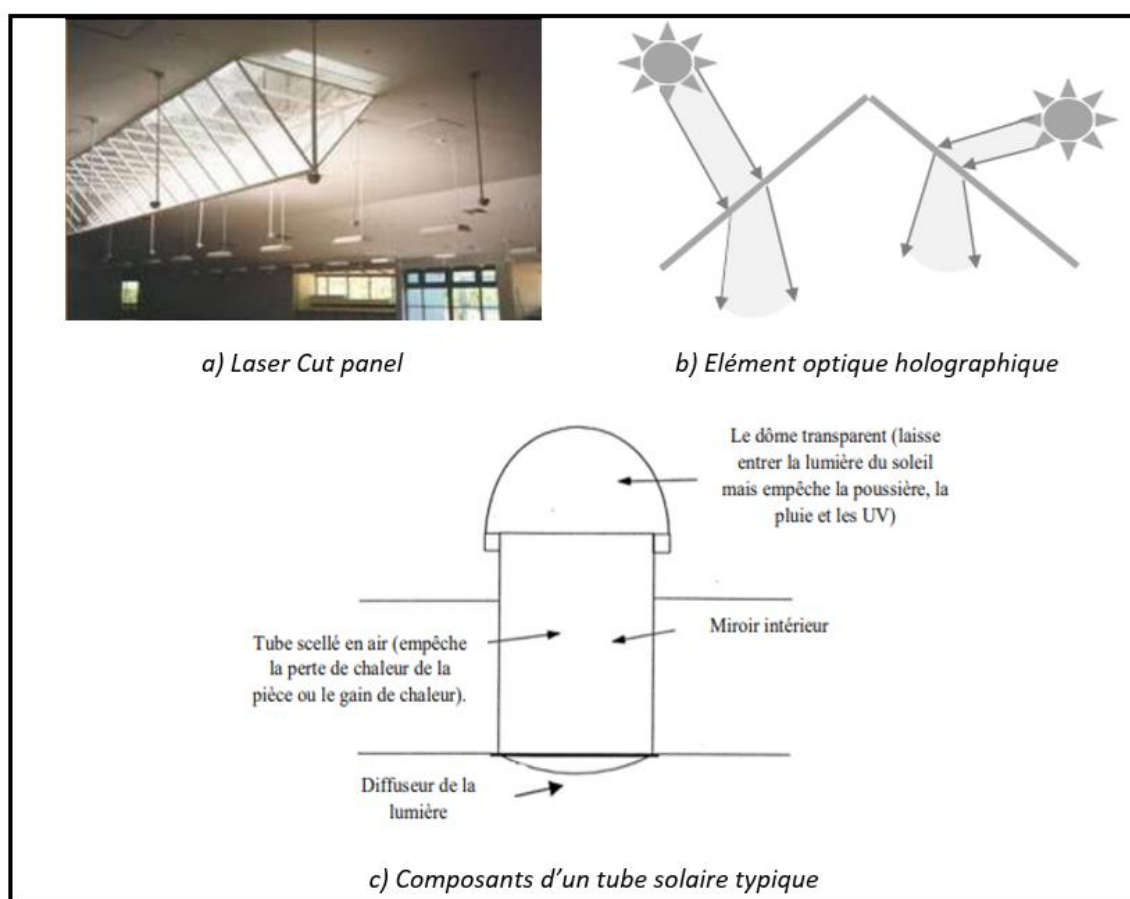


Fig. 1. Systèmes de puits solaire

2 MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1 MATÉRIEL

Dans le cadre de la présente étude, le logiciel de simulation DIALux evo a été retenu et a permis de modéliser les différentes caractéristiques du bâtiment (géométrie, composition des parois, ventilation...). Un luxmètre de marque TES, de portée 200000 lux et

de résolution 0,1 a permis de relever les niveaux d'éclairement dans la pièce mise en étude et un télémètre laser a permis d'effectuer les mesures des dimensions à l'intérieur de celle-ci. Les caractéristiques dimensionnelles de la pièce étudiée se présentent sur la figure 2. Sur cette figure, longueur $a = 5,35 \text{ m}$, largeur $b = 3,13 \text{ m}$, hauteur $H = 3 \text{ m}$, hauteur du plan de travail $e = 0,85 \text{ m}$, hauteur de pose de luminaire: $lp = 0 \text{ m}$, hauteur utile h ($h = H - lp - e$).

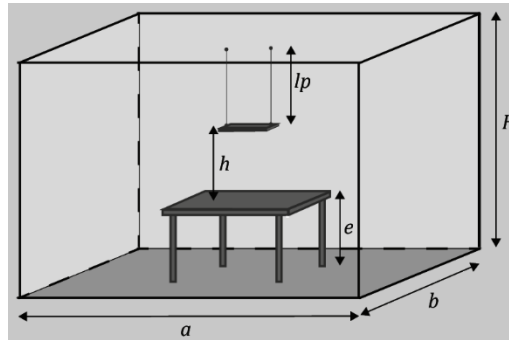


Fig. 2. Représentation du local étudié

Ainsi, un prototype de bâtiment de dimensions 30 cm x 30 cm x 30 cm, intégrant un système de puits solaire a été réalisé à partir de matériaux existants localement (fig.3). Il est utile de connaître les niveaux d'éclairement recommandés suivant l'ergonomie de travail. Pour cela, nous avons utilisé la norme européenne EN 12464-1 qui donne les prescriptions pour les systèmes d'éclairage pour la plupart des lieux de travail intérieurs et leurs zones associées en termes de quantité et de qualité de l'éclairage.



Fig. 3. Prototype réalisé

2.2 MÉTHODE

Dans le cadre de cette étude, nous avons dans un premier temps identifié la salle apte à servir de base pour les simulations. Des mesures d'éclairement ont été ensuite faites heure par heure dans le local et comparées à la mesure horaire de l'éclairement extérieur. Après cela, il a été dimensionné un éclairage artificiel convenable avec le logiciel DIALux evo. La pièce est constituée de deux portes et de deux fenêtres vitrées. La composition des parois est définie dans le logiciel. Après avoir modélisé la géométrie du bâtiment et paramétré les autres aspects de la simulation, le mode de sélection lumière permet d'insérer les luminaires grâce à un catalogue de marques auxquels le logiciel est associé. Grâce à l'orientation du terrain, il a été défini une zone d'étude qui est Cotonou (Bénin). Le prototype expérimental a alors été réalisé et ses performances ont été testées.

2.2.1 DETERMINATION DU BESOIN EN ÉCLAIRAGE DE LA SALLE EN ÉTUDE

La méthode utilisée consiste à dimensionner l'éclairage en tenant compte de toutes les caractéristiques du local: dimensions, coefficient de réflexion des parois, position des luminaires, vieillissement des lampes. Ainsi, on suit la base de calcul pour chaque local en spécifiant la zone de calcul, l'éclairement moyen et minimum, la couleur et le coefficient de réflexion des parois, l'indice du local, le facteur de suspension, le facteur de maintenance, les caractéristiques du luminaire et l'utilité du local. On obtient alors le nombre de luminaires en fonction de leurs caractéristiques et leur disposition.

- Facteur de réflexion du local

La codification s'exprime par trois chiffres correspondant en % aux coloris: plafond, murs, plan utile. Les parois vitrées ont un rôle négligeable pour la réflexion et ne sont pas prises en compte.

Tableau 2. Codification des facteurs de réflexion

Coloris	Très clair	Clair	Moyen	Sombre	Nul
Plafond	8	7	5	3	0
Mur	7	5	3	1	0
Plan utile	3	3	1	1	0

Pour cette étude:

- Plafond = blanc clair soit 70 % équivalent à 7
- Murs = clairs soit 50 % équivalent à 5
- Plan utile = clair sombre 10 % équivalent à 1

- Calcul de l'indice K du local

L'indice K du local se déduit des dimensions géométriques, de la hauteur du plan des luminaires et de la hauteur du plan de travail.

$$K = \frac{a \times b}{(a+b) \times h} \quad (1)$$

- Facteur de suspension J

$$J = \frac{lp}{lp+h} \quad (2)$$

- Caractéristiques du luminaire retenu

- Tube Led: 1,20 m
- Flux lumineux: 1440 lm
- Puissance: 18 W

- Détermination de l'utilance Ui

Afin de déterminer l'utilance, il faudrait choisir la classe de la qualité des luminaires en fonction de l'occupation de la salle. En croisant le coefficient de réflexion et l'indice K, on déduit la valeur de l'utilance Ui.

- Facteur de maintenance

On prend un facteur de maintenance correspondant au cas d'utilisation des lampes Tube Led dans un bureau avec peu d'empoussièrement: $fm = 1,25$.

- Flux lumineux à fournir

$$F = \frac{E \times a \times b \times e \times d}{\eta \times Ui} \quad (3)$$

- Nombre de luminaires et disposition

$$N = \frac{F}{f} \quad (4)$$

- Éclairement en fin de vie des lampes

$$E = \frac{f \times n \times \eta \times Ui}{a \times b \times fm} \quad (5)$$

Avec

f: flux lumineux produit par un appareil
 n: nombre de luminaires
 a: longueur du local en m
 b: largeur du local en m
 Ui: facteur d'utilance
 η : rendement du luminaire
 fm: facteur de maintenance

- Éclairage en début de vie des lampes

$$E' = E \times fm \quad (6)$$

Avec

E: Éclairage en fin de vie des lampes

fm: facteur de maintenance

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 ECLAIRAGE ARTIFICIEL CONVENABLE

Le tableau 3 présente les résultats issus du dimensionnement de l'éclairage artificiel dans le local retenu.

Tableau 3. Résultats du dimensionnement

Paramètres	Données
Hauteur utile de la zone de calcul h_3	2,15 m
Éclairage moyen ; minimum (lux)	500 ; 300
Couleur et coefficient de réflexion des parois	751
Indice du local	1
Facteur de suspension	0
Facteur de maintenance	1,25
Utilance du local	78%
Flux lumineux à fournir	8474,44 lm
Nombre de luminaires de 18 W	6 lampes
Éclairage en fin de vie des lampes	305,86 lux
Éclairage en début de vie des lampes	382,32 lux

En utilisant l'éclairage exigé par la norme NF EN 12464-1 et d'après les calculs effectués plus haut, il est admis que pour un confort visuel dans la salle retenue, il faudrait implanter six lampes réparties comme sur la figure 3. Or dans le local étudié, il n'y est installé que deux lampes de ce type (pour une même puissance et flux de lampe). Nous pouvons alors conclure que même l'éclairage artificiel actuel du local est non convenable du point de vue des exigences en matière de confort visuel.

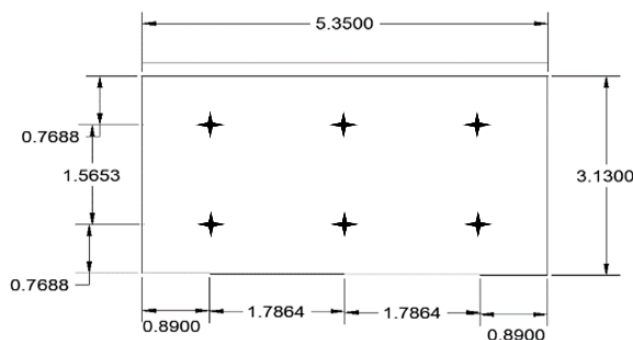


Fig. 4. Schéma d'implantation des luminaires

3.2 EVALUATION DE L'ECLAIRAGE DANS LA SALLE ÉTUDIÉE

La figure 5 présente l'évolution de l'éclairage dans la salle tout au long d'une journée, selon que les lampes soient allumées ou éteintes. Ces valeurs sont ensuite comparées à l'éclairage minimum recommandé.

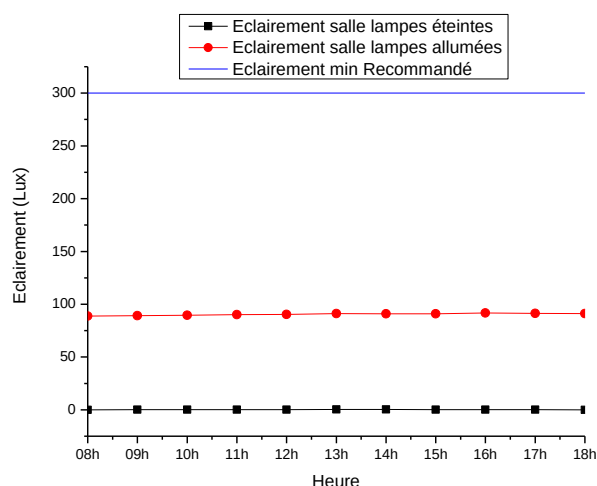


Fig. 5. Prototype réalisé

A l'analyse de la figure 5, on confirme que la salle constitue effectivement une pièce aveugle car quel que soit le moment de la journée, l'éclairage mesuré sans lampe électrique allumée varie entre 0 et 0,3 lux. De plus, l'éclairage artificiel installé est non conforme aux recommandations de la norme NF EN 12464-1 qui est normalement de 300 lux au minimum. Cette situation pourrait dégrader le confort visuel des occupants de cette salle. Néanmoins, l'éclairage naturel extérieur est largement suffisant pour une autonomie complète en lumière de jour. La figure 6 illustre la comparaison entre l'éclairage extérieur mesuré et ceux obtenus par mesure dans la salle.

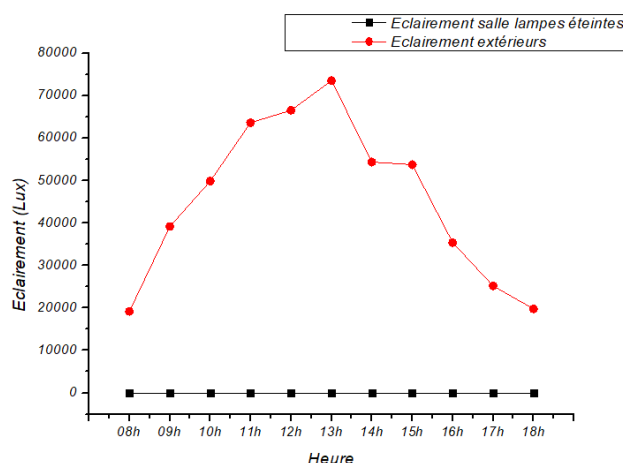


Fig. 6. Comparaison entre l'éclairage extérieur et intérieur (ampoules éteintes)

D'après la figure 6, alors que l'éclairage naturel maximal obtenu dans la salle est de 0,3 lux, à l'extérieur, des valeurs d'éclairage de 73600 lux sont obtenues soit près de 250000 fois l'éclairage obtenu à l'intérieur. Il est alors important de mettre en place un système pour la redirection de la lumière vers la salle étudiée. Dans cette optique, il a été simulé l'éclairage dans le local avec un système de puits de lumière comme présenté sur la figure 6.

On constate que l'éclairage obtenu par simulation est suffisant et largement au-dessus des valeurs recommandées. Cela nous amène à conclure que le système proposé est convenable pour les besoins en confort visuel dans ce local. Cependant, pour éviter des risques d'éblouissement, il serait possible d'intégrer des systèmes de dispersion partielle de lumière absorbée par le puits proposé.

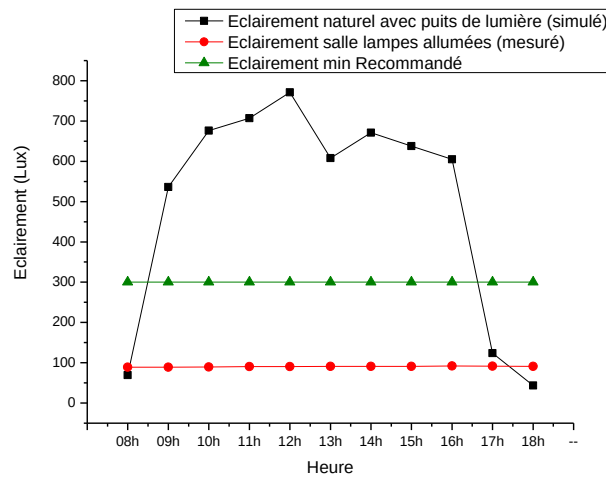


Fig. 7. Comparaison entre puits de lumière simulé et l'éclairage artificiel

3.3 EVALUATION DES PERFORMANCES DU PROTOTYPE REALISE.

Pour une meilleure appropriation expérimentale des systèmes de puits de lumière, le prototype réalisé et instrumenté, donne les résultats présentés sur les courbes de la figure 8:

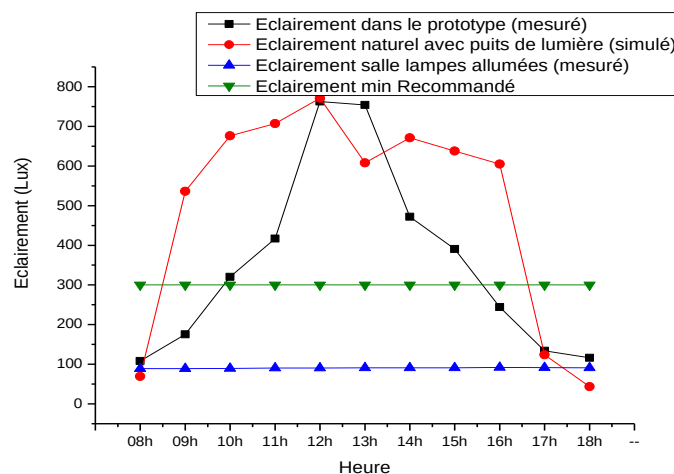


Fig. 8. Résultat des tests du prototype

On note d'une part une concordance entre les valeurs obtenues par simulation et celles mesurées sur le prototype autour de midi. Ceci permet de dire qu'il est vraiment possible d'opter pour ce type de système afin d'améliorer le confort visuel dans le bâtiment en général et les pièces aveugles en particulier.

3.4 ANALYSE DE LA CONSOMMATION ENERGETIQUE DU BATIMENT AVANT ET APRES INSTALLATION DU SYSTEME

La situation actuelle de l'éclairage par les lampes électriques (deux lampes à LED de 18 W) n'est pas la situation de référence pour cette salle car ne respectant pas les normes en matière de confort visuel. Pour le confort visuel, il faut six lampes de ce type comme dimensionné.

Les hypothèses de calcul suivantes ont été utilisées et les résultats sont présentés dans le tableau 4:

- La durée d'utilisation du local 5 h / jour et 5 jours / 7 jours (bâtiment scolaire);
- 200 jours par an (suppression des week-ends, des jours de congés et de vacances)
- Coût de revient moyen de l'énergie 200 FCFA/kWh (en tenant compte du prix du kWh brut, de l'entretien, de la TVA et des contributions).
- Contenu CO₂/kWh d'après le mix énergétique du Bénin: 0,72 kgCO₂eq/kWh (Base Carbone, ADEME, 2021)
- La lumière naturelle couvre entièrement les besoins des occupants pendant les horaires d'opération de la salle qui correspondent à la disponibilité de l'éclairage naturel.

Tableau 4. comparatif de la consommation

Consommation énergétique/an pour 6 lampes (kWh)	Emission de GES correspondante (kgCO ₂ eq/an)	Coût d'énergie annuel (F CFA)
108	77,76	21 600

Il faut retenir après analyse de ce tableau que 108 kWh sont économisés par an en optant pour le système de puits de lumière, soit une économie financière directe de 21 600 F CFA. Précisons qu'en dehors des bénéfices financiers et énergétiques, un système de lumière naturelle offre une pureté de lumière et un rendu incomparable. Il permet également une réduction des émissions de gaz à effet de serre inhérents à l'utilisation de l'énergie. Elles sont évaluées à 77,76 kgCO₂eq/an.

4 CONCLUSION

Cette étude avait comme objectif d'améliorer l'éclairage naturel dans un local par un système de puits de lumière. Nous avons pour cela, fait une revue de littérature des différentes notions fondamentales de l'éclairage. Ce qui nous a permis de choisir les tubes solaires comme système d'éclairage naturel optimal pour la salle étudiée, afin d'en faire une modélisation et la simulation. Les différents résultats issus de cette simulation ont été également présentés et discutés. La simulation de l'éclairement dans la salle étudiée avec un puits de lumière installé révèle que la valeur moyenne de l'éclairement dans cette salle est 490 lux. Ce qui est bien conforme aux exigences de la norme NF EN 12464-1 pour les salles de professeurs.

On note une réduction de la consommation énergétique de 108 kWh/an correspondant à une économie financière de 21600 FCFA/an et 77,76 kgCO₂eq évité chaque année, pour ce seul local.

Tout l'intérêt de notre approche est de réduire la consommation de l'énergie électrique. Dans le même temps nous avons contribué au développement durable qui représente un sujet de notre siècle tout en permettant la réduction des gaz à effet de serre engendré par l'utilisation de l'énergie électrique.

REFERENCES

- [1] D. Cunliah, «Changement climatique et travail: l'objectif d'une «transition juste», » Journal international de recherche syndicale, vol. 2, n° 12, pp. 130-357, 2010.
- [2] Bourque, «Les changements climatiques et leurs impacts, » Changements climatiques, vol. 1, n° 12, Septembre 2000.
- [3] AFD et BAFFD, «L'énergie en Afrique à l'horizon 2050, » 2009.
- [4] CERECC, ITC, CASA AFRICA, «Les Énergies Renouvelables en Afrique de l'Ouest. État, expériences et tendances, » 2012.
- [5] Net, Zero, by et 2050, «A Roadmap for the Global Energy Sector, » [En ligne]. Available: iea.li/nzeroadmap.
- [6] E. Gago, T. Muneer, M. Knez et H. Köster, «Natural light controls and guides in buildings. Energy saving for electrical lighting, reduction of cooling load, » pp. 1-13, 2015.
- [7] S. Ferdinando, G. Iacopo, d. S. Maicol et d. L. V. Andrea, «Energy and reliability optimization of a system that combines daylighting and artificial sources. A case study carried out in academic buildings, » Applied Energy, vol. 169, pp. 250-266, 2016.
- [8] V.-M. Daniel, Á. F.-B. Antonio et G.-F. Berta, «Natural Lighting Systems Based on Dielectric Prismatic Film, » pp. 156-179, 3 Octobre 2012.
- [9] K. J. a. R. Watkins, «Daylight in building, » 2010.
- [10] M. D. Safa, Modélisation du système anidolique pour un environnement lumineux.
- [11] G. Oakley, S. Riffat et L. Shao, «Daylight performance of lightpipes, » Solar Energy, vol. 69, n° 12, pp. 89-98, 2000.
- [12] D. Carter et M. Al Marwae, «User Attitudes Toward Tubular Daylight Guidance Systems., » Lighting Research and Technology, vol. 41, pp. 71-88, 2009.
- [13] X. Zhang, T. Muneer et J. Kubie, Lighting Research and Technology, vol. 34, pp. 149-169, 2002.
- [14] M. Al Marwae et D. Carter, «A Field Study of Tubular Daylight Guidance Installations, » Lighting Research and Technology, vol. 38, pp. 241-258, 2006.

Analyse linéaire et structurale des déformations affectant les formations d'âge paléocène à miocène de la partie sud du sous-bassin de l'Ader Doutchi

[Lineament and structural analysis of deformations affecting the Paleocene-Miocene Formations in the southern part of the Ader Doutchi sub-basin]

Aminou A. Maâzou¹, Assoumane Tsayabou², Habsatou Ousmane¹, Aguede Komi¹, and Moussa Konaté¹

¹Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Géologie, Laboratoire de Géologie, Équipe Bassins et Géoressources, Niamey, Niger

²Institut National de la Recherche Agronomique du Niger, Département de la Gestion des Ressources Naturelles, Laboratoire de Cartographie et Classification des Sols, Niamey, Niger

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

ABSTRACT: The present study focuses on the analysis of lineaments affecting Paleocene-Miocene formations in the Ader Doutchi sub-basin (Tahoua region, Iullemeden basin, central Niger). The main objective of this study is to carry out a geostatistical analysis of the different lineamentary structures affecting the Bouza and Keita regions. The methodological approach adopted is based on the use of remote sensing techniques and GIS tools to analyze Landsat 8 images and to compare them with field data. This methodological approach facilitated the identification of five primary fracture families, characterized by orientations ranging from N0° to N40°, N40° to N80°, N90° to N130°, N130° to N150°, and N160° to N170°.

KEYWORDS: Niger, Iullemeden Basin, Tahoua, Ader Doutchi, Dinosaur, SIG, Fractures.

RESUME: La présente étude porte sur l'analyse de linéaments affectant les formations d'âge paléocène à miocène du sous-bassin de l'Ader Doutchi (région de Tahoua, bassin des Iullemeden, Niger central). L'objectif principal de ce travail est d'effectuer une analyse géostatistique des différentes structures linéamentaires affectant les régions de Bouza et de Keita. La méthodologie utilisée est basée sur l'utilisation de techniques de télédétection et d'outils SIG pour analyser les images Landsat 8 et les confronter aux données de terrain. Cette approche a permis de répertorier cinq principales familles de fractures dont les directions sont comprises entre N0° et N40°, N40° et N80°, N90° et N130°, N130° et N150°, ainsi que N160° et N170°.

MOTS-CLEFS: Niger, Bassin des Iullemeden, Tahoua, Ader Doutchi, Dinosaur, SIG, Fractures.

1 INTRODUCTION

Les premières études concernant l'analyse des déformations affectant les dépôts de l'Ader Doutchi ont été réalisées par Maâzou (2018) et Laouali-Idi et Konaté (2019). L'objectif de cette étude est de déterminer les directions des structures linéamentaires du sous-bassin de l'Ader Doutchi, à partir d'images Landsat 8. L'analyse des images satellites, associée au Système d'Information Géographique (SIG) et aux mesures structurales de terrain, a permis d'établir la carte linéaire et structurale du sous-bassin de l'Ader Doutchi. La confrontation des résultats obtenus à ceux des études antérieures réalisées dans le bassin des Iullemeden a permis de distinguer les différents types de structures tectoniques linéaires affectant les formations d'âge paléocène à miocène.

2 CADRE GEOLOGIQUE DU SOUS-BASSIN DE L'ADER DOUTHY

La zone d'étude, représentée par les départements de Bouza et de Keita (**Fig. 1 B**), se situe dans l'Ader Douthi. Elle est une partie intégrante de la région de Tahoua. L'Ader se distingue par une topographie principalement composée de plateaux calcaires ou grés-ferrugineux, dont les altitudes varient de quelques dizaines de mètres à une centaine de mètres. Ces plateaux sont fréquemment marqués par une forte érosion qui a donné naissance à des vallées fossiles (majias), parfois réduites à de simples buttes-témoins (Dikouma, 1990). L'Ader Douthi, ou l'Adar Douthi, s'étend approximativement entre le 5^{ème} et le 7^{ème} degré de longitude Est et le 15^{ème} et le 17^{ème} degré de latitude Nord (**Fig. 1 A**). De part et d'autre du 16^{ème} parallèle, peuvent être distingués l'Ader Douthi Nord et l'Ader Douthi Sud (Dikouma, 1990). Les mesures effectuées concernent trois secteurs: le secteur de Garadoumé, de Garadaoua et d'Akoumoutt (**Fig. 1 B**).

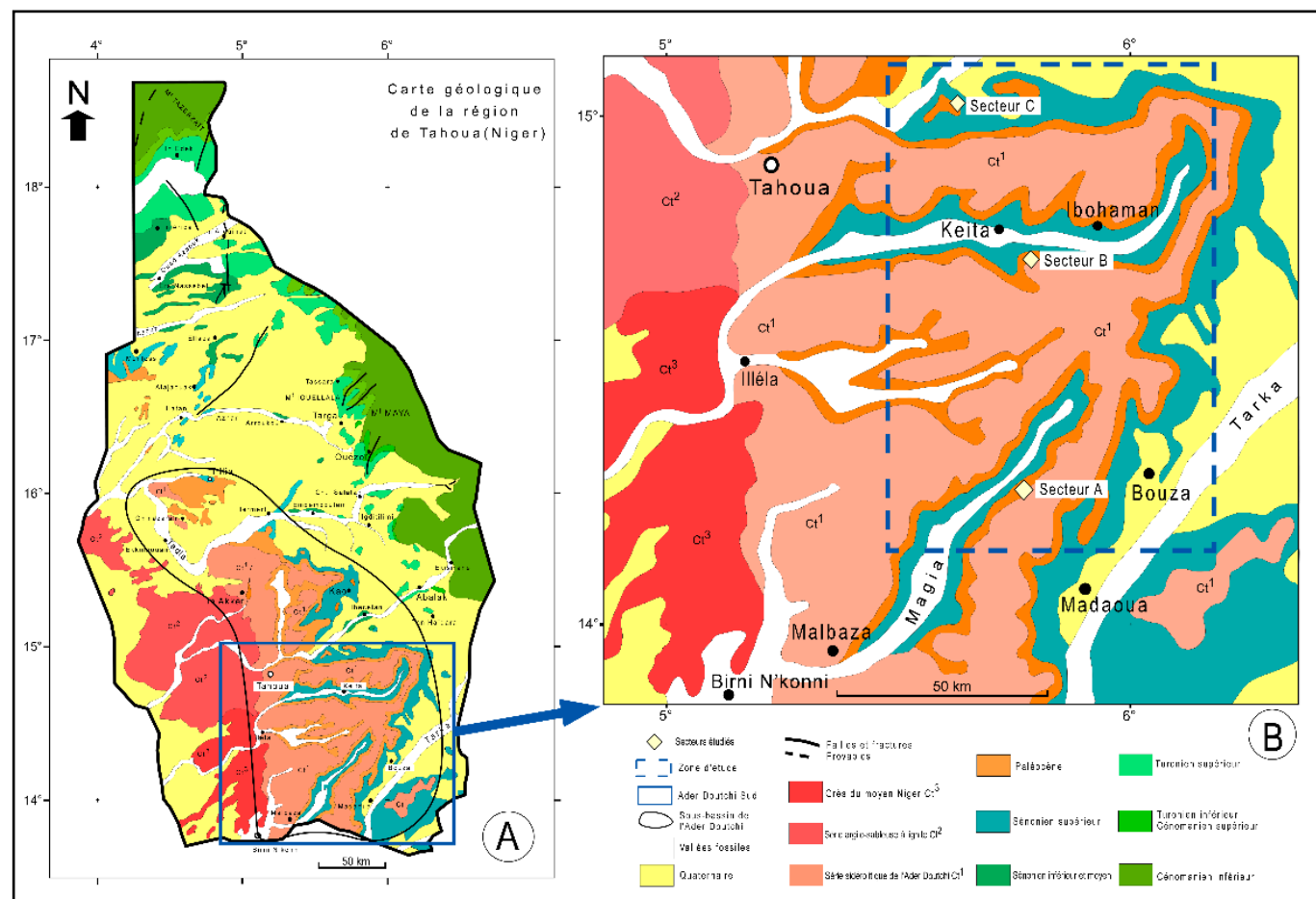


Fig. 1. Carte géologique de la région de Tahoua (extraite de Greigert, 1966) montrant le sous-bassin de l'Ader Douthi (A) et la zone d'étude (B) (Maïzou et al., 2022)

Le Crétacé et le Tertiaire du bassin des Iullemeden, hormis le Continental terminal sensu stricto, affleure sous forme d'une auréole (**Fig. 3 B**) allant du Mali (NW) au Nigéria (SW) en passant par le Niger (Dikouma, 1990). L'Ader Douthi occupe à peu près la partie médiane de cette bande de terrain (Dikouma, 1990). Des termes différents ont été utilisés pour désigner les mêmes formations dans ces trois pays. Il faut noter que dans le même pays, les terminologies ont évolué au cours du temps (**Fig. 2**).

L'évolution géodynamique du bassin des lullemeden est caractérisée par des épisodes tectoniques d'une part et des périodes de transgressions marines d'autre part (Dikouma, 1990). Greigert (1966) et Boudouresque et *al.* (1982) définissent au Niger cinq transgressions marines au Crétacé supérieur et au Tertiaire (**Fig. 4**). Reymont et Dingle (1987) définissent cinq transgressions Tectono-eustatiques à l'échelle de l'Afrique pour la même période. Ces cycles transgressifs, corrélables selon les auteurs avec les cycles eustatiques globaux de Vail et *al.* (1977), ont eu lieu de l'Albien moyen à l'Albien supérieur, au Cénomano-turonien, du Turonien supérieur au Coniacien, au Campano-maastrichtien et du Maastrichtien terminal au Paléocène supérieur Boudouresque et *al.* (1982). Les trois premières transgressions (T1 à T3) proviendraient selon Greigert (1966) du Nord-Est par-dessus l'actuel massif de l'Aïr. Les deux dernières (T4 et T5) envahiraient le bassin par le Nord-Ouest en passant par le Sud de l'Adrar des Iforas (**Fig. 4**). Pour Faure (1966), Petters (1977), Kogbe (1979), Bellion (1987), seules les deux premières transgressions (T1 et T2) proviendraient de l'Est. Les trois dernières arriveraient du Nord-Ouest. Radier (1959) n'exclut pas la voie occidentale pour les transgressions céno-mano-turonniennes. Collignon et LeFranc (1974 a et b) optent prudemment pour la voie occidentale en n'excluant pas totalement la voie orientale; la liaison entre la Téthys se ferait par le Tanézrouft et le détroit soudanais (**Fig. 4**). Desmier (in Dubois et Lang, 1984) pense à une venue par l'Est (seuil du Damergou) (**Fig. 4**). Dikouma et *al.* (1993) considèrent la position de la mer avant la transgression T1 de Greigert (1966), comme étant la première transgression dans le bassin des lullemeden. Ces auteurs définissent ainsi six transgressions (**Fig. 4**).

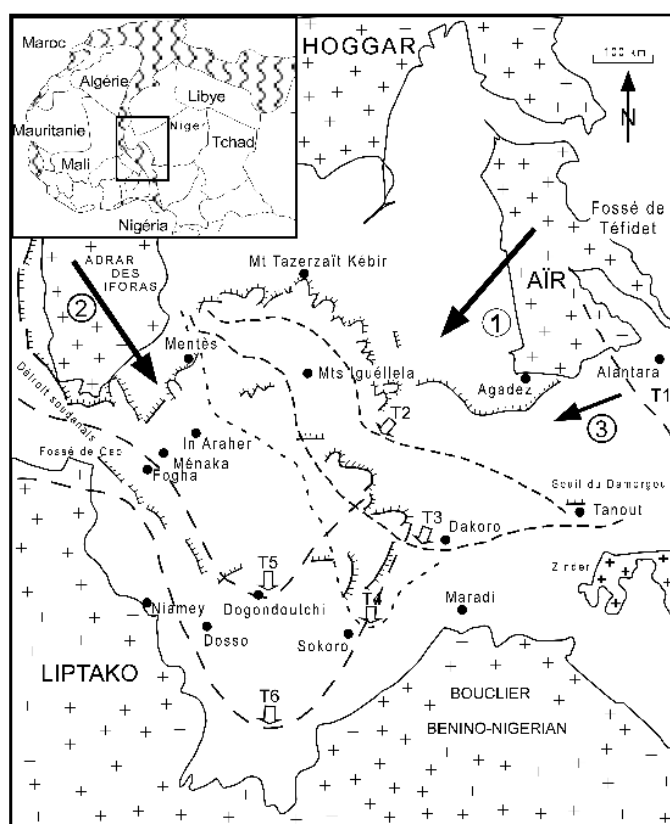


Fig. 4. Extension des transgressions crétacées et tertiaires dans le bassin des lullemeden (Greigert, 1966 et Dikouma et *al.*, 1993, modifiée): T1- Mer avant la transgression à *Neolobites* et *Nigericeras*; T2 et T3- Transgressions à *Neolobites* et *Nigericeras* avec deux avancées du Cénomanién supérieur à Turonien inférieur (Mathey et *al.*, 1991; Courville et *al.*, 1991); La transgression à *Coilopoceras inflatum* du Turonien supérieur à Coniacien (?) n'a pas été reportée; T4 et T5- Transgressions successives (deux fluctuations d'une seule transgression) à *Libycoceras* – Maastrichtien (supérieur ?); T6- Transgression du Paléocène supérieur. (1) Provenance des transgressions céno-mano-turonniennes T2 et T3; (2) Provenance des transgressions maastrichtiennes T4 et T5; (3) Provenance des transgressions T1 à T6 selon Desmier (in Dubois et Lang, 1984, modifiée)

Le schéma paléogéographique de Greigert (1966) est aujourd'hui abandonné au profit de celui de Petters (1978), Kogbe (1979), Bellion (1987), Reymont et Dingle (1987) (**Fig. 5**). Greigert (1966) envisage les transgressions sous forme d'avancées de mers étalées sur de grandes surfaces continentales planes. Selon d'autres auteurs, les transgressions atteignent au contraire le bassin des lullemeden sous forme de chenaux maritimes étroits, situés au droit des fossés tectoniques ou des gouttières topographiques et s'étalant ensuite pour former des mers intérieures dès que la topographie le permet (**Fig. 5**).

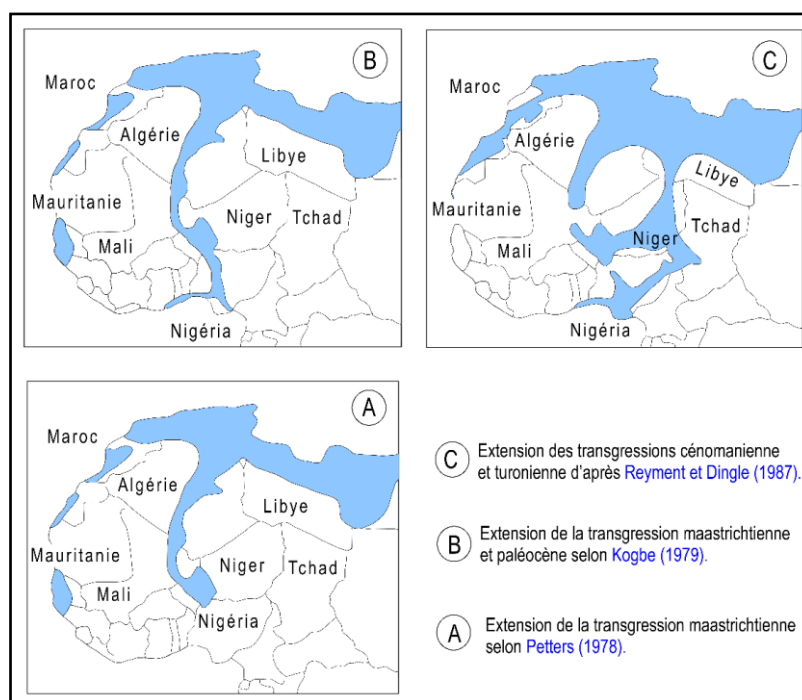


Fig. 5. Schémas paléogéographiques de l'Afrique nord-occidentale au Crétacé supérieur et au Tertiaire (Dikouma, 1990)

3.2 CADRE STRUCTURAL

Les accidents qui affectent le bassin des lullemeden sont d'une part des failles et d'autre part des déformations souples ou mixtes (plis, flexures, flexures-failles) (Dikouma, 1990). L'un des traits structuraux dominants du bassin des lullemeden est la présence d'accidents de socle de grande envergure affectant la couverture sédimentaire (Dikouma, 1990) (Fig. 6). Les rejeux de ces accidents de socle sont à l'origine d'un compartimentage du bassin en horst et grabens, mis en évidence par les études géophysiques (Valsardieu, 1970; Dubois, 1979; Bellion, 1987; Guiraud et al., 1987).

Les épisodes tectoniques affectant les séries sédimentaires du bassin des lullemeden sont mal connus et mal datés (Dikouma, 1990). Bellion (1987) cite les épisodes suivants du Crétacé supérieur au Tertiaire:

- L'épisode intra-Sénonien qui se traduirait dans le Damergou et le Koutous par une discordance entre les formations continentales; il serait à l'origine plus au Sud, dans le bassin de Sokoto au Nigéria, de la discordance du "Rima group" sur les formations sous-jacentes;
- L'épisode fini à post-Maastrichtien qui entrainerait la lacune du Paléocène inférieur observée au Nigéria;
- L'épisode intra-Éocène qui se traduirait par la discordance du Continental terminal et qui serait à l'origine du retrait définitif de la mer après la transgression du Tertiaire.

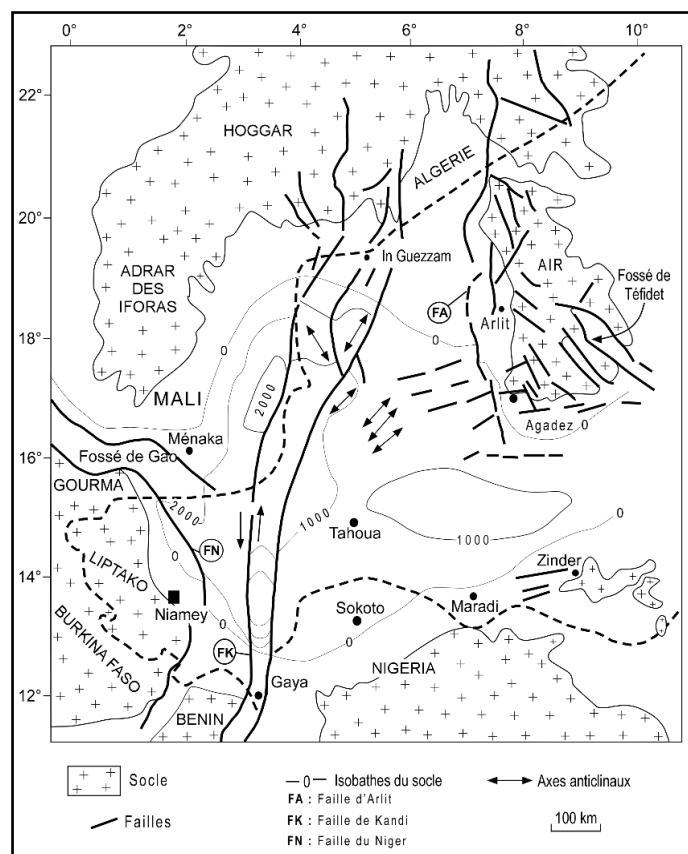


Fig. 6. Carte structurale du bassin des Iullemedden (Dubois, 1979; Bellion, 1987; modifiée)

4 MÉTHODOLOGIE

L'analyse statistique des linéaments consiste à étudier les lois de distribution des longueurs de ces derniers. L'analyse géostatistique, quant à elle, se concentre sur l'étude du variogramme de la densité de fracturations. Cette analyse s'appuie sur la théorie des variables régionalisées et vise à résoudre les problèmes par l'analyse des données spatiales.

4.1 TRAITEMENT ET EXTRACTION DES LINÉAMENTS

Les différents traitements effectués, à savoir application des filtres de Sobel et l'amélioration du contraste, ont permis de réaliser une cartographie manuelle des structures linéaires des régions de Bouza et de Keita (Fig. 7). Le traitement automatique des linéaments par le logiciel LinWin a permis d'obtenir la carte linéamentaire de la zone d'étude. La quantification de ces linéaments a révélé un total de 6 768 linéaments (Fig. 7). Il convient de noter que ces linéaments ne prétendent pas à l'exhaustivité.

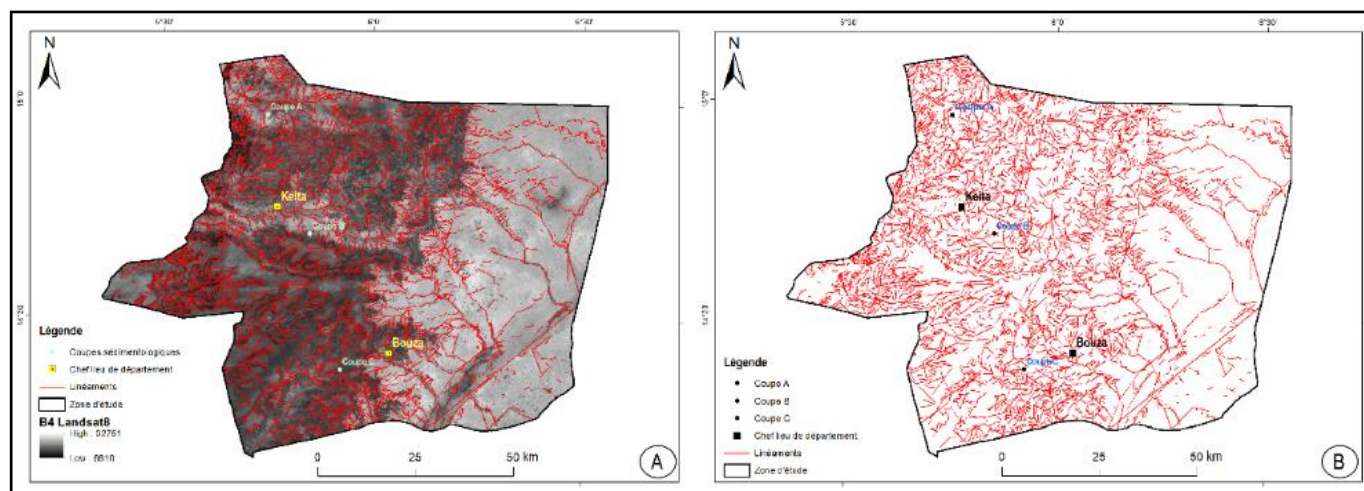


Fig. 7. Enregistrement des linéaments dans la zone d'étude: A- Dessins des linéaments sur l'image Landsat; B - Différents linéaments après enregistrements

4.2 MAILLAGE DE LA ZONE D'ÉTUDE

Un maillage composé de quatre colonnes et deux lignes, soit un total de huit mailles (**Fig. 8**), a été élaboré afin d'identifier les directions majeures au sein de chaque maille (**Fig. 16**).

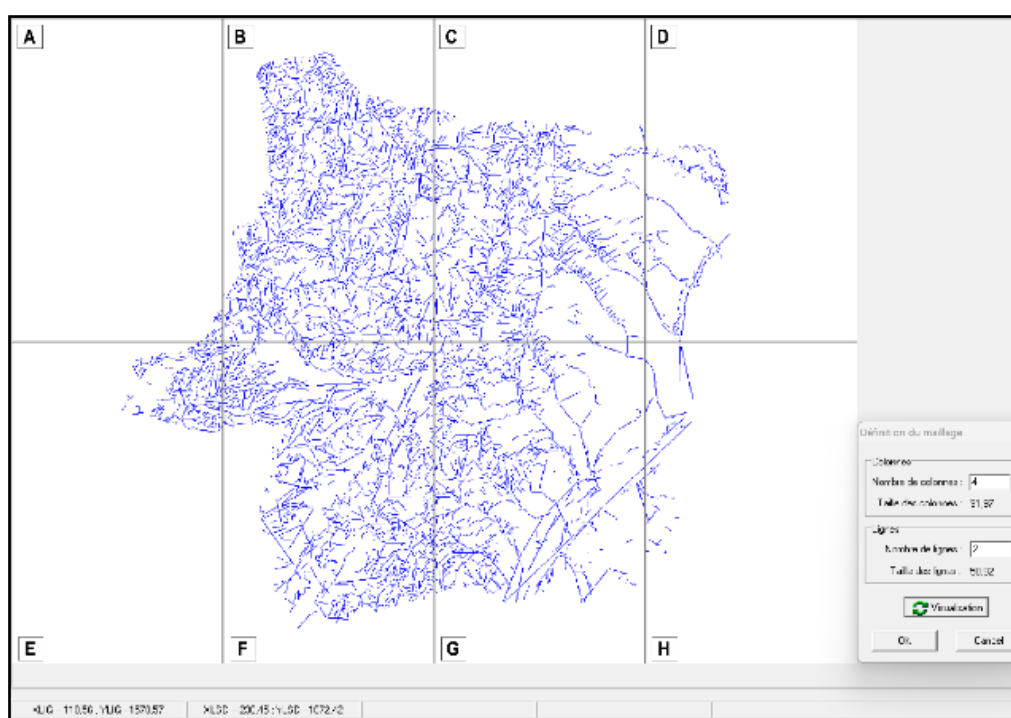


Fig. 8. Définition du maillage (4x2) de la carte linéamentaire de la zone d'étude

La méthodologie mise en œuvre au cours de cette étude est résumée dans la **figure 9**.

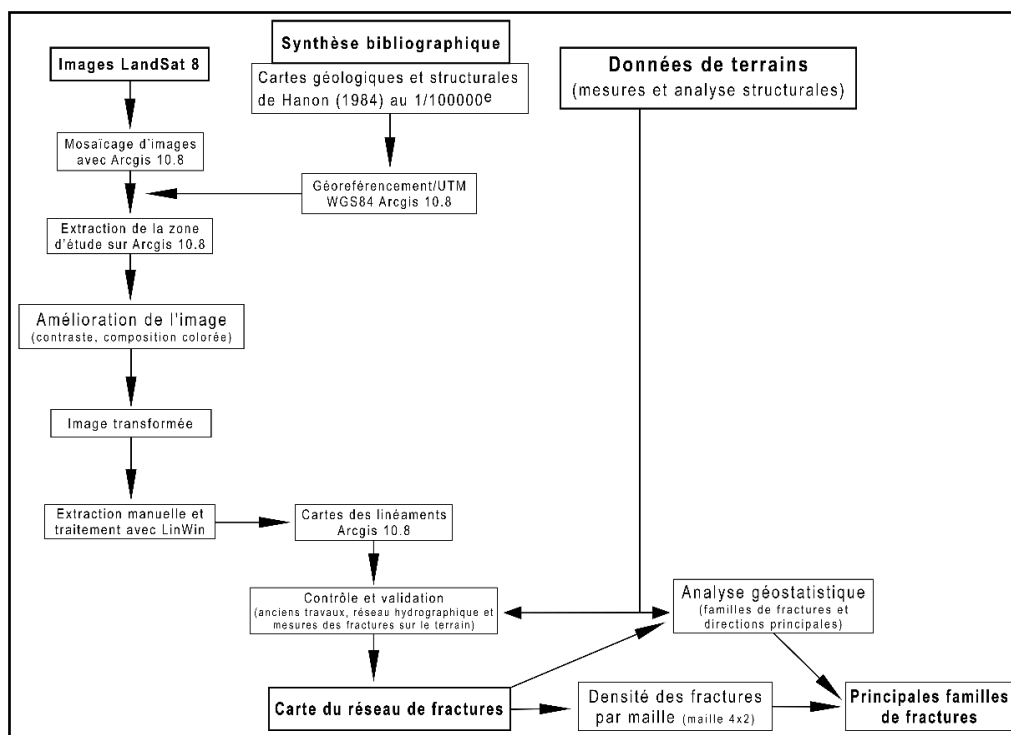


Fig. 9. Organigramme de l'approche méthodologique

5 RÉSULTATS ET DISCUSSION

5.1 CARTE LINÉAMENTAIRE

Une analyse approfondie de la région de Bouza et de Keita, réalisée avec l'utilisation de LinWin, a révélé un total de 6393 fractures de longueur variable au sein de la carte de linéaments tectoniques (**Fig. 10**). Ces fractures sont orientées suivant divers directions (**Fig. 10**). Il convient de noter que la carte du réseau de fractures, bien que pertinente, ne prétend pas à l'exhaustivité. Néanmoins, elle est représentative des fractures des régions de Bouza et de Keita, et par conséquent du sous-bassin de l'Ader Doutchi. Les réseaux de fractures ainsi obtenus ont été utilisés pour les analyses statistiques et géostatistiques.

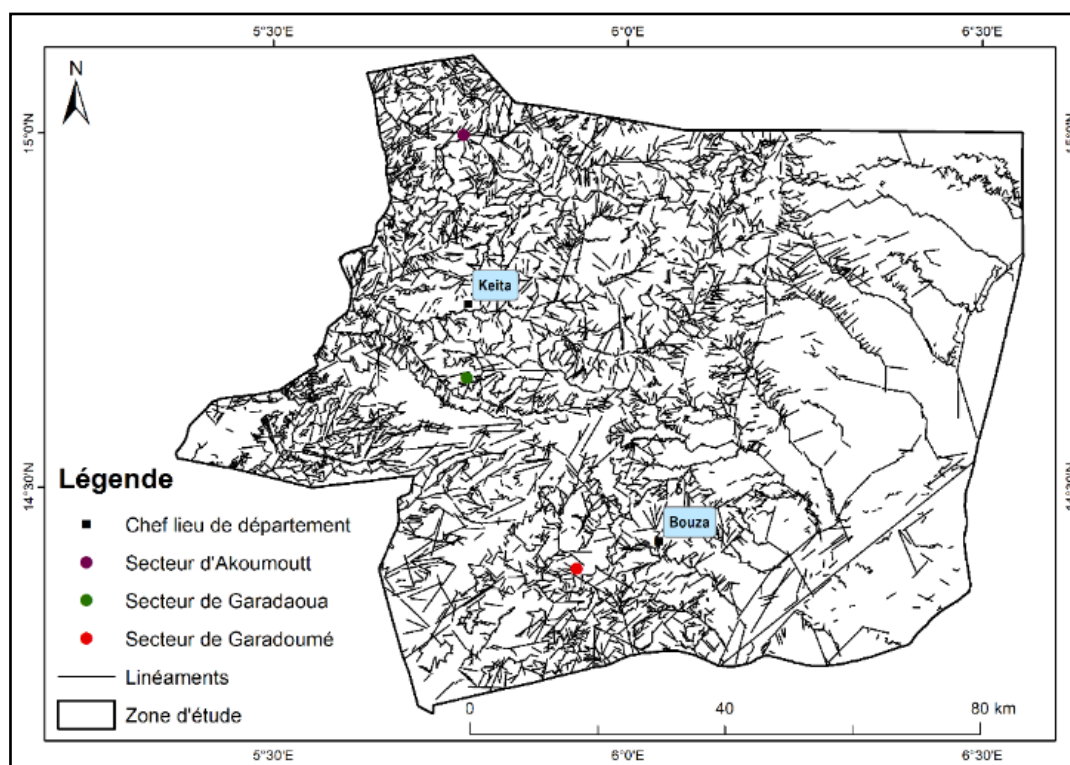


Fig. 10. Carte linéamentaire des régions de Bouza et de Keita (sous-bassin de l'Ader Doutchi)

5.2 CONTROLE ET VALIDATION DU RESEAU DE FRACTURES

Le traitement automatique avec le logiciel LinWin a permis d'éliminer les structures linéaires d'origine anthropique. En effet, les linéaments validés au cours de cette étude présentent des longueurs s'échelonnant de 147 à 40 134 mètres, ce qui contredit les résultats antérieurs de Kouamé (1999) et d'Assoma (2005). En effet, d'après Kouamé (1999) et Assoma (2005), la longueur minimale de linéaments cartographiables sur une image satellitaire est comprise entre 200 et 300 mètres.

5.2.1 VALIDATION À PARTIR DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE

D'après les travaux de Schroeder (1981), cité par Gioan (1985), le réseau hydrographique est un indicateur fiable pour le contrôle et la validation de linéaments. Schroeder (1981) a supposé que toute ligne droite morphologique, qu'elle soit celle d'un cours d'eau ou de tout autre facteur topographique, correspond à un linéament d'origine inconnue, ou à une fracture, si elle est suffisamment longue et apparente. Les résultats de la superposition de la carte linéamentaire des régions de Bouza et de Keita au réseau hydrographique des mêmes localités montrent une cohérence entre les levés linéamentaires et le réseau hydrographique (**Fig. 11**). Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par Ousmane (1988), Karimoune et *al.* (1990), Biémi (1992), Abdou Boko (2018), Abdou Ali et *al.* (2018) et Abdou Ali (2018). Ces auteurs signalent en effet une concordance entre le comportement du réseau hydrographique et les accidents majeurs relevés sur les images satellitaires.

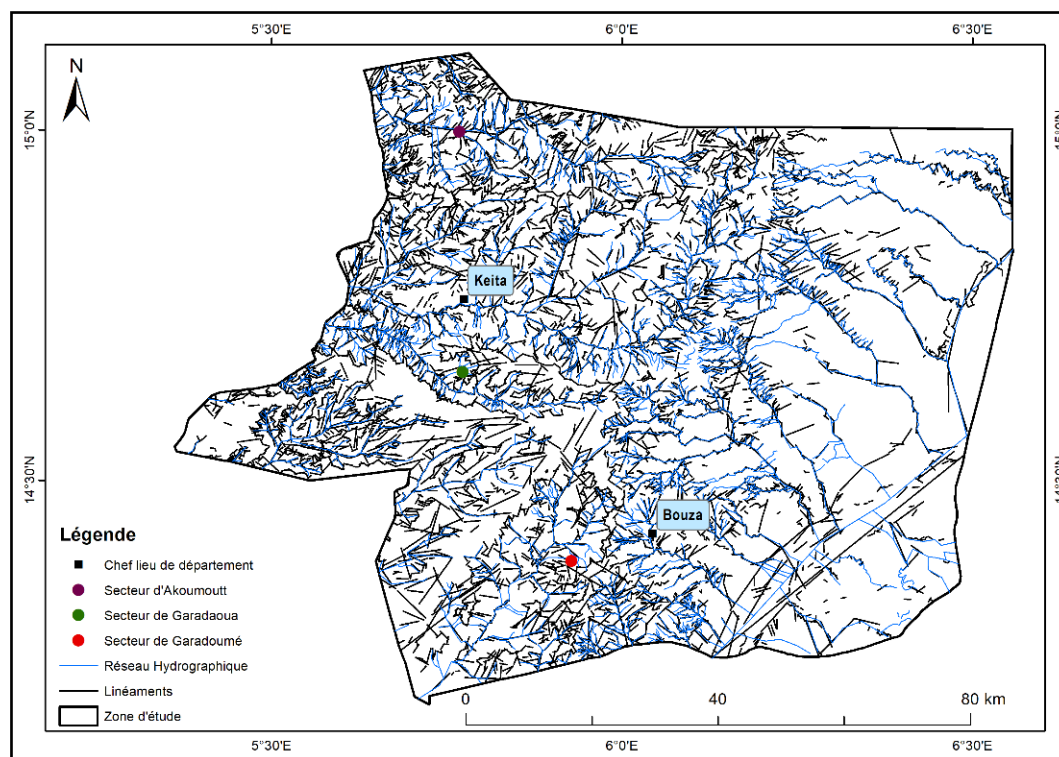


Fig. 11. Carte de la zone d'étude montrant la superposition du réseau hydrographique et des linéaments

5.2.2 VALIDATION À PARTIR DES TRAVAUX ANTERIEURS

Les fractures de directions $N0^{\circ}$ à $N30^{\circ}$ sont identiques à celles observées dans l'Ader Doutchi par Guiraud et Alidou en 1981. Ces derniers ont mis en évidence dans le sous-bassin de l'Ader Doutchi (Bloc Ader Doutchi), des linéaments kilométriques de directions NE-SO (8°) et NO-SE ($N98^{\circ}$). Par ailleurs, les travaux réalisés dans les secteurs de Garadaoua et de Garadoumé par Maâzou (2018) indiquent la présence, de trois familles de fractures dans l'Ader Doutchi (Fig. 12): F1 ($N120^{\circ}$ à $N170^{\circ}$), F2 ($N40^{\circ}$ à $N70^{\circ}$) et F3 ($N80^{\circ}$ à $N110^{\circ}$).

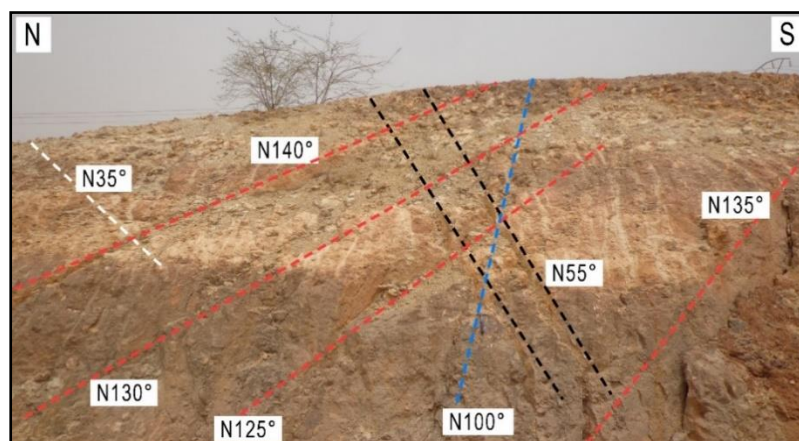


Fig. 12. Différents réseaux de fractures de direction $N35^{\circ}$ à $N55^{\circ}$, $N100^{\circ}$ et $N130^{\circ}$ à $N140^{\circ}$, affectant les bancs et inter-bancs calcaires (membre de Tamaské) d'âge thanétien Maâzou (2018), dans le secteur de Garadaoua

La plupart des directions observées ont été signalées par Laouali-Idi et Konaté (2019) et par Laouali-Idi (2020) avec les directions majeures ($N0^{\circ}$, $N55^{\circ}$ et $N140^{\circ}$) dans l'Ader Doutchi. Laouali-Idi et Konaté (2019) ont mis en évidence la présence de

linéaments d'orientations NW-SE, NE-SW, N-S et W-E dans l'Ader Douthi. Ces directions linéamentaires ont été identifiées dans l'Atlas Tunisien par Ezzine et *al.* (2012).

Par ailleurs, Abdou Ali et *al.* (2018) ont mis en évidence des fractures de directions N0° à N30° dans la région de Dosso, à extrémité ouest du bassin des Iullemmeden. Ces auteurs ont également décrit des fractures de directions majeures NE-SW et NW-SE dans la même région.

Dans les bassins de Tin Mersoï, de Tin Séririne et de l'Irhazer, Valsardieu (1971) a décrit des linéaments d'orientations N60°E à E-W, N110° à N140°E, N170°E à N-S et N10° à N30°E. Dans le même bassin, plusieurs auteurs (Greigert et Pougnet, 1967; Guiraud et Alidou, 1981; Sempéré, 1981; Abdou Boko et *al.*, 2017) ont mis en évidence des systèmes de fractures d'orientations N0° à N10°, N70° à N80° (failles conjuguées de N130° N140°), N30° à N40°, N60° à N70° et N100° à N110°. Selon ses auteurs, ses systèmes de fractures correspondent respectivement à la faille d'In Azaoua-Arlit, au faisceau de Tin Adrar, à la flexure faille de Madaouéla, aux fractures coïncidant avec les principaux chenaux des grès de Guézouman (Gerbeaud, 2006; Abdou Boko et *al.*, 2017). En outre, les linéaments de l'Ader Douthi coïncident avec certaines directions des accidents majeurs, notamment le linéament In-Azaoua-Arlit N0°, le système de failles N30° de Madaouéla (Sempéré, 1981), le faisceau de Tin Adrar de direction N70° à N80° et le système de faille N130° à N140°.

5.2.3 VALIDATION À PARTIR DES TRAVAUX DE TERRAIN

La carte linéamentaire ainsi obtenue a ensuite été confrontée aux observations de terrain. Les linéaments qui coïncident avec les directions de fractures mesurées sur le terrain sont considérés comme étant des fractures (Laouali-Idi, 2020; Razack, 1984). Afin de réaliser les tests de validation des linéaments, 706 mesures de fractures, de failles et de plis ont été effectuées sur le terrain. Le **tableau 1** présente les taux et les nombres de mesures pour les intervalles de 10°. L'analyse de l'histogramme de la **figure 13** révèle une distribution des mesures dans toutes les directions. Les directions linéamentaires obtenues, à l'issue du traitement des images Landsat 8, présentent les mêmes orientations que les mesures réalisées sur le terrain (**Figs. 12 à 15**). L'analyse statistique des données a permis de révéler l'existence de six directions principales: N0° à N40° (24 %), N40° à N80° (24 %), N80° à N110° (12 %), N110° à N150° (32 %) et N150° à N180° (10 %).

Tableau 1. Distribution en pourcentages du nombre de fractures mesurées dans le sous-bassin de l'Ader Douthi Sud

Direction	% en fonction du nombre	Nombre de fractures
N0° à 10°	5	35
N10° à 20°	4	25
N20° à 30°	6	43
N30° à 40°	9	63
N40° à 50°	5	34
N50° à 60°	7	48
N60° à 70°	7	52
N70° à 80°	5	33
N80° à 90°	4	26
N90° à 100°	4	30
N100° à 110°	4	28
N110° à 120°	7	48
N120° à 130°	5	37
N130° à 140°	13	90
N140° à 150°	7	50
N150° à 160°	4	27
N160° à 170°	5	32
N170° à 180°	1	5
Total	100	706

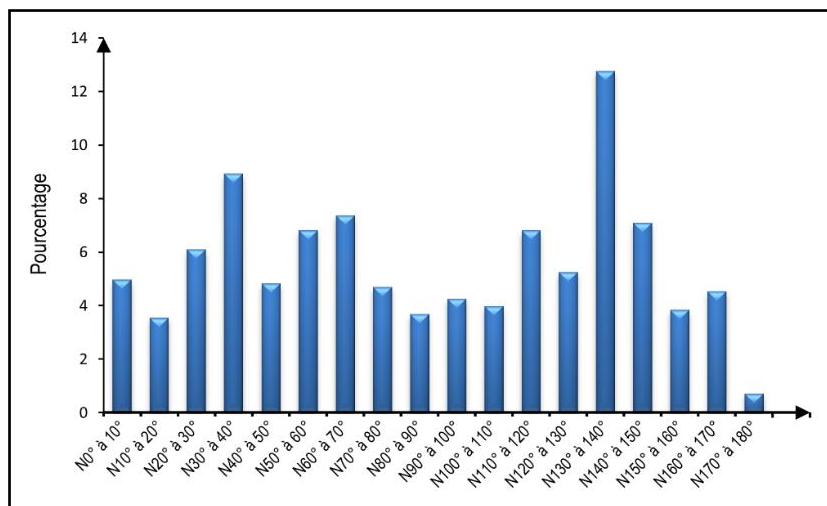


Fig. 13. Histogrammes représentant le nombre de fractures mesurées pour chaque classe directionnelle dans le sous-bassin de l'Ader Douthi Sud

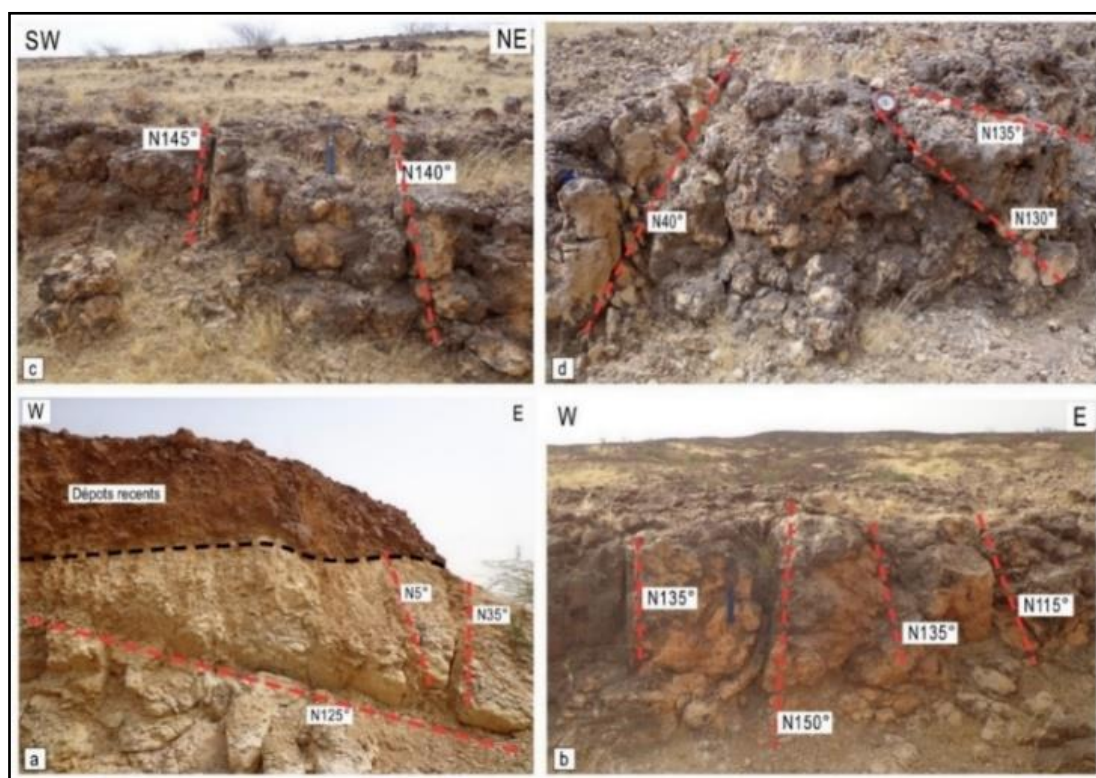


Fig. 14. Différents type directions de fractures observées dans le secteur d'Akoumoutt, dans les calcaires d'âge thanétien du membre de Tamaské: a- N5°, N35° et N125°; b- N115°, N135° et N150°; c- N140° à N145°; et d- N40°, N130° et N135°

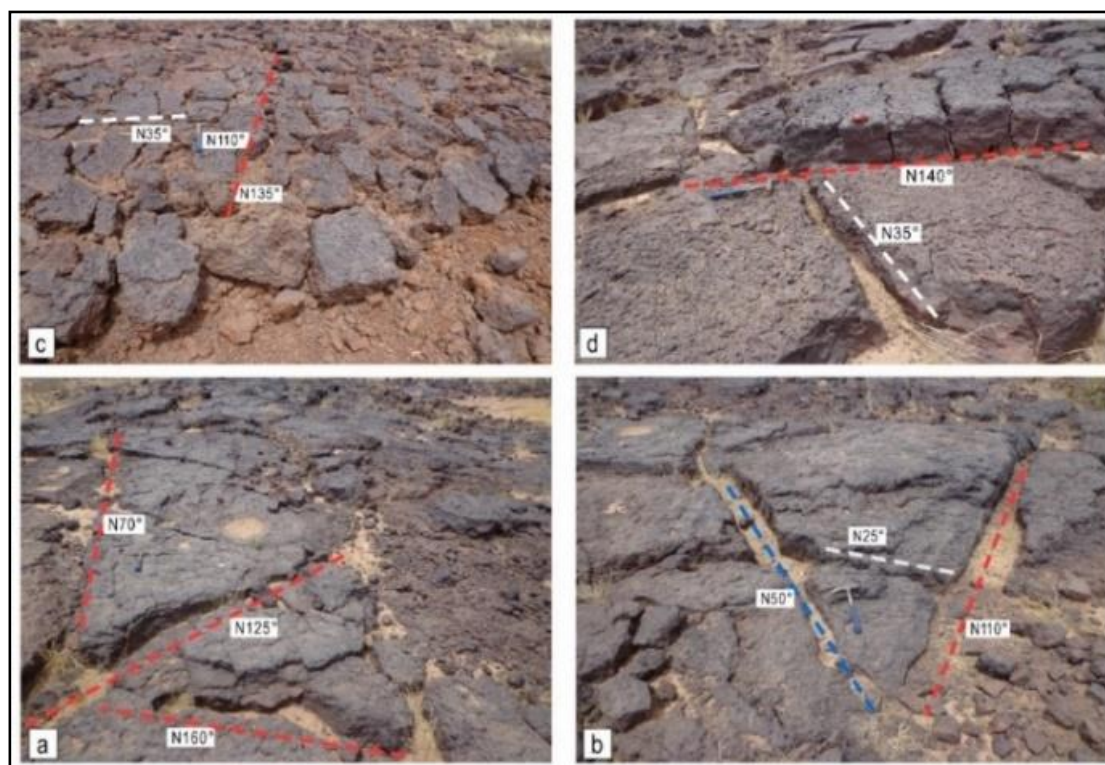


Fig. 15. Affleurements de grès oolithiques ferrugineux au sommet de la formation de l'Ader Douthi (Ct¹) dans le secteur d'Akoumoutt. Les dépôts ont été affectés par des fractures d'orientations: a- N70°, N125° et N160°; b- N25°, N50° et N110°; c- N35°, N110° et N135°; d- N35° et N140°

5.3 ANALYSE GEOSTATISTIQUE DES FRACTURES DU SOUS-BASSIN DE L'ADER DOUTCHI

5.3.1 DENSITÉ DES LINÉAMENTS

La densité des linéaments au sein des huit mailles est présentée dans le **tableau 2**. Ce **tableau** présente la densité en fonction du nombre et de la longueur cumulée par maille. En fonction du nombre de linéaments par maille, la densité varie de 32 à 1 989 linéaments par maille, tandis qu'en fonction de la longueur cumulée, elle est de 13 à 1350 linéaments par maille (**Tableau 2**).

En fonction du nombre de linéaments, les mailles B, C, F et G présentent la densité la plus forte (1 124 à 1 989 fractures). La densité est moyenne dans les mailles D et E, avec respectivement 206 et 318 linéaments. Dans les mailles A et H, la densité est faible avec respectivement 32 et 51 linéaments.

En fonction de la longueur cumulée, les mailles B, C, F et G présentent les plus fortes densités (862 à 1 350 fractures). La densité est moyenne dans les mailles D et E avec respectivement 133 et 197 linéaments. Dans les mailles A et H, la densité est faible avec respectivement 13 et 71 linéaments.

Tableau 2. Densité des linéaments dans les 8 mailles en fonction du nombre (Nbr.) et de la longueur (Long.) des linéaments dans les régions de Bouza et de Keita

Maille	Xcentre Maille (km)	Ycentre Maille (km)	Densité Nbr.	Densité Long.
A	127	1647	32	13
B	159	1647	1989	1350
C	190	1647	1224	863
D	222	1647	206	133
E	127	1596	318	197
F	159	1596	1554	1176
G	190	1596	1124	862
H	222	1596	51	71

La **figure 16 (a et b)** répertorie la densité des linéaments en 10 classes. Cette dernière est fonction de la longueur cumulée (**Fig. 16 a**) ou du nombre de linéaments (**Fig. 16 b**). La **figure 16 (a et b)** présente la densité des linéaments dans chaque maille. La détermination des directions majeures par maille a été réalisée en fonction du nombre et de la longueur des linéaments (**Fig. 16**). L'utilisation du seuil de 5 % indique la présence de linéaments dans toutes les directions (**Fig. 16 c**). Les directions majeures par maille sont les suivantes:

- maille A: N10° à N20°, N30° à N40°, N50° à N80°, N90° à N120°, N130° à N150° et N150° à N170°,
- maille B: N0° à N80°, N90° à N120°, N130° à N150° et N160° à N170°,
- maille C: N0° à N20°, N30° à N130° et N140° à N150°,
- maille D: N0° à N40°, N50° à N80°, N80° à N100°, N110° à N130°, N130° à N140° et N150° à N170°,
- maille E: N0° à N40°, N50° à N80°, N90° à N110°, N120° à N130°, N140° à N150° et N160° à N170°,
- maille F: N0° à N80°, N90° à N120° et N140° à N150°,
- maille G: N0° à N20°, N30° à N80°, N90° à N130° et N130° à N150°,
- mailles H: N30° à N80°, N90° à N120° et N160° à N170°.

Le seuillage de 5 % met en évidence 5 directions majeures: N0° à N30°, N50° à N80°, N90° à N130°, N130° à N150° et N160° à N170°.

Pour un seuillage de 10 % (**Fig. 16 c**), les directions principales par maille sont:

- maille A: N0° à N20°, N30° à N40°, N40° à N50°, N60° à N70° et de N130° à N140°,
- maille B: N0° à N10°,
- maille C: N90° à N100°,
- mailles D et E: N0° à N10° et N90° à N100°,
- maille F: N40° à N50° et N80° à N100°,
- maille G: N0° à N10°, N40° à N60° et N90° à N100°,
- mailles H: N60° à N80°, N90° à N120° et N160° à N180°.

Le seuil de 10% met en évidence 5 directions majeures. Les plus significatives vont de N0° à N20°, de N30° à N60°, de N60° à N80°, de N90° à N130° et N160° à N180° (**Fig. 15 a**). En fonction de la densité, les fracturations des mailles B, C, F et G sont les plus représentatives des linéaments affectant la zone d'étude (**Tableau 2 et Fig. 15 a**). Ces mailles indiquent les directions majeures dans le sous-bassin de l'Ader Douthi. Il s'agit des directions N0° à N10°, N50° à N60° et N90° à N100°.

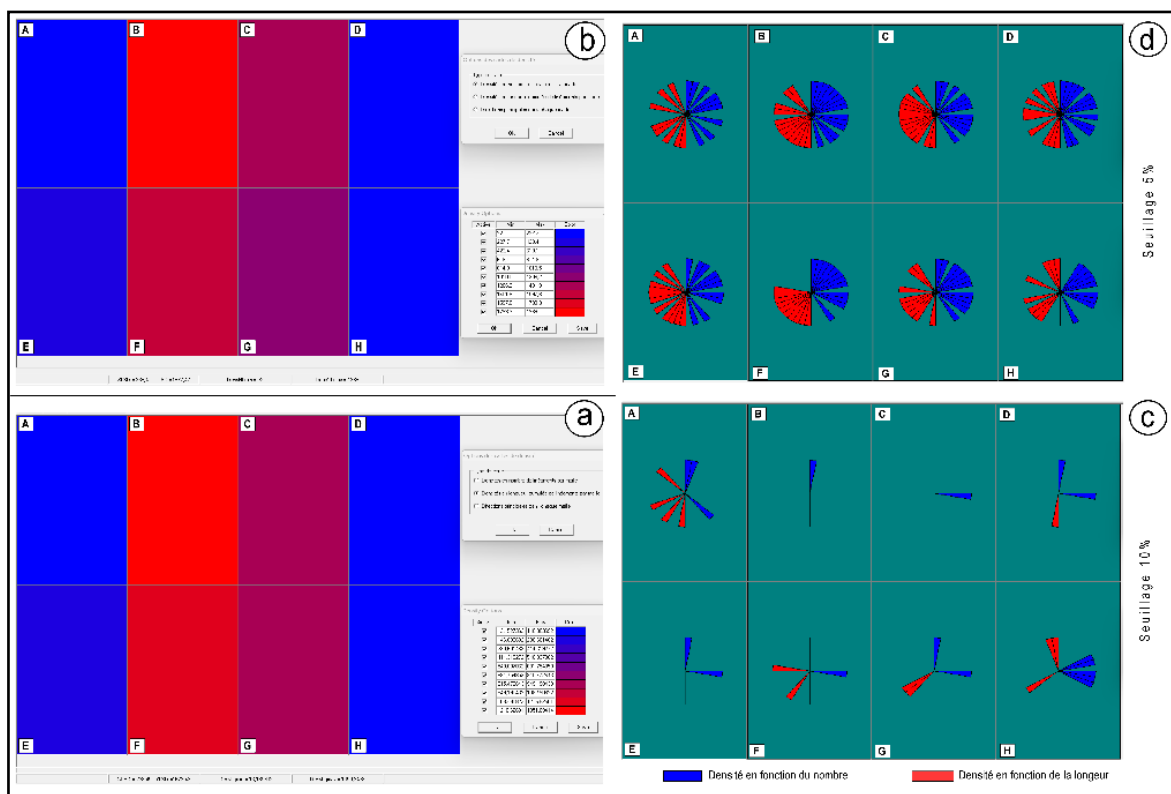


Fig. 16. Densités et directions majeures dans les régions de Bouza et de Keita: a- Densité en fonction de la longueur cumulée de linéaments par maille; b- Densité en fonction du nombre de linéaments par maille; c- Directions principales dans chaque maille pour un seuillage de 10 %; d- Directions principales dans chaque maille pour un seuillage de 5 %

De manière générale, qu'il soit en fonction de la longueur cumulée ou du nombre de linéaments, les mailles B, C, F et G présentent les densités les plus élevées (Fig. 17). Les résultats obtenus indiquent une forte corrélation entre les densités en fonction du nombre et de la longueur cumulée de linéaments (Fig. 18). Cette forte densité est due à la couverture de l'essentiel de ces mailles par la zone d'étude. La faible densité est due à la faible couverture de la maille par la zone d'étude. La faible densité dans les mailles D et H est également influencée par la couverture des dépôts d'âge paléocène à miocène par les dunes sableuses du Quaternaire.

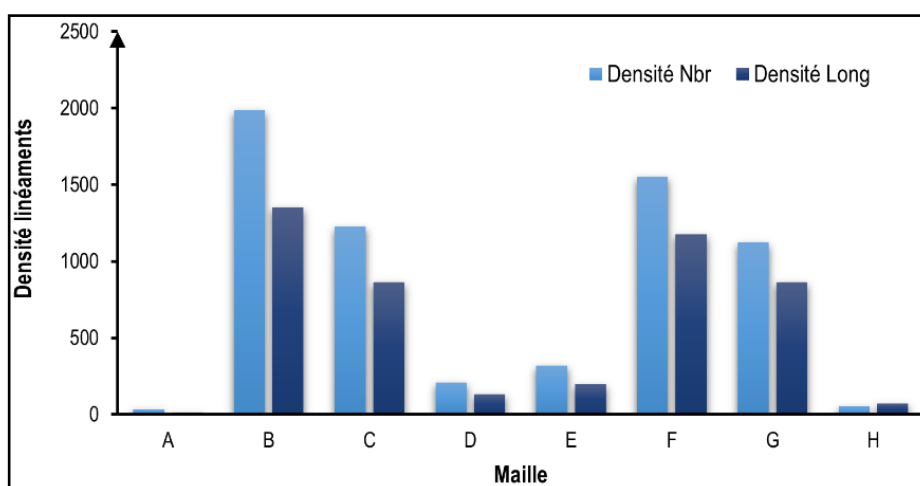


Fig. 17. Histogrammes de densités des linéaments par maille en fonction de la longueur (Long) et du nombre (Nbr) de linéaments par maille

La **figure 17** illustre la corrélation entre la densité en nombre de linéaments par maille et la longueur cumulée de ces derniers. L'équation de la droite caractéristique de ces relations est $y = 0,7104x + 6,117$. Le coefficient de corrélation est $R^2 = 0,9925$. La valeur de 0,9925 du coefficient de corrélation indique que les points de corrélation sont situés à proximité ou sur la droite de régression (**Fig. 17**).

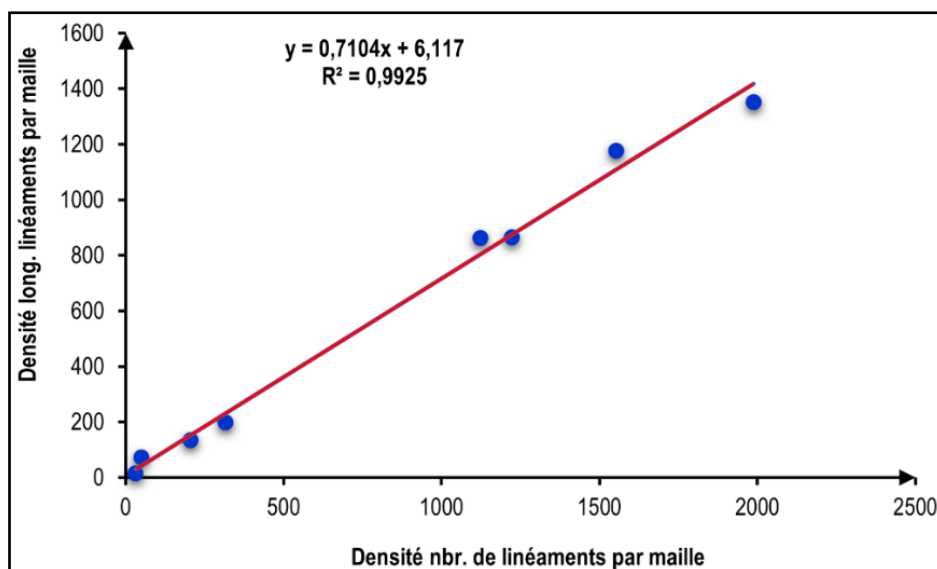


Fig. 18. Corrélation montrant la densité en fonction du nombre (nbr.) de linéaments par maille et la densité de la longueur (long.) de linéaments en fonction de la longueur de linéaments par maille

5.3.2 ANALYSE DE LA DISTRIBUTION DES LINEAMENTS EN FONCTION DE LA LONGUEUR

Pour mieux apprécier l'organisation des linéaments et déterminer les linéaments les plus significatifs de la zone d'étude, une classification en fonction de leur longueur a été réalisée (**Fig. 19**). À partir de la distribution des directions principales des linéaments obtenus, la densité des linéaments a été exprimée en fonction du nombre ou de la longueur cumulée. La densité des linéaments est présentée sous forme de rosace directionnelle (**Fig. 22**).

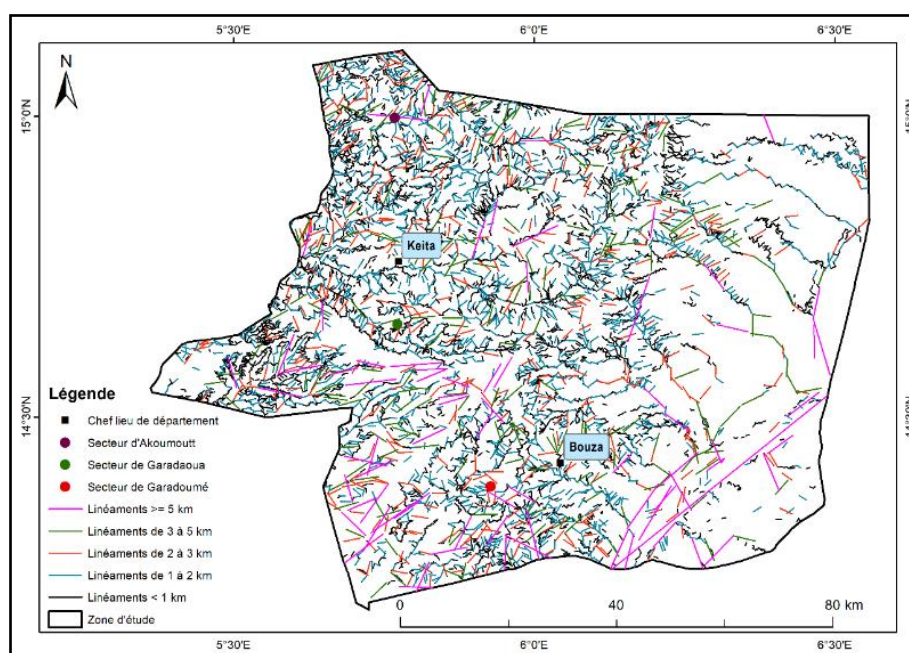


Fig. 19. Classification des linéaments de la zone d'étude en fonction de la longueur

5.4 CLASSIFICATION DES LINEAMENTS EN FONCTION DU NOMBRE ET DE LA LONGUEUR CUMULEE

Les résultats de l'analyse géostatistique de la distribution des différentes directions de linéaments pour des intervalles de 10° sont présentés dans le **tableau 3**. La rosace directionnelle avec un regroupement de 10° est généralement considérée comme la plus appropriée en géologie (**Fig. 22**).

Tableau 3. *Distribution en pourcentage du nombre et de la longueur cumulée des linéaments dans le sous-bassin de l'Ader Doutchi*

Direction	% en fonction du nombre	Nombre de linéaments	% en fonction de longueur	Nombre de linéaments
N0° à 10°	10	646	8	517
N10° à 20°	5	323	6	387
N20° à 30°	5	323	6	387
N30° à 40°	6	387	8	517
N40° à 50°	5	323	6	387
N50° à 60°	6	387	8	517
N60° à 70°	7	452	6	387
N70° à 80°	7	452	6	387
N80° à 90°	3	194	5	323
N90° à 100°	10	646	8	517
N100° à 110°	6	387	5	323
N110° à 120°	6	387	4	258
N120° à 130°	4	258	4	258
N130° à 140°	4	258	4	258
N140° à 150°	5	323	5	323
N150° à 160°	4	258	3	194
N160° à 170°	4	258	4	258
N170° à 180°	2	129	3	194

L'analyse géostatistique des résultats en fonction du nombre de linéaments pour des intervalles de 10° (**Tableau 3 et Fig. 20**) indique des pourcentages en nombre de 10 % pour les linéaments allant de N0° à N10° et ceux de N90° à N100°. Des pourcentages de 7 % ont été enregistrés pour les directions N60° à N70 et N70° à N80°. Les linéaments de N30° à N40°, de N50° à N60°, de N100° à N110° et de N110° à N120° ont présenté des pourcentages en nombre de 6 %. Les linéaments de N10° à N20°, de N20° à N30°, de N40° à N50° et de N140° à N150° ont présenté des pourcentages en nombre de 5 %. Des pourcentages de 4 % ont été enregistrés pour les linéaments de directions allant de N120° à N130°, de N130° à N140°, de N150° à N160° et de N160° à N170°. Les linéaments de directions N80° à N90° et de N170° à N180° ont donné des pourcentages en nombre respectifs de 3 % et de 2 %.

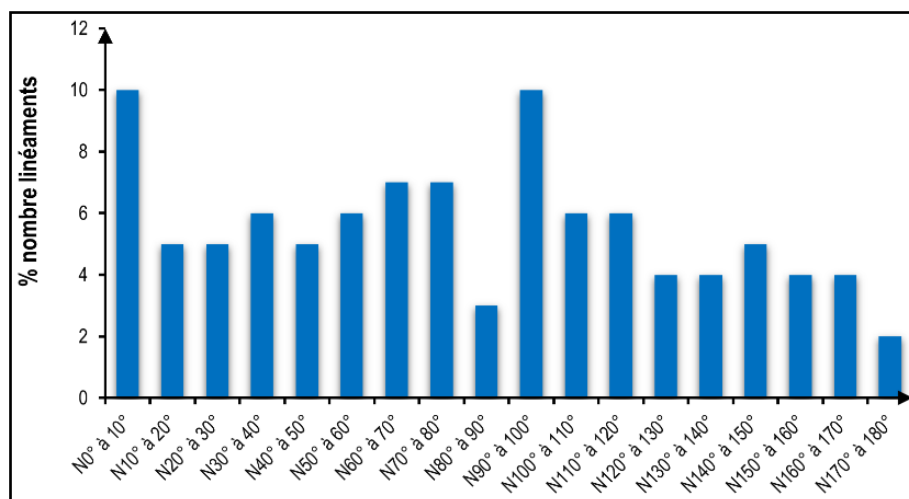


Fig. 20. Histogramme des différentes directions enregistrées dans l'Ader Douthi Sud en fonction du nombre de linéaments

L'analyse géostatistique des résultats en pourcentage de longueur cumulée pour les fourchettes de 10° (**Tableau 3 et Fig. 21**) met en évidence des pourcentages en longueur cumulée de 8 % pour les fractures N0° à N10°, N30° à N40°, N50° à N60° et N90° à N100°. Des taux de 6 % ont été obtenus pour les fractures de directions N10° à N20°, N20° à N30°, N40° à N50°, N60° à N70° et N70° à N80°. Les fractures de directions N80° à N90°, N100° à N110° et N140° à N150° ont enregistré des pourcentages en longueur cumulée de 5%. Des pourcentages de 4 % ont été obtenus pour les fractures N110° à N120°, N120° à N130°, N130° à N140° et N160° à N170°. Les fractures N150° à N160° et N170° à N180° ont donné des pourcentages en longueur cumulée de 3 %.

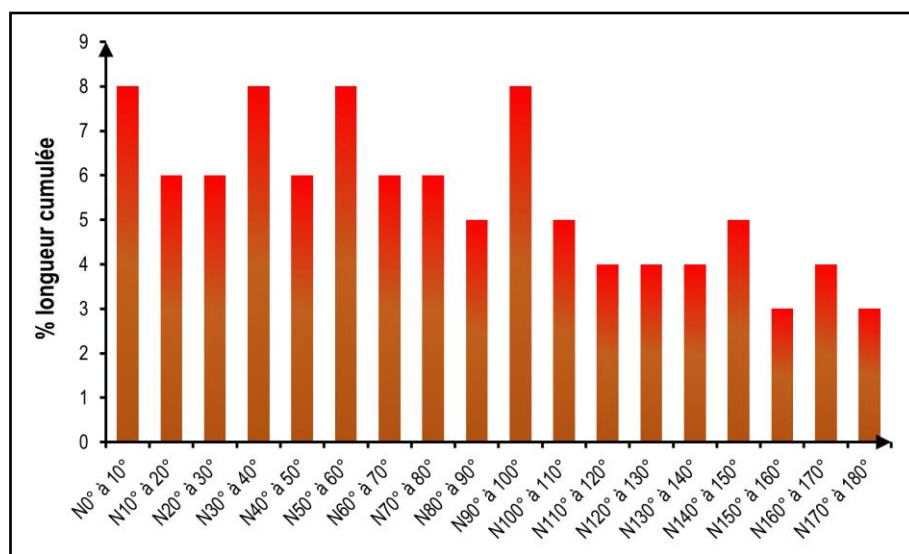


Fig. 21. Histogramme des différentes directions enregistrées dans l'Ader Douthi Sud en fonction de la longueur cumulée des linéaments

La rosace directionnelle a été utilisée pour identifier les directions principales des linéaments (**Fig. 22**). Cinq familles de fractures ont été identifiées en fonction du nombre (**Fig. 22 a**) et de la longueur cumulée (**Fig. 22 b**) des linéaments affectant la zone d'étude:

- La famille N0° à N40°, elle regroupe 26 % des fractures en nombre et cumule 28 % des linéaments en termes de longueur cumulée;
- La famille N40° à N80° constitue 25 % des fractures en nombre et 26 % des linéaments en longueur cumulée;
- La famille N90° à N130° représente 26 % des fractures en nombre et 21 % en termes de longueur cumulée;

- La famille N160° à N180°, qui regroupe 6 % de fractures et 7 % de longueur et;
- La famille N80° à N90° qui compte 3 % de fractures pour 5 % de longueur cumulée.

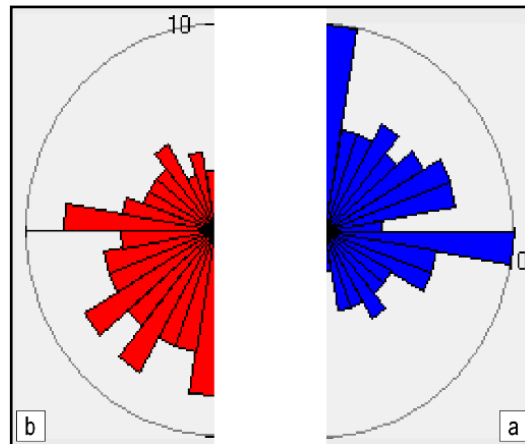


Fig. 22. Rosace directionnelle des linéaments de l'Ader Doutchi Sud pour des écarts angulaires de 10°: a- distribution en fonction du nombre de linéaments; b- distribution de linéaments en fonction de la longueur cumulée

La corrélation entre le nombre de linéaments et leur longueur cumulée est illustrée par la **figure 23**. L'équation de la droite caractéristique de ces relations est $y = 0,6107x + 2,1409$. Le coefficient de corrélation est $R^2 = 0,573$. La valeur de 0,573 du coefficient de corrélation indique une répartition moyenne des points de corrélation situés de part et d'autre de la droite de régression (**Fig. 23**).

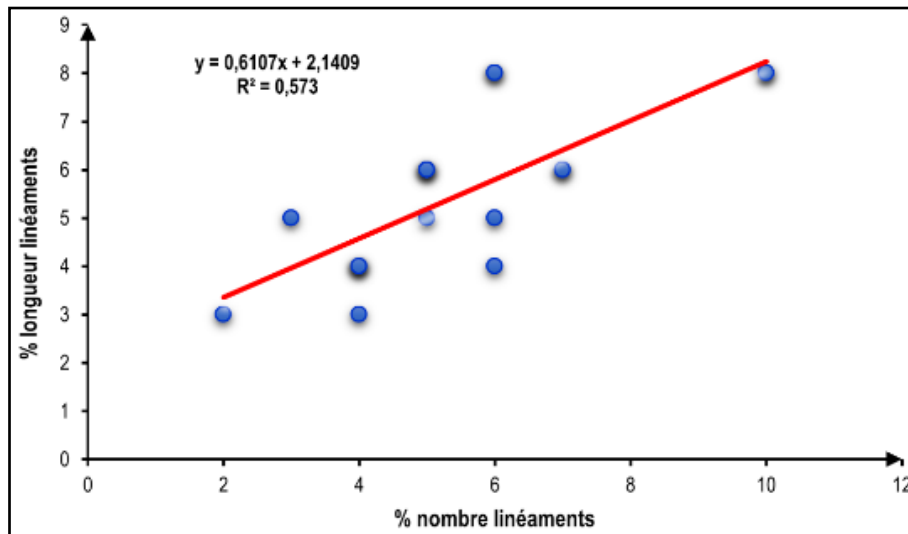


Fig. 23. Corrélation entre le nombre et les longueurs cumulées de linéaments

6 CONCLUSION

La carte linéamentaire ainsi obtenue a été confrontée aux mesures réalisées sur le terrain, puis superposée au réseau hydrographique et à la carte géomorphologique de la zone d'étude. Cette analyse a révélé que les directions des fractures, des failles et des axes de plis mesurés sur le terrain coïncident avec le réseau hydrographique de ce sous-bassin. Cette observation, combinée à l'examen des linéaments, permet de conclure que le sous-bassin de l'Ader Doutchi Sud présente une forte densité de fracturation du sol.

L'analyse structurale et géostatistique des formations d'âge paléogène à miocène du sous-bassin de l'Ader Doutchi Sud met en évidence la présence de cinq principales familles de fractures dont les directions sont comprises entre N0° et N40°, N40° et N80°, N90° et N130°, N130° et N150°, ainsi que N160° et N170°. Les linéaments majeurs identifiés sont liés au jeu des

accidents panafricains anté-paléogènes, conséquence directe du soulèvement de l'Aïr, ainsi qu'à la tectonique oligo-miocène et quaternaire.

Les travaux entrepris ont conduit à l'élaboration de la carte linéamentaire et à la mise à jour de la carte géologique des régions de Bouza et de Keita. La cartographie géoréférencée des linéaments tectoniques de ces deux régions se présente comme un instrument majeur pour les études structurales. Les résultats obtenus fournissent un appui à l'analyse des fracturations, un domaine d'intérêt pour les agronomes, les environnementalistes, les géotechniciens, les hydrogéologues, les professionnels de mine et les pétroliers.

REFERENCES

- [1] Abdou Ali I., 2018. Caractérisation des réservoirs aquifères multicouches du bassin des Iullemmeden dans la région de Dosso (Sud-Ouest Niger): Apports de la télédétection, du SIG, de la géophysique et de l'hydrochimie. Thèse de Doctorat unique, Université Abdou Moumouni de Niamey, 318 p.
- [2] Abdou Ali I., Konaté M. et Ousmane B., 2018. Lineamentary and Structural cartography of Iullemmeden Basin in the region of Dosso (South-west of Niger). IJSR, ISSN (Online) 2319-7064. Vol. 7, issue 4, 9 p.
- [3] Abdou Boko B., Konaté M., Adamou R. et Abdoulaye A., 2017. Contribution du système de fracturation à la recharge des aquifères du bassin de Tim Mersoï (Nord Niger). REV. CAMES - VOL.05 NUM.01. 2017, ISSN 2424-7235. Science de la vie, de la terre et agronomie.
- [4] Assoma T. V., 2005. Combinaison d'images ROS de RADARSAT 1 et D'ERS-2, et ETM+ de Landsat-7 pour la cartographie des potentialités hydrogéologiques des aquifères de socle fracturé: cas du bassin versant du Koué à l'ouest de la Côte d'Ivoire. Mém. de DEA Hydrogéologie, Univ. Cocody, 104 p.
- [5] Bellion Y. J. C., 1987. Historique géodynamique Post-Paléozoïque de l'Afrique de l'Ouest d'après l'étude de quelques bassins sédimentaires (Sénégal, Taoudenni, Iullemmeden, Tchad). Thèse de Doctorat, université d'Avignon et des pays de vaucluse, 302 p.
- [6] Bertrand-Sarfati J., Fabre J. et Pouchkine M. A., 1977. Géodynamique des aires sédimentaires cratoniques: quelques exemples sahariens. *Bull. Centre Rech. Explor. Prod. Elf Aquitaine*, 1,1, pp. 217-231.
- [7] Biémi J., 1992. Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique par télédétection des bassins versants subsahariens du socle précambrien d'Afrique de l'Ouest: Hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus de sillons et aire granitique de la haute Marahoué (Côte d'Ivoire). Thèse Doct. ès Sc. Nat. Univ. Abidjan, 479p.
- [8] Boudouresque L., 1980. Contribution de la paléopalynologie à la reconstitution floristique, stratigraphique et paléogéographique de la bordure occidentale du bassin des Iullemmeden au Crétacé supérieur et au Paléocène (Niger et Mali, Afrique de l'Ouest). *Thèse spécialité*, Univ. Orléans-Niamey, 285 p.
- [9] Boudouresque L., Dubois D., Lang J., et Trichet J., 1982. Contribution à la stratigraphie et à la paléogéographie de la bordure occidentale du bassin des Iullemmeden au Crétacé supérieur et au Cénozoïque (Niger et Mali, Afrique de l'Ouest). *Bull. Géol. Fr* (7) 24, n°4, pp. 685-695.
- [10] Collignon M. et LeFranc J. P., 1974b. Découverte d'une faune du Turonien inférieur élevé à *Coilopoceras* et *Hoplites* dans le Nord Tadémaït (Sahara algérien). Son extension probable en Afrique du Nord. *C. R. Acad. Sc., Paris*, (D) 278, pp. 817-821.
- [11] Collignon M. et LeFranc J. P., 1974a. Mise en évidence de la communication saharienne entre Téthys et Atlantique Sud d'après les fossiles cénomaniens du Tadémaït (Sahara algérien). *C. R. Acad. Sc., Paris*, (D) 278, pp. 2257-2261.
- [12] Courville P., Meister C., Lang J., Mathey B., et Thierry J., 1991. Les faunes d'Ammonites du Cénomani supérieur-Turonien moyen basal du Niger et du Nigeria (Afrique de l'Ouest): intérêt pour la zonation, es corrélation en Théthys occidentale et l'hypothèse de la liaison Téthys-Atlantique Sud. *C. R. Acad. Sciences. Paris*, 313, série II: pp. 1039-1042.
- [13] Dikouma M., 1990. Fluctuations du niveau marin au Maestrichtien et au Paléocène dans le bassin intracratonique des Iullemmeden (Ader-Doutchi). Thèse de Doctorat, universités Dijon-Niamey, 272 p.
- [14] Dikouma M., Lang J. et Pascal A., 1993. Transgression Maastrichtiennes et paléogènes dans le bassin des Iullemmeden (Niger). *Newsl. Stratigr.*, 29 (2). Berlin. Stuttgart, pp. 105-124.
- [15] Dubois D. et Lang J., 1984. Étude lithostratigraphique et géomorphologique du Continental terminal et du Cénozoïque inférieur dans le bassin des Iullemmeden (Niger). *Bulletin de l'I.F.A.N.*, t 43, série A, n° 1-2, 42 p.
- [16] Dubois H., 1979. Etude géologique des formations Oolithiques ferrugineuses du bassin des Iullemmeden (République du Niger). Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle, Université de Niamey et d'Orléans, 123 p.
- [17] Ezzine I., Zargouni F., Ghanmi M., 2012. Analyse linéamentaire des images landsat-tm et spot de l'atlas centro-septentrional: cartographie du prolongement sw de l'acatrice de zaghuan. *Télédétection*, 2012, 10 (4), pp.199 211. hal-01948894.

- [18] Faure H., 1966. Reconnaissance géologique des formations sédimentaires post- Paléozoïques du Niger oriental. Editions du Bureau de Recherches Géologiques et Minières, publication N°1, 630 p.
- [19] Gerbeaud O., 2006. Évolution structurale de bassin de Tim Mersoï: déformation de la couverture sédimentaire, relation avec la localisation des gisements uranifères du secteur d'Arlit (Niger). Thèse de l'Université de Paris XI Orsay, 270 p.
- [20] Gioan P., 1985. Description et analyse préliminaire des alignements hydrographiques du massif du chaillu et de sa bordure méridionale (République Populaire du Congo). Rév. Géologie dynamique et de géographie physique. Vol. 26, Fasc. N°5, Paris. pp. 299-310.
- [21] Greigert J., 1966. Description des formations crétacées et tertiaires du bassin des Iullemmeden (Afrique occidentale). Pub. Direct. Mines et Géol. Niger, 2 et Mém. BRGM, 32, 234 p.
- [22] Greigert J. et Pognet R., 1967. Essai de description des formations géologiques de la république du Niger. B.R.G.M., n°46, 238 p.
- [23] Guiraud R. et Alidou S., 1981. La faille de Kandi (Bénin), témoin de rejeu fini- crétacé d'un accident majeur à l'échelle de la plaque africaine. C.R. Accad. Sci. Paris, 293, pp. 779-782.
- [24] Guiraud R., Bellion Y., Benkhelil J. et Moreau C., 1987. Post-Herynian tectonics in Northern and Western Africa. In: Bowden, P. Kinnaird J. (Eds), African Geology Reveals. Geol. J. 22, pp. 433-466.
- [25] Karimoune S., Ozer A., Erpicum M., 1990. Les modèles éoliens de la région de Zinder (Niger méridional), étude de photogéomorphologie, note préliminaire. Ed. AUPELF-UREF, pp. 145-161.
- [26] Kogbe C. A., 1979. Geology of South Eastern (Sokoto) Sector of the Iullemmeden Basin. – Bull. Depart. Geol. Univ, Zaria, 2, 1, 420 p.
- [27] Kogbe C. A., 1977. Origin and composition of the ferruginous oolites and laterites of North-Western Nigeria. Geologische Rundschau, 67 (2), 12 p.
- [28] Komi A., Maâzou A. A., Bouba H., Kamaye T., and Yacouba A., 2024. Analyse pétrosédimentaire des dépôts maastrichtiens et paléocène-yprésiens de la région de Kao et indices de minéralisations phosphatées (Région Tahoua, Niger Central), *International Journal of Innovation and Applied Studies*, ISSN 2028-9324, Vol. 42 No. 1, Mar. 2024, pp. 35-48.
- [29] Kouamé K. F., 1999. Hydrogéologie des régions de Montagne: apports des données de télédétection et des méthodes statistique et factale à l'élaboration d'un système d'information hydrogéologique à référence spatiale des aquifères discontinus du secteur Man-Danané (Ouest de la Côte d'Ivoire). Thèse Doct.3ècycle, Univ. Cocody, 215 p.
- [30] Laouali-Idi K., 2020. Etude sédimentologique, paléontologique, paléogéographique et structurale des dépôts d'âge maastrichtien à yprésien du 177 bassin des Iullemmeden (Niger central). Thèse de doctorat, Université Abdou Moumouni de Niamey. 172 p.
- [31] Laouali-Idi K., Konate M., 2019. Extraction de réseaux de fractures en milieu sédimentaire par les techniques de la télédétection intégrant une analyse statistique et structurale: cas des formations méso-cénozoïques du bassin des Iullemmeden, Niger Central. Afrique SCIENCE 15 (5) 39 – 53p.
- [32] Maâzou A. A., 2018. Environnements de dépôts de la formation de Garadaoua d'âge Paléocène-Yprésien, dans les secteurs de Garadaoua et de Garadoumé (Région de Tahoua, Centre-Sud Niger). Mém. Master en Géoressources, N°057/GEOR/2018, Univ. Abdou Moumouni de Niamey, 63 p.
- [33] Maâzou A. A., Kamayé T., Konaté M., Laouali Idi K., Ibrahim Maharou H., Mahaman Manzo N. S., Ousmane H. et Alzouma Amadou D., 2022. Depositional environments of the maastrichtian and paleogene Formations of the Garadaoua and Garadoumé area in the Iullemmeden basin (Tahoua region, south-central Niger), *International Journal of Innovation and Applied Studies*, ISSN 2028-9324, Vol. 37 No. 3, Oct. 2022, pp. 702–715.
- [34] Mathey B., Lang J., Pierre C. et Alzouma K., 1991. Effets combinés de l'eustatisme et des variations climatiques: l'exemple des premières transgressions du Crétacé supérieur dans le centre de l'Afrique occidentale (Bassin des Iullemmeden, Niger). – C. R. Acad. Sciences Paris, 312, série II: pp. 523-528.
- [35] Ousmane B., 1988. Etude géochimique et isotopique des aquifères du socle de la bande sahélienne du Niger (Liptako, Sud-Maradi, Zinder-Est). Thèse Doct. Univ. Niamey, 175p.
- [36] Petters S. W., 1978. Maastrichtian-Paleocene foraminiferal from North-West Nigeria and their paleogeography. Acta Paleontologica Polonica, 23, n°2, pp. 131-152.
- [37] Petters S. W., 1977. Ancient seaway across the Sahara. – Nigerian field, 42: pp. 22-30.
- [38] Radier H., 1959. Contribution à l'étude géologique du Soudan oriental (A.O.F). Thèse Univ. Strasbourg. 452 p.
- [39] Reymont R. A. et Dingle R. V., 1987. Paleogeography of Africa during the cretaceous period. Pal. Pal. Pal. 59, n°1-2, pp. 93-116.
- [40] Sempéré T., 1981. Le contexte sédimentaire du gisement d'uranium d'Arlit (République du Niger). Mémoire Thèse, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 374 p.
- [41] Vail P. R., Mitchum R. M., Jr et Thompson S. III., 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. A. A. P. G. mem. 26, pp. 83-97.

- [42] Valsardieu C., 1971. Etude géologique et Paléogéographique du Bassin de Tim Mersoï: Région d'Agadès (République du Niger). Thèse Université de Nice, 514 p.
- [43] Wright L. I., Branchet M. et Alisso I., 1993. Notice explicative de la carte géologique du bassin houillier d'Anou Araren / Solomi. Ministère des Mines et de l'Énergie, Niger, 20 p.

