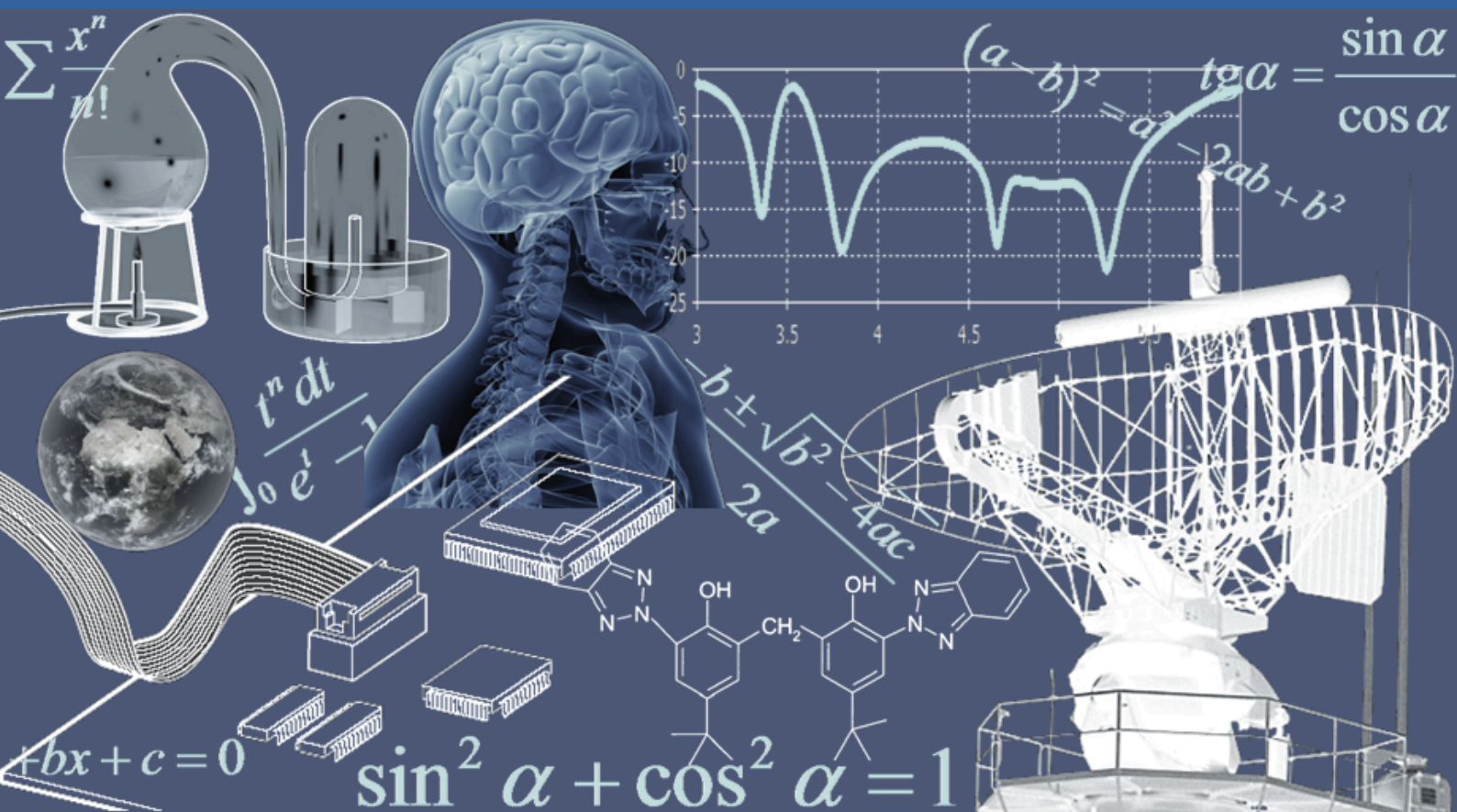


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 44 N. 1 November 2024



International Peer Reviewed Monthly Journal



International Journal of Innovation and Applied Studies

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

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

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

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

Editorial Advisory Board

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

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

Table of Contents

Smart Learning Tool for Kids with Real-Time Image Classification <i>Moe Moe Zaw and Hla Hla Myint</i>	1-10
Assessment of the quality of water from some wells in remote areas: Case of the Camp Adagbe and Tibona districts <i>Yovo Franck, Amoussatou Sakiriqui, Nikita Topanou, Osseni Sèmiyou, Fatondji Raymond, Sorogou M. Roger, Mazou Farouck, Souley Mbarack, Fatombi K. Jacques, and Biaou Dimon</i>	11-23
The dental prosthesis at the Bamako district hospital <i>Ahmed Ba, A. Kassambara, H. Koita, S. Samake, T. Sidibé, and M. Keita</i>	24-32
Influence of pollution of the Yamoussoukro lakes watershed on the genetic diversity of <i>ralstonia solanacearum</i> : Implications for tomato productivity in Yamoussoukro <i>Tchimonbié Messikély ANOMAN, Aya Lucie Félicité N'GAZA, Any Olivier KOMENAN, Yao Anicet Gervais KOUAME, Konan Samuel AHOUDJO, and Doffou Selastique AKAFFOU</i>	33-42
Actionnaire activiste et gouvernance d'entreprise : Un catalyseur de changement <i>Mariam GADMI, Adil LOULID, and Zakaria BENDARKAWI</i>	43-51
Défis pour une Éducation Physique et Sportive Inclusive au Sénégal <i>Cheikh Tidiane Tine</i>	52-59
Pour une paix durable entre agriculteurs et éleveurs au Bénin: Leçons tirées de la gouvernance des infrastructures et ressources agropastorales dans la Commune de Banikoara <i>Nestor Alokpaï, Rahamatou Yacoubou Djibrila, Taqnon Gontrand Rodrigue Tchekli, Emmanuel Sambieni, and Roch Lambert Mongbo</i>	60-76
Comparaison des modèles LSTM et Transformée en Ondelettes-LSTM pour la prédiction de la température dans une partie du Bassin du Congo <i>Djes-Fresy Bilenga Moukodouma, Christophe Denis, Donald Romarick Rotimbo Mbourou, and Christiane Atteke Nkoulembene</i>	77-94
Optimisation de méthode d'évaluation de la campagne de vaccination NVPO2 (des enfants de 0 à 59 mois) Mars 2024 dans la communauté de N'djili: Une approche intégrée et itérative (Etude menée dans la communauté de la Zone de Santé de N'djili du 15 Mars au 15 Juillet 2024) <i>Bertine Mbongompasi Ekeni, Eddy Makengo Sangu, Charisme Kunda Motema, Ferdinand Mamanya Tapasa, Justin Mazaba Mata, and Charles Ndumbi Kapuku</i>	95-102
Effet de la fertilisation organo-minérale sur la production de <i>Cajanus cajan</i> au Sud Bénin <i>Ibouraïman Balogoun, Mahougnon Charlotte Carmelle Zoundji, Pascal Gbenou, Ladéko Sylvain Ogoudjobi, Zayyane Hicham Idriss Nourou Deen Ouorou Konnioui, Jean Luc Kouessi ATTO, and Christophe Codjo DEGBE</i>	103-108
L'application des méthodes de reconnaissance géologique dans la recherche des indices minéraux: Cas du secteur de Ngungu-Rufufu à Masisi-Nord-Kivu, RD Congo <i>Aganze Birindwa Mirobolant, Ken Yumba Musoya, Kongolo Kiluba Carmel, Mwamba Kayenga Jean, and Yenga Muzinga Tony</i>	109-124
Sizing of a hybrid energy production system <i>Bati Ernest Boya Bi, Ekoun Magloire Paul Koffi, Kamenan Blaise Koua, and Prosper Ghaha</i>	125-140
Intégration des approches EEDD dans l'enseignement-apprentissage des ressources naturelles au degré terminal de l'Education de Base en RD Congo: Contraintes enseignantes en ville de Bunia (Province de l'Ituri) <i>Cwinya'ay Wong'a Pascal, Niyonkuru Charles, Bapolisi Bahuga Paulin, Jean-Marie Bahati Wihoreye, and Muhunga Matumwabiri Roger</i>	141-153
Evaluation de la toxicité subaiguë et des effets d'un extrait aqueux de <i>Justicia flava</i> (forsk) Vahl (Acanthaceae) sur les marqueurs sanguins biochimiques et les tissus rénaux <i>Diè Kouamé Wenceslas Kouame, Kouadio Frédéric N'Dia, Oussou N'Guessan Jean-Baptiste, Kouakou Léandre Kouakou, and Doumbia Idrissa</i>	154-161
Analyse de la perception des PME sénégalaises sur l'application des Mesures Non Tarifaires dans les exportations de fruits frais et légumes <i>Malick TOURE, Lesfran Sam Agbahoungba, Idrissa Wade, and Ibrahima Thiam</i>	162-174
Effets des pratiques agroécologiques sur les propriétés chimiques du sol et les rendements du coton biologique en zone Nord-soudanienne du Burkina Faso <i>Ibrahim Ouedraogo, Bazoumana Koulibaly, Nongma Zongo, Ouango Maurice Savadogo, Adama Traore, and Hassan Bismarck Nacro</i>	175-185

Morphological characteristics and qualities of sheep carcasses admitted to the slaughterhouse in the Poro region	186-193
<i><u>SORO Soronikpoho, Kouadio Kouakou Parfait, Jean-Baptiste Aman, Kouassi Koffi Dongo, and Moussa Komara</u></i>	
Effets des demi-lunes multifonctionnelles et classique sur l'amélioration des caractéristiques physico-chimiques des différents compartiments des ouvrages creusés dans les sols des plateaux de Sokorbé (Loga-Niger)	194-206
<i><u>Idrissa Seidou Ousmane, Tidjani Adamou Didier, and Ambouta Karimou Jean-Marie</u></i>	
Assessing Meteorological and Hydrological Drought over Massili Basin Based on Pedj Drought Index (PDI), Standardized Streamflow Index (SSI), the Non-stationary Standardized Precipitation Index (NSPI)	207-215
<i><u>Tag-Noma Patricia Emma Bontogho, Aményon Akakpo, Olayemi Ursula Charlène Gaba, and Remo Kientega</u></i>	
Development of sustainable biofuels from agricultural residue blends available in rural areas for electricity generation in Côte d'Ivoire	216-227
<i><u>Bi Tra Désiré Zinla, Kamenan Blaise Koua, Ekoun Paul Magloire Koffi, and Prosper Gbaha</u></i>	
Caractérisation de la dynamique de l'occupation du sol sur le bassin versant de la Lobo (Côte d'Ivoire) de 1986 en 2014	228-236
<i><u>DEGUY Attoungbré Jean-Philippe, KOUASSI Kouakou Hervé, SANTE Natacha, N'GO Yao Alexis, and Goula Bi Tié Albert</u></i>	
Evolution de la production fourragère de trois cultures fourragères suivant les coupes: Le pois d'Angole (Cajanus Cajan (L.) Millsp.), le sorgho fourrager (Sorghum bicolor (L.)) et le Maralfalfa (Pennisetum purpureum Schum.)	237-243
<i><u>Alhassane Ali, Idrissa Soumana, and MAHAMANE Ali</u></i>	
Effets de biofertilisants à base de filtrat d' <i>Azolla caroliniana</i> et du compost sur les paramètres physicochimiques et organoleptiques des fruits de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)	244-252
<i><u>Kouamé Kouassi Thiègba, Kouakou Séraphin Konan, Kouamé Kan Benjamin, Konan Yao Bienvenu Aser, Dibi Konan Evrard Brice, Essis Brice Sidoine, and GROGA Noël</u></i>	
Analyse de la vulnérabilité des espaces agricoles dans le département d'Abengourou (Est de la Côte d'Ivoire)	253-275
<i><u>KOFFI Innocent</u></i>	
Facteurs liés au faible poids à la naissance chez les nouveaux nés à la maternité de l'Hôpital Général de Référence de Gemena, Province de Sud Ubangi, RDC	276-289
<i><u>Clarice Webina Sana, MAMBESA BAINAMBOKA Martin, David Dole Dawili, Maurice Mangi Bende, Freddy Malaka Makongo, Zachée Temopele Kombo, and Desiré Mombela Ibele</u></i>	

Smart Learning Tool for Kids with Real-Time Image Classification

Moe Moe Zaw and Hla Hla Myint

Department of Information Technology Supporting and Maintenance, University of Computer Studies (Magway), Magway,
Myanmar

Copyright © 2024 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 Smart Learning Tool for Kids with Real-time Image Classification is an AI-powered educational tool designed to assist young learners in recognizing and identifying objects through real-time image classification. The system captures images using a webcam, processes them through a Convolutional Neural Network (CNN) model and outputs the corresponding class label. It provides immediate audio feedback by pronouncing the class name in four languages: English, Myanmar, Thai and Chinese. The system aims to enhance kids' learning experience by engaging multiple senses—visual and auditory—that makes learning interactive and multilingual. The CNN model is trained with custom training data, enabling accurate classification of 12 object classes. This system serves as a smart and user-friendly tool for early childhood education.

KEYWORDS: Real-time Image Classification, Convolutional Neural Network (CNN), Multilingual Audio Feedback, Early Childhood Education, Interactive Learning, AI in Education.

1 INTRODUCTION

Technology is advancing rapidly, transforming many aspects of our lives, including education. The integration of modern technology into learning environments offers significant advantages. One major benefit is the ability to create more engaging and interactive learning experiences. Advanced tools and systems can make learning more enjoyable and effective by providing real-time feedback and personalized support.

Technology also supports cognitive growth by aiding in skills like recognizing objects and learning languages. Tools that support multiple languages and interactive materials help make education more accessible and inclusive for everyone regardless of their background.

According to [1], computer vision has become increasingly intriguing in recent years, particularly with the rise of self-driving cars. Generic object detection focuses on identifying and classifying objects within a single image, marking them with rectangular bounding boxes and indicating their confidence levels. Today, the advancement of object detection has been significantly enhanced by deep convolutional neural networks (CNNs), which have recently become the leading approach in object recognition research due to their exceptional performance on various challenging datasets, like ImageNet, gathered from the web.

In exploring the role of AI in education, [2] provides a comprehensive overview of how AI can enhance personalized learning and address ethical concerns like data privacy. Similarly, in [6], the authors focus on designing AI-driven educational systems that cater to the evolving needs of learners. Both books offer valuable insights into the integration of AI in educational environments, highlighting the potential and challenges of smart learning systems.

In [3], the project focuses on enhancing real-time object detection for autonomous navigation in fluvial environments by evaluating several deep learning algorithms, including Faster R-CNN, SSD, and various versions of YOLO. The study addresses the lack of relevant datasets by creating and openly sharing a dataset of 2,488 images with over 35,000 annotations across five classes: vessel, person, riverside, road signals, and infrastructure. Initial experiments show that these models can effectively

detect and track objects in near real-time, proving their potential for autonomous vessels. Future work will involve expanding the dataset and improving detection accuracy through advanced mathematical methods to better define navigation areas.

In [4], they propose a model that fuses features from multiple layers of the CNN to leverage the discriminative power of both lower and higher layers. Utilizing the CIFAR-10 dataset and MatConvNet for efficient CPU training, our model aims to improve image recognition accuracy by incorporating more convolution layers and hidden neurons. This approach not only enhances object recognition but also paves the way for future advancements in real-time image recognition systems, demonstrating the significant potential of CNNs in advancing artificial intelligence and computer vision technologies.

In [5], This article explores Collaborative Interactive Machine Teaching (IMT), focusing on how groups of users can collectively structure the teaching process for image classification. It introduces TeachTOK, a web application that allows teams to curate data and train a model together. The study, involving ten participants divided into three competing teams, revealed collaborative patterns and insights into teaching strategies and user experiences with the application. The findings offer valuable implications for designing more interactive, collaborative, and participatory machine learning systems.

In [7], The review explores the evolution of CNNs from their early successes to their central role in the deep learning boom post-2012. It highlights their transformative impact on image classification, significant symbolic contributions to their popularity, and ongoing improvements and challenges based on a comprehensive analysis of over 300 publications. The review also touches on current trends and areas requiring further development.

In [8], the research introduces a novel custom CNN model, MedvCNN, and a hybrid model, MedvLSTM, for medical image classification. By integrating CNNs for feature extraction and LSTMs for handling sequential data, the study aims to improve classification accuracy and efficiency. Additionally, they present a real-time web-based AutoML framework to streamline the classification process. This work enhances the capabilities of medical image analysis through sophisticated neural network approaches. The study emphasizes the importance of thorough model evaluation and customization, and plans to advance further by incorporating neural architecture search (NAS).

In the field of deep learning, [9] offers a detailed exploration of how deep learning techniques, particularly convolutional neural networks (CNNs), are applied to computer vision tasks. [10] provides practical guidance on implementing deep learning models using Python, making it accessible for developers and researchers looking to leverage deep learning for various applications.

2 SYSTEM OVERVIEW

This section provides an overview of the Smart Learning Aid for Kids with Real-time Image Classification. The system is designed to support early childhood learning by combining real-time object detection with interactive, multilingual audio feedback. The key features and object classes are outlined in the following subsections.

2.1 LANGUAGE

The Smart Learning Aid for Kids with Real-time Image Classification processes live images captured by a webcam. The system preprocesses these images for accurate classification and outputs the object label with a confidence level. It also provides multilingual audio feedback in English, Myanmar, Thai and Chinese, enhancing both language learning and cognitive development. This approach integrates real-time object detection with interactive, auditory learning for young children.

2.2 KEY FEATURES

- **Real-Time Object Detection:** Objects are detected instantaneously as they appear in the webcam feed.
- **Confidence Level:** The system displays a confidence level percentage to indicate the accuracy of its predictions.
- **Multilingual Audio Feedback:** For every detected object, the system provides audio feedback in four different languages: English, Myanmar, Thai and Chinese.

2.3 OBJECT CLASSES

The model is trained to recognize 12 different classes of objects commonly found in a kids' environment. These classes were chosen specifically for their relevance to young learners, ensuring that the system remains age-appropriate and stimulating.

3 MODEL DEVELOPMENT

This section outlines the steps taken to develop the Convolutional Neural Network (CNN) model used for real-time object recognition in the Smart Learning Aid system. The process includes data collection, preprocessing, model architecture, training process, model integration and postprocessing output.

3.1 DATA COLLECTION AND PREPARATION

In the data collection process, a total of 3750 images were gathered from Google Images and Bing Images. Of these, 3,000 images were allocated for training the model, while 750 images were reserved for testing. The collected images are distributed across the 12 target classes providing a balanced dataset for model training and testing.

3.2 MODEL ARCHITECTURE

The system uses a CNN with several convolutional layers, pooling layers, and fully connected layers. Below is the detailed architecture:

3.2.1 INPUT LAYER

The input shape for the Convolutional Neural Network (CNN) is specified as (64, 64, 3), indicating that the images fed into the model are resized to a resolution of 64x64 pixels. The "3" in the input shape represents the three color channels (RGB) of the images, which allows the network to process color information in addition to spatial features.

3.2.2 CONVOLUTIONAL LAYERS

The Convolutional Neural Network (CNN) employed in this study consists of a series of convolutional and pooling layers designed to extract and process features from images. The first convolutional layer utilizes 16 filters with a kernel size of (3, 3), enabling the model to learn various spatial features from the input images. This layer is followed by a MaxPooling layer with a pooling size of (2, 2), which effectively reduces the spatial dimensions of the feature maps by half, thereby decreasing computational complexity and helping to control overfitting.

The second convolutional layer employs 32 filters with the same kernel size of (3, 3), and also uses the ReLU (Rectified Linear Unit) activation function. After this layer, a second MaxPooling layer with a pooling size of (2, 2) further reduces the dimensions of the feature maps.

Following this, a third convolutional layer applies 64 filters with a kernel size of (3, 3), followed by a third MaxPooling layer with the same (2, 2) pooling size. Finally, a fourth convolutional layer uses 128 filters and is followed by a fourth MaxPooling layer, further refining the feature maps and reducing spatial dimensions.

3.2.3 FLATTEN LAYER

This layer flattens the 2D feature maps from the convolutional layers into a 1D vector, so they can be passed to the fully connected layers.

3.2.4 FULLY CONNECTED LAYERS

The CNN includes a fully connected (dense) layer with 128 neurons, utilizing the ReLU activation function to enable the network to capture and learn complex patterns from the data. The final output layer consists of 12 neurons, each representing one of the classes. This output layer employs the Softmax activation function, which transforms the raw output values into probabilities, allowing the network to classify inputs into one of the 12 predefined categories.

Table 1. Parameter Setting of CNN

Layer Type	Number of Filters/Neurons	Kernel Size / Pooling Size	Activation Function
Convolutional	16	(3, 3)	ReLU
MaxPooling	-	(2, 2)	-
Convolutional	32	(3, 3)	ReLU
MaxPooling	-	(2, 2)	-
Convolutional	64	(3, 3)	ReLU
MaxPooling	-	(2, 2)	-
Convolutional	128	(3, 3)	ReLU
MaxPooling	-	(2, 2)	-
Flatten	-	-	-
Fully Connected	64	-	ReLU
Output	12	-	Softmax

3.3 TRAINING PROCESS

The system uses a CNN architecture for image classification with several convolutional layers, pooling layers, and fully connected layers. The model is trained using our own dataset. Then, the trained model is saved as an.h5 file.

CONVERSION TO TENSORFLOW LITE

The convert.py is used to convert the trained.h5 model file to a TensorFlow Lite (.tflite) format.

3.4 MODEL INTEGRATION IN THE SYSTEM

The.tflite mode is loaded in the system for image classification.

3.5 POST-PROCESSING AND OUTPUT

The image is labeled into predefined classes based on the model's classification result. The system shows the class label and its confidence level. Then, the system provides audio feedback in different languages (English, Myanmar, Chinese and Thai) to the kids.

4 IMPLEMENTATION

The system is built using a CNN model for real-time object recognition, integrated with a simple GUI for child interaction. TensorFlow and OpenCV are used for image processing. The pre-recorded audio files are used multilingual feedback.

4.1 SYSTEM FLOW

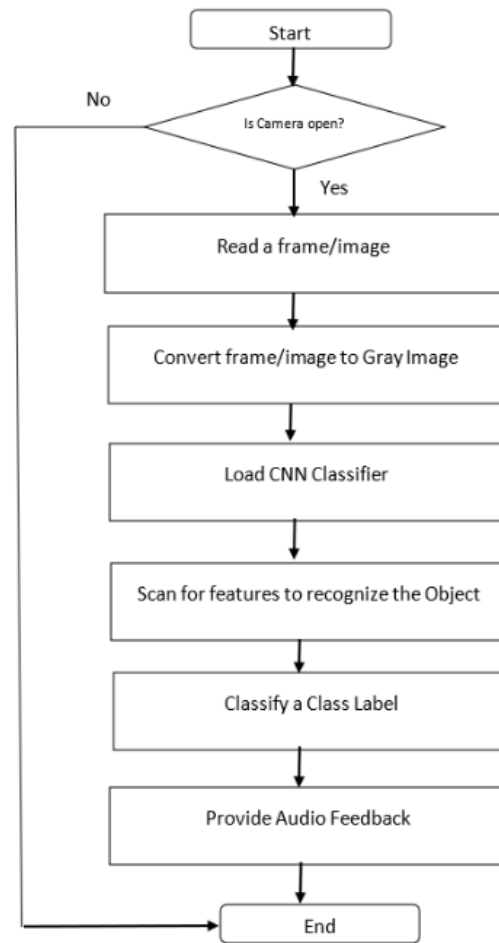


Fig. 1. System Flowchart

The webcam continuously captures frames, which are processed by the trained CNN model to identify objects. The system updates the screen with the recognized object label and the associated confidence level. Once an object is detected, the system uses pre-recorded audio files to announce the object's name in the five supported languages. This multilingual feature helps children develop language skills beyond their native language.

4.2 USER INTERFACE

The graphical user interface (GUI) is simple and child-friendly, with the following key elements:

- A live feed from the webcam.
- Detected object label and confidence score.
- Language selection buttons for switching between English, Myanmar, Thai and Chinese audio feedback.

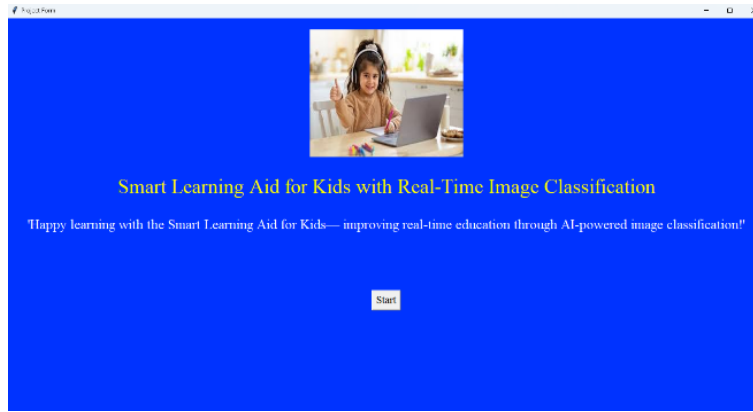


Fig. 2. Main Form of the System



Fig. 3. Classification of Grape

Fig. 3 shows the detection of grape with 66.75 confidence level. It's pronounced as “grape ဝုပ္တံသီး” in English-Myanmar language audio feedback.

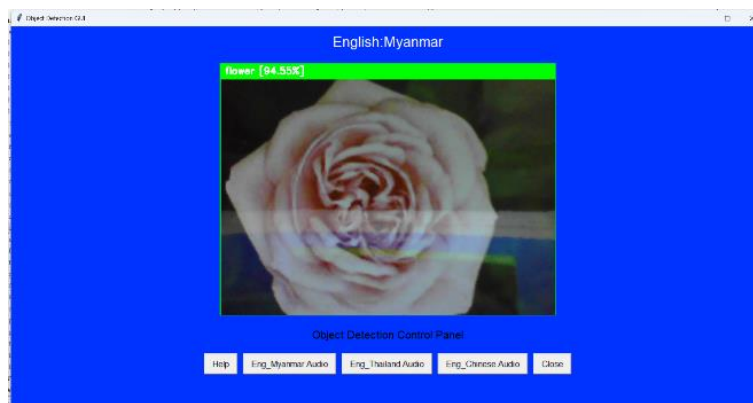


Fig. 4. Classification of Flower

Fig. 4 shows the detection of flower with 94.55 confidence level. It's pronounced as “flower ဝုနံ” in English Myanmar language audio feedback.

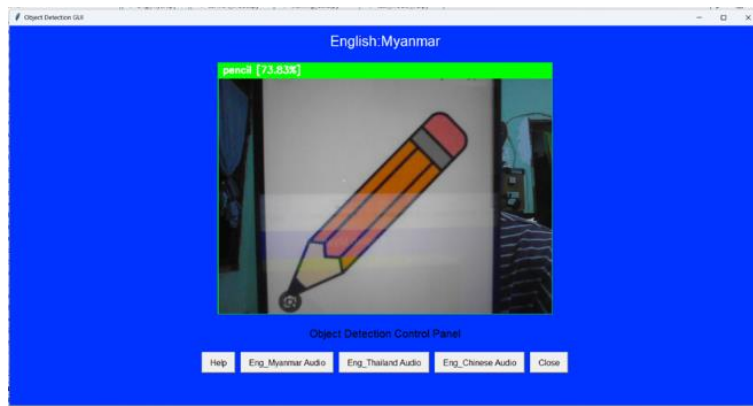


Fig. 5. Classification of Pencil

Fig. 5 shows the detection of pencil with 73.83 confidence level. It's pronounced as “pencil ပဲခိတ်” in English Myanmar language audio feedback.

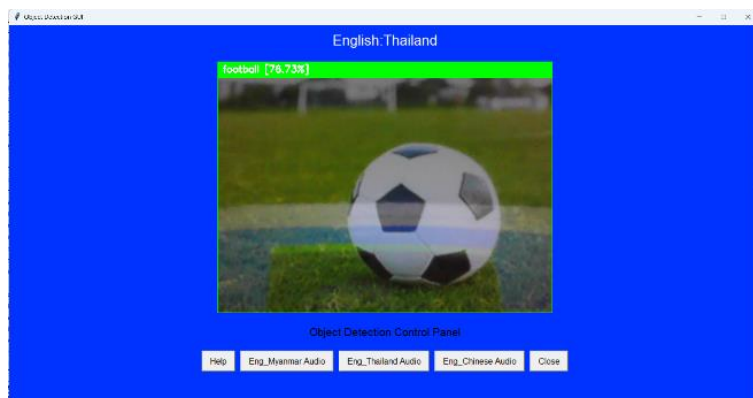


Fig. 6. Classification of Ball

Fig. 6 shows the detection of football with 76.73% confidence level. It's pronounced as “football ลูกบอล” in English Thai language audio feedback.

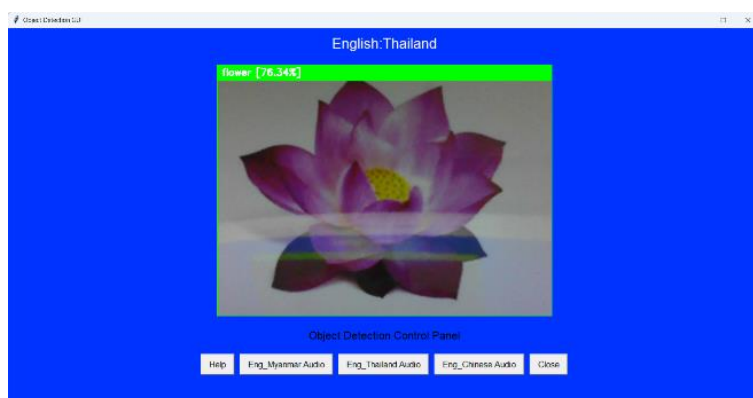


Fig. 7. Classification of Flower

Fig. 7 shows the detection of clock with 76.34% confidence level. It's pronounced as “flower ดอกไม้” in English Thai language audio feedback.



Fig. 8. Classification of Elephant

Fig. 8 shows the detection of elephant with 98.82% confidence level. It's pronounced as “elephant ช้าง” in English Thai language audio feedback.



Fig. 9. Classification of Coffee_Cup

Fig. 9 shows the detection of coffee-cup with 69.82% confidence level. It's pronounced as “coffee_cup 咖啡杯” in English Chinese language audio feedback.



Fig. 10. Classification of Zebra

Fig. 10 shows the detection of zebra with 80.98% confidence level. It's pronounced as “zebra 斑马” in English Chinese language audio feedback.



Fig. 11. Classification of Clock

Fig. 11 shows the detection of clock with 99.15% confidence level. It's pronounced as “clock 时钟” in English Chinese language audio feedback.

5 RESULTS AND EVALUATION

In this evaluation, we assess the performance of our image classification system designed to identify and classify objects into twelve distinct categories: clock, coffee cup, deer, elephant, flower, football, fork, grape, pencil, penguin, pig and zebra. The system was tested with a dataset comprising 750 images, from which key metrics such as Precision, Recall, and F1 Score.

5.1 ACCURACY AND PERFORMANCE

Table 2. Classification Results Overview

Metric	Formula	Value
True Positive (TP)	-	342
False Positive (FP)	-	46
False Negative (FN)	-	75
True Negative (TN)	-	287
Precision	$\frac{TP}{TP + FP}$	0.88 (88%)
Recall	$\frac{TP}{TP + FN}$	0.82 (82%)
F1 Score	$2 * \frac{Precision * Recall}{Precision + Recall}$	0.85 (85%)

The model was tested on 750 images, and the results showed a precision of 88%, meaning 88% of the predicted positive instances were correct. The recall was 82%, indicating the model successfully identified 82% of the actual positive instances. The F1 score, which balances precision and recall, was 85%, showing that the model is good at finding the correct positives and making fewer mistakes.

5.2 USER TESTING

User testing was conducted with a group of 20 children aged 4-7. The results indicated high engagement and positive feedback, with children showing a strong interest in interacting with the system and improving their object recognition and language skills.

6 CONCLUSION

The "Smart Learning Aid for Kids with Real-time Image Classification" is the integration of AI based technology into education and offers many benefits for learners, educators, institution and society. The system is a combination of playing and

learning to support cognitive development in kids designed to enhance children's educational experiences by combining visual and auditory learning. It supports language acquisition, cognitive development, and technological literacy, making it an invaluable resource for young learners. Future work will include expanding the number of object classes, improving language pronunciation accuracy and adding more languages for feedback.

REFERENCES

- [1] I.Salehin, M. S. Islam, N. Amin, M. A. Baten, S. M. Noman, M. Saifuzzaman, and S. Yazmyradov, «Real-Time Medical Image Classification with ML Framework and Dedicated CNN–LSTM Architecture,» *Journal of Sensors*, 2023.
- [2] W. Rawat and Z. Wang, «Deep Convolutional Neural Networks for Image Classification: A Comprehensive Review,» 2017.
- [3] M. A. Hossain and M. S. A. Sajib, «Classification of Image using Convolutional Neural Network (CNN),» *Global Journal of Computer Science and Technology: D Neural & Artificial Intelligence*, vol 19, pp.12-18, 2024.
- [4] B. Mohammadzadeh, J. Françoise, M. Gouiffès, and B. Caramiaux, «Studying Collaborative Interactive Machine Teaching in Image Classification,» *29th International Conference on Intelligent User Interfaces*, pp-195-208,2024.
- [5] W. Hammedi, M. Ramirez-Martinez, P. Brunet, S. M. Senouci, and M. A. Messous, «Deep Learning-Based Real-time Object Detection in Inland Navigation,» 2023.
- [6] J. Deng, W. Dong, R. Socher, L. J. Li, K. Li, and L. Fei-Fei, «ImageNet: A large-scale hierarchical image database,» *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2009.
- [7] B. du Boulay and A. Luckin, «Artificial Intelligence in Education: Promises and Implications for Teaching and Learning,» 2019.
- [8] J. F. Pane and B. du Boulay, «Designing Smart Teaching and Learning Systems: Perspectives on the Future of Education,» 2021.
- [9] R. Shanmugamani, *Deep Learning for Computer Vision*, 2018.
- [10] I. Vasilev and D. Slater, *Python Deep Learning*, 2nd Ed, 2017.

Assessment of the quality of water from some wells in remote areas: Case of the Camp Adagbe and Tibona districts

Yovo Franck^{1,2}, Sakirigui Amoussatou¹, Topanou Nikita¹, Osseni Sèmiyou¹, Fatondji Raymond¹, Sorogou M. Roger¹, Mazou Farouck¹, Souley Mbarack², Fatombi K. Jacques¹, and Biaou Dimon²

¹Kaba Laboratory for Research in Chemistry and Applications, Faculty of Science and Technology of Natitingou, (LaKReCA, FAST-NATI, UNSTIM), BP 266 FAST-Natitingou, Benin

²Physical Chemistry Laboratory–Materials and Molecular Modeling (LCP3M), Faculty of Science and Technology, University of Abomey-Calavi (LCP3M, FAST-UAC), Benin

Copyright © 2024 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: Drinking water is the source of domestic wastewater, which mainly degrades the environment and therefore affects the health of those involved in the process because the human body contains about 80%. The lack of information on the quality of well water leads the population of northern Benin, where the problem of drinking water is a real one, to use well water like drinking water without any treatment. This study was undertaken in order to better control the quality of wells waters consumed by the inhabitants of the Camp-Adagbe and Tibona districts in a north of Benin. Qualitative studies based on survey sheets and analyses of physicochemical parameters according to standardized methods were used.

The results show that the majority of the population uses well water compared to drilling and SONEB water due to poor coverage of areas with difficult access to drinkable water. The well waters are acidic (pH: 6.47 0.3), turbid (Turb: 67.36 3.70 NTU), coloured (coul: 62.49 12.10 PtCo) and mineral-laden (Conductivity: 962.17±23.51 µS/cm; Ca²⁺: 75.45±3.46 mg/L; Mg²⁺: 118.5±1.81 mg/L). The water from the wells in the Camp-Adagbe and Tibona districts contain pathogenic germs such as E.coli (2 CFU) and total coliforms (3 CFU). Therefore, these waters are not suitable for human consumption according to WHO standards and those defined by Benin. It is therefore necessary that certain water from wells in the Camp-Adagbe and Tibona districts be treated before consumption.

KEYWORDS: water, well, consumption, pollution, Tibona, Camp-Adagbe.

1 INTRODUCTION

Water is a natural resource that is essential to life on earth for humans, animals and plants. It represents between 60 and 70% of human body weight and can correspond to 95% sometimes more in certain plants and marine animals [1], [2]. It is a socio-economic and political issue throughout the world. Having it available in sufficient quantity and quality contributes to maintaining health [3]. Despite its importance, approximately 1.1 billion people don't have access to drinkable water and more than 2 million, especially children under five, die each year from diarrheal diseases [4], [5]. In developing countries where hygiene and sanitation measures are insufficient, access to water is vital for all living beings but also represents a real vector for the transmission of waterborne diseases. Thus, the consumption of poor-quality water contributes to the spread and perpetuation of waterborne diseases [6]. Therefore, it is necessary to have a better knowledge of existing water resources, especially information on the vulnerability of these resources to the environment [4], [7]. In developing countries in general and specifically in Africa, fresh water represents 9% of the world's total water resources and is unevenly distributed across the continent [8]. This low rate of poorly distributed fresh water is the basis of many conflicts [9]. Consequently, their availability on the continent constitutes a major problem both in quantity and quality. Current threats related to water are due to rapid population growth, the expansion of urbanization and increasing economic development. In addition, floods, pollution of drinking water, the emergence of waterborne diseases constitute many dangers for urban communities [4]. To meet their

water needs, urban and rural communities draw on very diverse sources. Data on the Beninese population show that nearly a third of households use water from various sources as drinking water [10]. Similarly, in sub-Saharan Africa, 35% of the population doesn't have access to drinking water compared to North Africa and the Middle East, where this rate is only 8% [11]. Despite the fact that the use of fresh water resources has increased by 1% per year over the last forty years, Benin is not yet immune to problems related to access to drinking water [12]. These problems are particularly noticeable in the northern part and more particularly given the management and inadequacy of hydraulic and sanitation facilities [13], [14]. In the city of Parakou, the quality of well water used by the community as drinking water, depending on household size, more or less complies with the recommendations in this area. To inform the population about the state of the well water used, this study was conducted and aims to assess the quality of this water in order to help municipal officials in implementing population awareness strategies.

2 STUDY FRAMEWORK, MATERIALS AND ANALYSIS METHODS

2.1 STUDY FRAMEWORK

2.1.1 TIBONA AND CAMP ADAGBE NEIGHBORHOODS OF THE COMMUNE OF PARAKOU

The research was carried out in the Camp-Adagbe and Tibona neighborhoods of the commune of Parakou located between 9°21 North latitude and 2°36 East longitude and then extends over an area of 441 km² of which 53.3% is occupied by housing with a population of 255,478 inhabitants including 127,328 men and 128,150 women. The climate of the commune is that of the Sudanese and Sudano-Sahelian regions with two rainy seasons (April-July, October-November) and two dry seasons (August-September, December-March) marked by an average rainfall of 1200mm/year then a temperature varying between 24°C and 32°C. The city of Parakou is located in the center of the Republic of Benin, 407 km from the economic capital Cotonou [15].

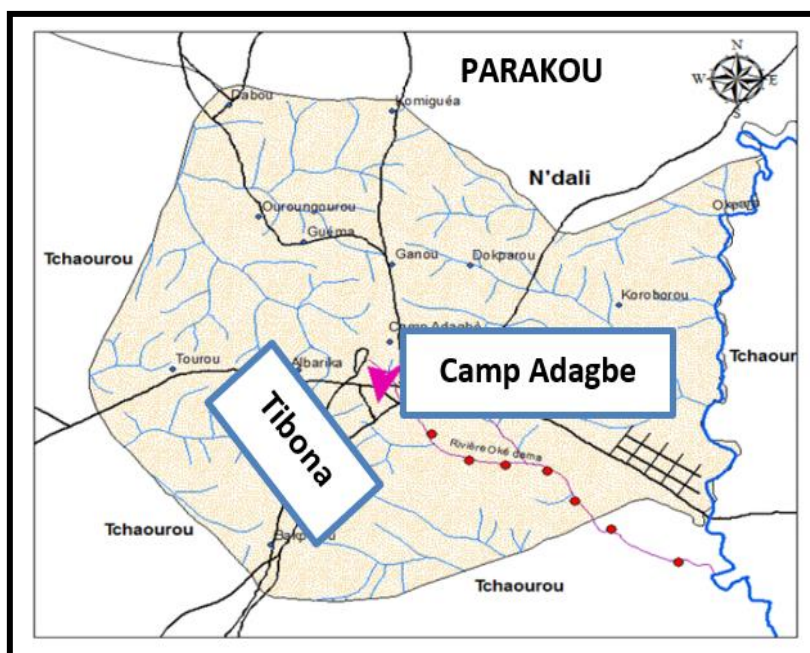


Fig. 1. Map of the Tibona and Camp-Adagbe districts

The drought is almost absolute between January and February, then the rainfall gradually increases from March to September, which is the wettest month. The months of peak rainy season (May to October) receive nearly 90% of the rainfall, or 89.8 mm of water per month in about ten days of rain [16]. The soil of this commune is hydromorphic and mostly rocky, clayey and ferruginous tropical soils where the pedological processes are substantially identical. The analyses methods were carried out in the Kaba Laboratory for Research in Chemistry and Applications (LaKReCA) located in the university center of Natitingou and partner laboratories [17].

2.1.2 DATA COLLECTION MATERIAL

Data collection was carried out based on field observations to better understand the different types of wells that serve as a drinking water supply for the population of the Tibona and Camp-Adagbe neighborhoods. For this purpose, an observation grid and survey sheets were developed. They made it possible to gradually note data such as: the characteristics of each well, the types of wells, the probable sources of pollution, the different diseases that the population is confronted with, the condition of the wells and their management methods. The observation interview method was used to fill out the sheet [18].

2.1.3 SAMPLING METHODS

The covered wells were chosen, on the one hand, so as to have a more or less global coverage of the neighborhoods as well as the wells without covers. On the other hand, the choice was made to have significant data in relation to the physicochemical and bacteriological parameters. The total filling of the bottles was carried out without trapping air bubbles for the physicochemical analyses. Figure 2 (a and b) then those (c and d) indicate respectively the open and closed wells of the Camp-Adagbe and Tibona districts.



Fig. 2. Open and closed wells in the Camp-Adagbe (a, b) and Tibona (c, d) districts

Water samples were collected in 250 mL bottles for bacteriological analysis and then in 1.5 L bottles for physicochemical analyses. These bottles containing the samples were previously sterilized, hermetically sealed and numbered. The sample was collected aseptically according to the NB ISO5667-11 Version 2007 standard [19].

2.2 ANALYSIS METHODS

2.2.1 PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS

The characterization of water through physicochemical parameters, such as: pH, temperature (T) and conductivity (χ), was done using the WTW multi 3420 type multi-parameter according to the NF EN 27888 and NFT 90-008 standards. The color and turbidity were determined using the DR 1900 spectrophotometer using the 120 programs to 455 nm for color and then 950 programs for turbidity according to standard NF EN 27888.

2.2.2 ALKALINITY DETERMINATION

The alkalinity determination was carried out by adding at least five (5) drops of mixed indicator to 100 ml of the sample and then letting the 0.2N sulfuric acid solution flow drop by drop until the color changes. Let V be the volume of the sulfuric acid solution used, the alkalinity (Alc°) is given by the formula:

$$Alc^\circ = V * 50$$

2.2.3 DETERMINATION OF TOTAL HARDNESS, CALCIUM AND MAGNESIUM

The total hardness or hydrotimetric titer (TH) was determined by taking 50 ml of water and then adding 2 ml of a buffer solution (pH=10) and 5 drops of NET (Eriochrome BlackT). Then titrate with a volume V of the diamine tetraacetic acid solution (EDTA: 0.02N) until the indicator changes from burgundy red (or dark pink) to blue. The total hardness is measured by the EDTA titrimetric method (expressed in French degrees ($^\circ f$)), according to standard NF T90-003. Let V be the volume of the EDTA solution used in mL, the total hardness is given by the formula:

$$TH = 4.10^{-4} * V \text{ (mg/L) or } TH = 4 * V \text{ (°f)}$$

The waters were classified into different categories so that below 8°f: the water is described as very soft; soft for TH between 8 and 15°f; hard for TH between 15 and 30°f and very hard above 30°f.

The calcium (calcium hardness) was measured, according to the ISO 6059 standard, by adding 2ml of the potassium hydroxide solution, with a pH between 12 and 13 to 50ml of water to be analyzed. Then we titrate with an EDTA solution (0.02N) until the indicator changes from burgundy red (or dark pink) to blue. The calcium content in mg/L is given by the formula below with V1 (ml) the volume of the EDTA solution used.

$$[Ca^{2+}] = 4.10^{-4} * V1 \text{ (mg/L)}$$

The magnesium content (mg/l) is determined according to ISO 6059 by the difference between the total hardness (TH) and the calcium hardness ([Ca²⁺]) according to the formula:

$$[Mg^{2+}] = TH - [Ca^{2+}] \text{ (mg/L)}$$

2.2.4 CHLORIDE ION CONTENT

Chloride ions were measured by the Mohr method according to NF ISO 9297 / T90-014 by adding 2 to 3 drops of 10% potassium dichromate solution (K₂Cr₂O₄) to 100 ml of the sample to obtain a yellow color. The mixture is titrated with a volume V of the silver nitrate solution (0.1N) with stirring until a brick red color appears, marking the end of the chloride dosage. The chloride ion content in mg/L is given by the formula:

$$[Cl^-] = 10^{-3} * V$$

2.2.5 AMMONIUM CONTENT

Ammonium was determined using a LANGE DR 1900 spectrophotometer according to ISO 7150 using program 93 by introducing 1 ml of Rochelle Salt and Nessler reagents into 25 ml of sample, respectively.

2.2.6 COUNTING OF MICROBIOLOGICAL GERMS

The indicator parameters of bacteriological pollution, namely: total coliforms and Escherichia-coli, were determined using Chrom-agar culture medium. Using a micropipette, 0.1 ml of each sample is taken and poured into Petri dishes containing the culture medium in the presence of the burner until solidification. The Petri dishes were inoculated in an incubator at 37°C for 48 hours for the enumeration of total coliforms (orange-yellow colonies) according to the NFV-08-05 standards, then at 44°C for 48 hours according to the ISO 9308 standard for Escherichia coli (blue colonies). The bacteria were counted by counting the colonies marked on the bottom of the Petri dish with an indelible marker. The result is expressed in (CFU) colonyformingunits [20].

3 RESULTS

3.1 STATISTICAL STUDY OF THE MODE OF SUPPLY OF DRINKING WATER IN THE CAMP ADAGBE AND TIBONA DISTRICTS

The results from our surveys regarding the modes of supply of drinking water by the inhabitants of the Camp-Adagbe and Tibona districts are recorded in the table below.

Table 1. Statistical study of the mode of supply of drinking water

Consumer	Well water	SONEB water / Borehole	Mineral Rainwater / Backwater	Total
Effective	6	14	0	20
Frequency (%)	30	70	0	100

From the analysis of the table, it emerges that on the ground, the inhabitants adopt several modes of supply of drinking water. The rate of people who consume SONEB water, borehole water or mineral water is 70% against 30% for those who consume well water. The results did not reveal users of rainwater and backwaters as a source of drinking water supply. The surveys revealed that 55% of wells are without covers against 45% covered either by slabs, sheets and/or boards. Indeed, among the covered wells 22.22% are hermetically sealed against 77.77% which are partially closed. Among all the wells surveyed, 60% have dirty surroundings against 40% whose surroundings are clean. The information from the survey did not take into account users of rainwater and watercourses as a source of drinking water supply.

3.2 PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS OF WATER FROM SOME WELLS IN THE TIBONA AND CAMP-ADAGBE DISTRICTS

The water samples were characterized based on their physicochemical parameters and indicators of the degree of contamination. The results were commented on and made it possible to establish the degree of nuisance of the waters of some closed wells in the Tibona (PFT) and Camp-Adagbe (PFC) districts, then some open wells in the Tibona (POC) and Camp-Adagbe (POC) districts.

3.2.1 WATER CONTENT IN CONDUCTIVITY, TURBIDITY, COLOUR AND PH

The values obtained for the physicochemical parameters are recorded in the table below.

Table 2. Teneur des eaux en Conductivité, Turbidité, Couleur et pH

Parameters	PFC	POC	PFT	POT	Beninese Standards	Average
Temperature (°C)	31.40±0.06	31.6±0.4	29.6±0.6	29.2±0.7	25	30.45±0.51
Turbidity (NTU)	66.6±8.1	84.7±2.5	66.0±3.7	52.1±0.6	5.0	67.36±3.70
Conductivity(µs/Cm)	1072±63	1171±24	704±3	901.7±3.6	2000	962.2±23.5
pH	5.8±0.3	6,5±0,8	6.74±0.05	6.83±0.02	6.5-8.5	6.5±0.3
Color (PtCo)	14.0±1.1	203±41	16.7±2.9	16.0±3.3	15	62.5±12.1

The conductivity content of well water samples collected in the Camp Adagbe and Tibona neighborhoods varies from 704±3 µs/Cm to 1171±24 µs/Cm. The highest conductivity content is found in the open well of Camp-Adagbe (POC: 1171±24 µs/Cm) and the low value is determined in the closed well water samples of Tibona (PFC: 704±3 µs/Cm). The average values of conductivity contents are found in the waters of the closed wells (PFC: 1072±63 µs/Cm) and open wells (POC: 1171±24.14 µs/Cm) of Camp-Adagbe. The hydrogen potential of the well water samples from Camp-Adagbe and Tibona ranges from 5.80±0.28 to 6.83±0.02. The highest value is found in the open well of Tibona (POT: 6.83±0.02) and the low value is determined in the closed well water samples from Camp-Adagbe (PFC: 5.80±0.28). The average value of the hydrogen potentials (pH: 6.4) is less than 7. It can be said that the well waters are slightly acidic. The temperature of the well water samples taken in the Tibona and Camp-Adagbe districts ranges from 29.16±0.67°C to 31.56±0.40°C. The highest temperature is found at the open well of Camp-Adagbe (POC: 31.56±0.40 °C) and the low value is determined in the water samples of the closed well of Camp-Adagbe (PFC: 31.40±0.06 °C). These recorded values are high compared to the standard set by Benin (25°C). The color of the well water samples varies from 14.0±1.2 PtCo to 203.3±41.1 PtCo. The strongest color is found at the open well of Camp-Adagbe (POC: 203.3±41.1 PtCo) and the low value is determined in the water samples of the closed well of Camp-Adagbe (PFC: 14.0±1.2 PtCo). The waters of the POC, PFT and POT wells have values higher than the Beninese standard (15 PtCo). We can say that these waters are colored and their organoleptic characteristics are high. The highest turbidity of the water samples is found at the open well of Camp-Adagbe (POC: 84.66±2.45 NTU) and the low value is determined at the level of the open well waters of Tibona (POT: 52.13±0.6 NTU). These values exceed the minimum value (5 NTU) set by the Beninese standards. The turbidity contents made it possible to detect the cloudy appearance of the well waters which would be due to the presence of particles suspended in the water. Figure 3 presents the histogram of the physicochemical parameters (Conductivity, Temperature, Turbidity, hydrogen potential, pH) of the waters of the different wells.

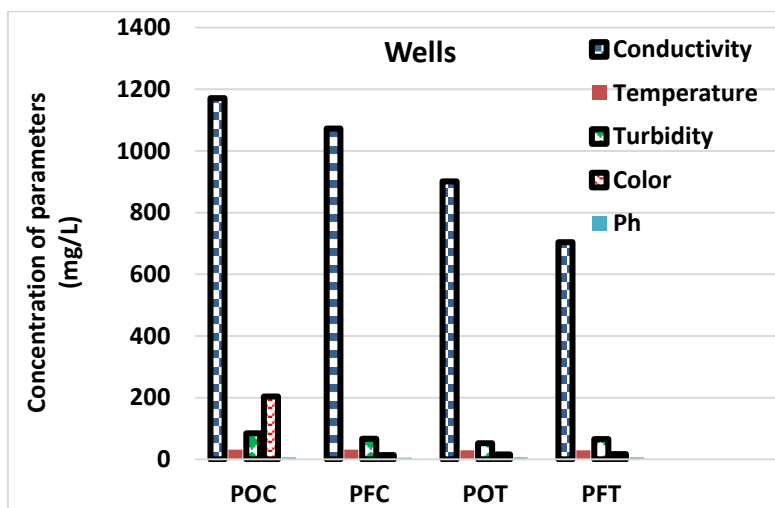


Fig. 3. Histograms of the physicochemical parameters of the wells

It emerges from these histograms that apart from the hydrogen potentials, the turbidities, the colors and the temperatures whose heights are low, only the conductivities of the water samples are high and slightly decreasing from the POT wells to the PFT.

3.2.2 CALCIUM, MAGNESIUM, ALKALINITY AND TOTAL HARDNESS CONTENT OF WATER

The values obtained for the Calcium, Magnesium, Alkalinity and Total Hardness content of the waters of Tibona and Camp-Adagbe are found in Table 3.

Table 3. Calcium, Magnesium, Alkalinity and Total Hardness Content of Tibona and Camp-Adagbe Waters

Parameters	PFC	POC	PFT	POT	Beninese Standards	Average
Magnesium mg/L	202.8±1.1	153.59±3.46	68.75±2.65	48.4±1.3	50	118.5±1.8
Calcium mg/L	63.42±4.01	112.07±5.60	74.20±3.65	52.13±0.60	100	75.4±3.4
Total Hardness	266.3±4.6	265.66±4.88	141.3±1.5	219.2±1.3	200	223.1±3.1
Alkalinity mg/L	71.66±1.43	130.00±16.32	583.3±60.5	48.33±1.36	-	208±19

The total hardness of the well water samples is 141.33±1.57 mg/L to 265.66±47.88 mg/L. The open wells of Camp-Adagbe have high total hardnesses (POC: 265.66±47.88 mg/L) compared to those of the closed well water samples of Tranza (PFT: 141.33±1.57). It is noted that only the waters of the closed wells of Tranza meet the Beninese standards (200 mg/L). The waters of the open wells of Tranza and the waters of the closed and open wells of Camp Adagbe do not meet the Beninese standards and are hard. The magnesium ion contents of well water (48.4±1.3 mg/L to 202.79±1.134 mg/L) are high in the closed wells of Camp-Adagbe (PFC: 202.79±1.134 mg/L) and low for the samples of open well water from the Tibona district (PFC; 48.4±1.3 mg/L). These concentrations show that the water from the wells in these areas is hard compared to that of the closed wells of Camp Adagbe. The magnesium contents of the well water are higher than the Beninese standard (50 mg/L) except for the values of the open wells of Tibona. This will allow us to say that the population consuming the sampled water would be exposed to a high dose of magnesium. The calcium content of well water samples taken in the Camp-Adagbe and Tibona districts of the Parakou commune varies from 52.1±0.6mg/L to 112.1±5.6 mg/L. The high calcium content is found in the open well of Camp Adagbe and the low value is determined in the open well water samples of Tibona. The average values of calcium contents are found in the waters of the closed wells of Camp Adagbe (POT: 63.42±4.01 mg/L) and Tibona (74.2±3.6 mg/L) and are of the same order as those of some authors who conducted their research on the waters of the wells of Tchaourou (80.16 mg/L) [4]. Waters with high magnesium and calcium ions content are believed to be contaminated by rocks rich in these minerals such as dolomite (calcium carbonate) and some types of basalt. The alkalinity of well water samples (Camp-Adagbe and Tibona) varies between 48.33±1.36 mg/L and 583.33±60.55 mg/L and the highest value is found in the Tibona closed well (PFT: 583.33±60.55 mg/L) and the low value is determined in the Tibona open well water samples (POT: 48.33±1.36 mg/L). That of the Tibona closed well is higher than the WHO standard and this could be related to the contamination of well water by

domestic wastewater containing cleaning products and other chemicals. The analyzed waters of the Tibona and Adagbe districts are alkaline and most of the waters of these wells (75%) meet the Beninese standards and the standard set by the WHO (200 mg/L).

Figure 4 presents the histogram of the water quality parameters (total hardness, magnesium content, calcium and alkalinity).

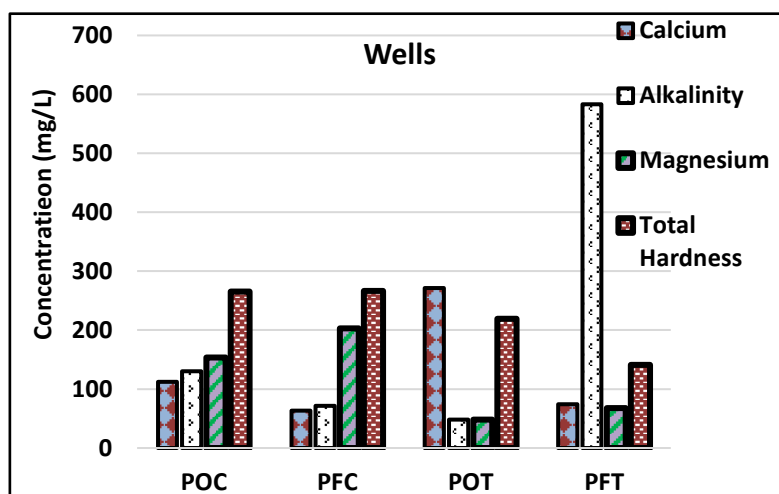


Fig. 4. Histogram of water quality parameters

It is clear from the analysis of Figure 4 that the evolution of the histograms is the same for the waters of the POC and PFC wells. The alkalinity and magnesium content have the same sizes for the waters of the POT well. This observation is observed for the total and calcium hardness of these waters. It is noted that the waters of the PFT wells have a histogram that is the highest in alkalinity compared to the other wells.

3.2.3 MINERAL CONTENT OF WATER

The mineral content of water (Fluoride, Chloride, Ammonium) was given in Table No. 4.

Table 4. Mineral content of water in the Tibona and Camp-Adagbe districts

Parameters	PFC	POC	PFT	POT	Beninese Standards	Average
Fluoride (mg/L)	0.21±0.04	0.5±0.2	0.4±0.1	0.55±0.08	1.5	0.43±0.1
Chlorine (mg/L)	66.5±9.5	75.6±3.8	120.0±1.2	98.16±2.4	250	90.1±4.2
Ammonia (mg/L)	0.50±0.13	0.3±0.1	0.2±0.6	0.27±0.02	0.5	0.35±0.2

The ammonia content of well water samples from the Camp-Adagbe and Tibona districts is around 0.27±0.02 mg/L to 0.5±0.13 mg/L. The waters of the closed wells of Camp-Adagbe have a high ammonia content (PFC: 0.5±0.13mg/L) compared to those of the closed wells of Tibona (PFC: 0.27±0.017 mg/L). The chlorine contents of the well waters vary from 66.58±9.48mg/L to 120±1.21 mg/L. The high chlorine content is found in the closed well of Tibona (PFT: 120±1.21mg/L). The low chlorine value is found in the closed wells of Camp-Adagbe (PFC: 66.58±9.48 mg/L). It can be said that the values of the chloride ion concentration are generally lower than the Beninese standard set at 250 mg/L and show that these waters are not polluted by chloride ions. The ion contents Fluoride content of the well water samples collected ranges from 0.21±0.04 mg/L to 0.565±0.18 mg/L. The high fluoride content is found in the open well of Camp-Adagbe (POC: 0.565±0.18mg/L) and the low value is determined in the closed well water samples of Camp-Adagbe (PFC: 0.21±0.04 mg/L).

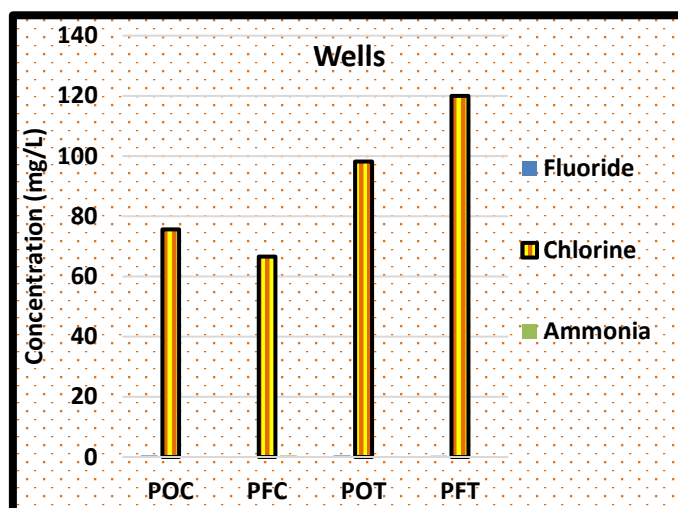


Fig. 5. Histogram of the mineral elements contained in the waters of the wells of the Tibona and Camp Adagbe districts

From the histogram it can be seen that fluorides and ammonium are very small in size compared to chloride ions which are larger in size and increase from PFC, POC to PFT.

3.2.4 BACTERIOLOGICAL PARAMETERS OF THE WATERS OF SOME WELLS IN THE TIBONA AND CAMP-ADAGBE NEIGHBOURHOODS

The water samples were characterized based on their bacteriological parameters and indicators of the degree of contamination. The results were commented on and made it possible to establish the degree of nuisance of the waters of some closed and open wells in the Tibona (PFT) and Camp-Adagbe (PFC) neighbourhoods.

Table 5. Bacteriological parameters of well water in the Tibona and Camp-Adagbe districts

Parameters	PFC	POC	PFT	POT	Beninese Standards
Total coliforms (UFC)/100mL	88	0	45	340	0
Escherichia coli (UFC)/100mL	0	0	8	0	0

The bacteriological analysis carried out in the laboratory shows that some wells have high values of total coliforms (POT: 340 CFU) whose different concentrations vary from 8 CFU to 340 CFU. The waters of the open wells of the Tibona district have a high content of total coliforms (POT: 340 CFU) and are followed by the waters of the closed wells of the Camp-Adagbe district (PFC: 88 CFU). The rate of coliforms in the waters of the open wells of Tranza shows that these waters are more loaded with total coliforms than those of the closed wells of Camp Adagbe. The results of the microbial analysis in relation to Escherichia coli present concentrations that are zero (0 CFU) for all the waters except those of the closed wells of Tranza (8 CFU). The figure below gives an overview of the distribution of germs at the level of the wells.

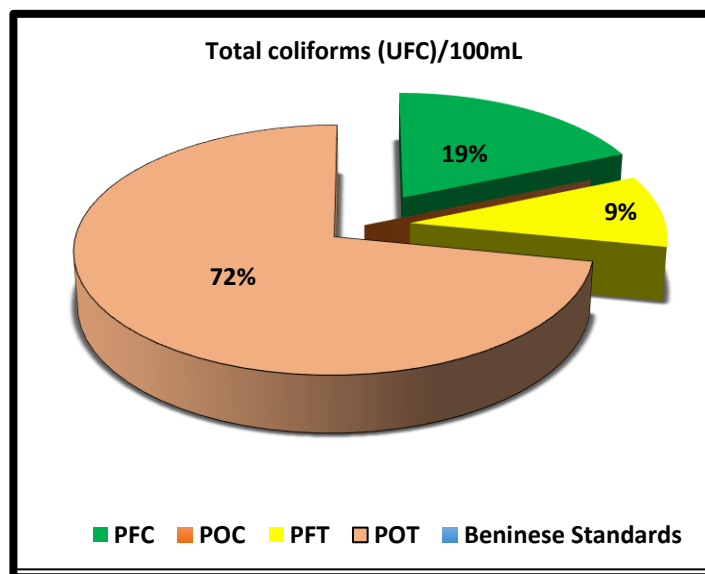


Fig. 6. Distribution of germs in well water

From the analysis of the figure, we note that the waters of the open wells of Tranza (POT: 72%) occupy a large area, followed by the waters of the closed wells of Camp Adagbe (19%) and Tibona (9%). It emerges from this observation that total coliforms are unevenly distributed in the Camp Adagbe and Tibona neighborhoods.

3.2.5 STUDY OF THE CONFORMITY OF THE WATER OF SOME WELLS IN THE TIBONA AND CAMP-ADAGBE NEIGHBORHOODS

The study of the conformity of the water of some wells in the Tibona and Camp-Adagbe neighborhoods led to the verification of the physicochemical and bacteriological parameters of the water with the standards and it was useful to evaluate their quality. To achieve this, the rates of wells whose parameters respect the standards are recorded in the table below so that a rate of 25% is granted to a parameter for which the water of a well respects the standards.

Table 6. Rate of conformity of wells with Beninese standards

Parameters	PFC	POC	PFT	POT	Beninese Standards	Conformity (%)
Temperature (°C)	31.4±0.1	31.56±0.40	29.66±0.67	29.16±0.67	25	-
Turbidity (NTU)	66.7±8.1	84.7±2.5	66.0±3.7	52.1±0.6	5.0	0
Magnesium(mg/L)	202.7±1.1	153.6±3.5	68.8±2.7	48.4±1.3	50	25
Fluoride (mg/L)	0.21±0.04	0.57±0.18	0.40±0.07	0.55±0.08	1.5	100
Conductivity (µs/Cm)	1072±63	1171±24	704±3	901.7±3.6	2000	100
Chloride (mg/L)	66.58±9.48	75.66±3.81	120.0±1.2	98.16±2.35	250	100
Ammonia (mg/L)	0.5±0.1	0.32±0.13	0.27±0.64	0.27±0.02	0.5	100
pH	5.8±0.3	6.5±0.8	6.74±0.05	6.83±0.02	6.5-8.5	75
Calcium(mg/L)	63.42±4.01	112.1±5.6	74.2±3.7	52.1±0.6	100	75
Total Hardness (mg/L)	266.3±4.7	265.7±4.9	141.3±1.6	219.2±1.3	200	25
Color (PtCo)	14.0±1.1	203.3±41.1	16.7±2.9	16.0±3.3	15	25
Alkalinity (mg/L)	71.7±1.4	13.0±16.3	583.3±60.5	48.3±1.4	-	-
Total Coliforms	88	0	45	340	0	0
E. coli	0	0	8	0	0	0

From the analysis of the table, it emerges that the physicochemical parameters namely fluoride, conductivity, chloride ions and ammonia of the waters of the wells analyzed have conformities that are equivalent to 100%. It can be deduced that the waters of the wells containing these parameters comply with the Beninese standards. These parameters are followed by the

hydrogen potential and the calcium content for which 75% of the waters of the wells comply with the standards. The parameters such as the magnesium content, the total hardness and the color of the waters evaluated have a rate of 25%. On the other hand, the turbidity, the content of total coliforms and E. coli of all the waters of the wells are not in accordance with the Beninese standards. It can be deduced that the waters have varied conformities and out of the fourteen parameters determined at the level of the waters of the wells, only four comply with the Beninese standards.

4 DISCUSSION

4.1 INTERPRETATION DES RESULTATS

The low rate of consumption of well water would be linked to its poor quality as highlighted by some authors who actually obtained a consumption rate equal to 20% [21]. These waters would probably be sources of waterborne diseases in the study area [22]. It can be said that the wells of the different areas have morphologically varied structures [23]. The inconvenient architecture of the wells studied (partially covered wells) would lead to the deposit of pollutants in these waters and this can be justified by the low financial resources available to the inhabitants of these areas [24]. Among all the wells surveyed, we note that 60% have dirty surroundings compared to 40% and this same observation was made by Faye in 2017 [25]. The average values of conductivity contents are found in the waters of closed wells (PFC: $1072 \pm 63 \mu\text{s}/\text{Cm}$) and open wells (POC: $1171 \pm 24.14 \mu\text{s}/\text{Cm}$) of Camp-Adagbe. These values show that the waters of closed and open wells of Camp-Adagbe are more mineralized than those of Tibona [26]. The ion load of the waters can come from the degradation of geological layers rich in minerals (limestone, gypsum or salt), which leads to contamination of the water table [4]. The geological composition of the subsoil can influence the mineralization of the water. However, the low mineralization of the waters of the closed wells of Tibona is close to the observation made on the waters of the commune of Pobe [3]. The average value of the hydrogen potential lower than 7 shows that the well waters are slightly acidic and this can be linked to the chemical reaction undergone by carbonic acid which dissociates into hydrogen and bicarbonate ions [27]. This observation made on the acidity rate of the waters is close to that made on all the waters of Pobe [3]. These recorded values are high compared to the Beninese standard (25°C). The high temperatures could be explained by the influence of ambient heat and also by the geothermal gradient of our study area [28]. The color contents show that these waters are colored and their organoleptic characteristics are high. This observation can be justified by the proximity of the wells to industrial areas, landfills, undesirable substances, sewers or wastewater which contribute to water pollution [29]. These values exceed the minimum value (5 NTU) set by Beninese standards. The cloudy appearance of well water comes from the accumulation of organic matter, algae and other debris in these waters which would increase their turbidity [30]. The authors established a correlation between the high presence of minerals and the acidity of well water [31]. The hardness of the water would be linked to the high concentration of dissolved minerals, mainly calcium and magnesium ions [32]. These concentrations show that the waters of the wells of these areas are hard compared to those of the closed wells of Camp Adagbe and the composition of the sedimentary rocks (dolomitic limestones, Jurassic or Middle Triassic dolomites) on which these wells were built would be responsible for this observation [33]. The average values of calcium contents are found in the waters of the closed wells of Camp Adagbe (POT: $63.42 \pm 4.01 \text{ mg}/\text{L}$) and Tibona ($74.2 \pm 3.6 \text{ mg}/\text{L}$) and are of the same order as those of some authors who conducted their research on the waters of the wells of Tchaourou ($80.16 \text{ mg}/\text{L}$) [4]. Individuals who consume the waters which have a high content of magnesium and calcium ions can suffer from cardiovascular and renal problems [34]. The calcium contents of the waters of the closed wells of Tibona are higher than the WHO standard and this could be linked to the contamination of the well waters by domestic wastewater containing cleaning products and other chemical substances [35]. The low value of the alkalinity of the waters of certain wells could be linked to the neutralization of bicarbonate ions in the well waters by acid rain [36]. The ammonium values of the Tibona wells are lower than those of the ammonium concentrations of the well waters of the commune of Abomey-Calavi but are in line with the standards ($0.5 \text{ mg}/\text{L}$) [37], [38]. The presence of ammonium ions in the well waters may be due to the infiltration of organic waste into the waters [39]. The high chlorine content is found at the level of the closed Tibona well (PFT: $120 \pm 1.21 \text{ mg}/\text{L}$). This high level of chloride ions in the water can give rise to the presence of organic micropollutants, a set of organohalogenated by-products such as trihalomethane (THM), suspected of being toxic and causing digestive disorders and accelerating the corrosion of the pipes [40]. It can be said that the values of the chloride ion concentration are generally lower than the Beninese standard set at $250 \text{ mg}/\text{L}$ and shows that these waters are not polluted by chloride ions. This result corroborates those of some authors who have conducted studies and who have observed that some waters from wells in Morocco meet the standards ($300 \text{ mg}/\text{L}$) [41]. The fluoride ion concentrations of well waters are similar to those obtained by authors at the level of the wells ($0.16 \text{ mg}/\text{L}$ to $1.16 \text{ mg}/\text{L}$) of Tchaourou [4]. The waters contain few fluoride ions, meet Beninese standards and would not be a source of fluorosis ($0.81 \text{ mg}/\text{L}$) for consumers [42]. The presence of coliforms is an indicator of the fecal contamination of these waters with the presence of pathogens responsible for waterborne diseases [43]. These waters are more loaded with total coliforms than those of the closed wells of Camp Adagbe. This can be explained by the fact that the covering of the wells contributes to the protection of the water and that the maintenance of their immediate

environment contributes to the sanitation of these waters [44]. This makes the waters of the wells free of total coliforms like those of the open wells of Camp Adagbe (POC: 0 CFU). Furthermore, these values are higher than 0 CFU and show that these waters do not comply with Beninese standards for consumption with the exception of the open well of the Camp-Adagbe district [45]. The area of implantation close to the places of human dejection and the tools used in drawing these waters could contribute to this observation [46]. The *Escherichia coli* content of the water subjects consumers to the risks of waterborne diseases (cholera, digestive disorders, hepatitis, etc.) and makes the water unfit for consumption [47].

4.2 SOME STRATEGIES FOR SANITATION OF WELL WATER

The study of compliance shows that the waters of the wells of Camp Adagbe and Tibona are mostly polluted. The immediate environment of these wells must be sanitized and the waters of these wells must undergo periodic treatment to guarantee good health to consumers. Furthermore, these results are data on which municipal officials can dwell to raise awareness among the populations of these areas on the rules of hygiene and sanitation of the different sources of drinking water. As sanitation rules and measures to be taken to ensure good quality of well water, before any use, we can cite:

- The use of certified water filters to eliminate impurities and pathogens;
- The treatment of water by boiling for at least 5 minutes;
- The use of commercially available water treatment products;
- Protection of water sources, mainly wells, with appropriate or concrete covers to avoid contamination by pollutants;
- Regular monitoring and analysis of well water by quality control laboratories.

5 CONCLUSION

The survey conducted on the water consumed by the inhabitants of the Tibona and Camp Adagbe districts revealed that well water represents 30% of the population's water supply sources. The physicochemical and bacteriological characteristics of this well water reveal that 87.5% of these wells are polluted. The high levels observed in some wells are linked to the infiltration of wastewater and the use of chemicals upstream or to the proximity of these wells to waste disposal sites. As for microbial germs (*Escherichia coli* and total coliforms), only some wells in Camp-Adagbe are exempt.

Ultimately, it emerges from the various results that the sources of well water studied have physicochemical and bacteriological parameters that do not comply with Beninese standards. The consumption of this water could contribute to the increase in waterborne diseases among residents. It is up to municipal and community leaders to take the data from this study into consideration when organizing awareness sessions for residents of these neighborhoods.

REFERENCES

- [1] F.S. Gbedemah., A.A. Gbeasor., S.G Hosu-Porbley., L.K. Frimpong., R.Amfo-Otu., K.S. Adanu and E.K.Doe. Analysis of heavy metals and pathogen levels in vegetables cultivated using selected water bodies in urban areas of the Greater Accra Metropolis of Ghana. *Heliyon*, 10 (7), pp.1-12, 2024.
- [2] C. A. N. Nanfack., F. F. Anyangwe., V. K. Payne., K. Bridget and F.J. Muafor. Eaux non conventionnelles: un risque ou une solution aux problèmes d'eau pour les classes pauvres, *Larhyss Journal*, 17, pp.47-64, 2014.
- [3] M. Lagnika, M. Ibikounle, J.P.C. Montcho, V.D. Wotto and N.G. Sakiti. Caractéristiques physicochimiques de l'eau des puits dans la commune de Pobè (Bénin, Afrique de l'Ouest), *J. App. Biosci*, 79, pp.6887 – 6897, 2014.
- [4] A. Adjagodo, M. Agassounon Djikpo Tchibozo, C. Kelome, N. Ahouangnivo and R. Lawani. Flux des polluants liés aux activités anthropiques et risques sur les ressources en eau de surface à travers le monde, *Larhyss Journal*, 28, pp.7 – 23, 2016.
- [5] OMS, 1996. Directives de qualité pour l'eau de boisson. Critères d'hygiène et Documentation à l'appui. volume 2; 2e Edition; Genève, 1050 p.
- [6] F. Yovo, B. Dimon, F. Suanon, C.E. Azandegbe, I. Agani and V. Wotto. Phytoremediation: Synergistic Effect of *Thalia geniculata* and *Crassipes Eichhornia* (Water Hyacinth) During Domestic Wastewater Treatment, *Plant*, 5 (1), pp.1-8, 2017.
- [7] D. Belghyti, Y. El guamri, G. Ztit, O. M. Lahcen, M.B. Joti, A. Harchrass, H.Amghar, O. Bouchouata, K.El kharrim and H.Bounouira. Caractérisation physico-chimique des eaux usées d'abattoir en vue de la mise en œuvre d'un traitement adéquat: cas de Kenitra au Maroc Afrique, *Science*, 05 (2): 199 – 216.
- [8] B. Odoulami. Approvisionnement en eau potable dans les grandes villes du Bénin. Quelles politiques pour l'avenir ? Cas de Cotonou, Porto- Novo et Parakou DINEPA (Petite – ville), 55p, 1999.

- [9] Kandalaf, J.-P. (2017). L'accès à l'eau douce dans le monde : Ses principaux enjeux. *Proche-Orient Études en management*, 29, 159-185.
- [10] K.A.R. Kpegli, F. Adandedji, C. Ahouandogbo, M.B. Djihouessi, J.Houkpe, Y. M'Po N'Tcha, A.Y. Bossa, A. Alassane, L.O. Sintondji and D. Mama. Groundwater Recharge Assessment in Central Benin: The Case of the Collines Region (West Africa), *Water*, 16, 1-21, 2024.
- [11] P.K. Masawula, C.N. Luwesi, Y.I. Bomangwa, J.K. Shikayi, D.K. Kinakina, R.G. Sabimana, E.O. Djamba. Analyse des paramètres de potabilité des sources d'approvisionnement en eau par les ménages dans la zone de santé de Mbanza-Ngungu au Kongo Central en RD Congo, *American Journal of Multidisciplinary Research & Development (AJMRD)*, 6, 8, pp.27-38,2024.
- [12] UNESCO. Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2023, *UN WATER*, p16,2023.
- [13] C. A. Agbota., E. Tévoedjre and J.D. Hessou. Mettre la politique nutritionnelle au cœur du développement -Comprendre les facteurs institutionnels et politiques du changement politique: Etude de cas de Bénin, Health, *Nutrition and Population (HNP) Discussion Paper*, 112p, 2010.
- [14] J. M. Essou., G. M. A. Dedehouanou., M. Avoutou and K.G. Mohamed. Modes de gestion des infrastructures agropastorales du Programme d'Appui au Secteur du Développement Rural dans les départements du Borgou-Alibori au Bénin: analyse et enjeux, *International Journal of Strategic Management and Economic Studies (IJSMES)*, 2 (6), 2410–2444, 2023. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10636771>.
- [15] M. E. Agbota., C. J. Hadonou., J. B. K. Vodounou and Y. O. Doubogan. Vulnérabilité des producteurs périurbains de vivrières face aux contraintes agro météo-climatiques et socioéconomiques à Parakou, Collection Recherches et Regards d'Afrique, (2), 5, pp: 216-242,2023.
- [16] A. R. Abdoulaye. Gestion des eaux pluviales en milieu urbain pour un développement durable : Cas de la ville de Parakou, DEA de Université d'Abomey-Calavi, 2006.
- [17] A. K. Baba Cheick. Impact environnemental des retenues d'hydraulique pastorale dans la commune de Nikki, Mémoire de la Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines de l'Université D'Abomey-Calavi, p170,2004.
- [18] R.Tremblay., N.Brunot., S. Fernandez., A-S. Saus and F. Xavier. L'évaluation des interventions éducatives. *Sexualités et société*, 271-280,2020.
- [19] H. Nasiba and B. Y. Benzine Bornia Yasm. Traitement et contrôle de la qualité de deux types d'eau à usage pharmaceutique: eau purifiée et eau pour préparations injectables, Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master Professionnel en Science de la Nature et de la Vie à l'Université Frères Mentouri Constantine, 2002-2021, p67.
- [20] D.M. Khababa and M Tabet. Analyses physico chimiques et bactériologiques des eaux des puits de la wilaya de Bordj Bou Arreridj (la commune de Zemmoura), Memoire de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers, Université Mohammed El Bachir El Ibrahim B.B.A, 72p, 2023.
- [21] C. Belakhedar and K. Belkhiri. Enquête sur le niveau de connaissance en eau et assainissement chez le citoyen Algérien, Mémoire de l'Université Mohamed El Bachir El Ibrahim B.B.A, Sciences de la Nature et de la Vie, p63, 2022.
- [22] K.M. Yéo, A.N.B. Kouadio and D.L. Goné. Evaluation de la qualité des eaux de forages et de puits destinées à la consommation humaine: Approches d'analyses multivariées, *International Journal of Innovation and Applied Studies*; 40 (4); pp: 1299-1311, 2023.
- [23] O. Kyakimwa Kyalwahi, B. Musoki Furaha and S. Nyanzereka Mokala. Évaluation de la qualité bactériologique des eaux de puits de la Commune Mususa en Ville de Butembo. Parcours Et Initiatives: *Revue Interdisciplinaire Du Graben (PIRIG)*, (25), 111–126, 2023. <https://doi.org/10.57988/crig-2426>.
- [24] E. K. Tchoungsi, B.Mougoue, C.T. Tagne, F.M. Touoyem and N.S.Bonganjum. Approvisionnement en eau et risques sanitaires dans le bassin versant amont de l'Abiergué à Yaoundé (Cameroun), *European Scientific Journal*, 16 (8); pp: 102-123, 2020.
- [25] C. FAYE. Water pollution challenges, a threat to public health: strengths and weaknesses of water laws and policies in Senegal, *Larhyss Journal*, 32, pp: 107-126, 2017.
- [26] S.C. Eddine and A. Tria. Impact de la pollution agricole et domestique sur la qualité des eaux du barrage de Bouhamdane, *Mémoire de Master de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie*, Sciences de la Terre et de l'Univers de l'Université 8 Mai 1945 Guelma, p93,2023.
- [27] S. M. Tounkara and M. Soudani. L'Education au Développement Durable par Problématisation de Phénomènes de Pollution Environnementale en Formation Initiale des Enseignants au Mali. *ESI Preprints*, 32, pp: 478-501, 2024.
- [28] C. Degbey, M. Makoutode, E-M. Ouendo, B. Fayomi and C. De Brouwer. La qualité de l'eau de puits dans la commune d'Abomey-Calavi au Bénin, *Environnement, Risques et Santé*, 7, 4, pp: 279 – 283, 2008.
- [29] D. Saada, A. Soumaya, T. Zahra. Nouvelles technologies de traitement de l'eau: Magnétisation de l'eau potable, *Mémoire de Master en Sciences Biologique, Biochimie Appliquée*, Université Ahmed DRAÏA – Adrar, 80p, 2022.

- [30] A.N. Ben and G. Chouireb. Traitement des eaux usées urbaines, par la technique d'infiltration-percolation sur filtre à sable cas commune de Berriane (Ghardaïa), *Mémoire de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la terre*, Université de Ghardaïa, 59p, 2022.
- [31] R. Mediani and I. Bekraoui. Evaluation de la qualité des eaux des puits à usage agricole dans la région d'adjar, *Mémoire de la Faculté des Sciences et de la Technologie de l'Université Ahmed Draïa Adrar*, 74p, 2020.
- [32] H. Chahinez. Etude comparative de la qualité physico-chimique et bactériologique entre eau de puits de Si Abdelghani (Tiaret) et Puits de Daïa (Ghardaïa)., Faculté des Sciences et Technologies Département de Génie des procédés, Université de Ghardaïa, 87p, 2020.
- [33] B. Tayeb. Caractérisation des Calcaires de la de Tebessa, Mémoire de l'Institut des mines de l'Université EchahidEsheikh Larbi Tebessi – Tébessa, 78p, 2023.
- [34] K. I. El-Khalil. Profil phosphocalcique chez les insuffisants rénaux chroniques hémodialysés, *Mémoire de la Faculté des Sciences de la Nature et de Vie et Sciences de la Terre*, Université de Ghardaia, Université de Ghardaia, p79,2023.
- [35] G. Boutteyna. Étude comparative de la composition et de la charge polluante des eaux usées résidentielles et des eaux usées des Établissements Publics de Santé de Proximité (Ghardaïa), *Mémoire de la Faculté des Sciences et de la Technologie de l'Université de Ghardaïa*, p93,2024.
- [36] H. Chileg. Étude de la variation spatiale de la salinité des eaux phréatique de la commune de METLILI (Wilaya de GHARDAIA), *Mémoire de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université KASDI MERBAH – OUARGLA*, p107,2023.
- [37] M. Makoutode, C. Degbey, E-M. Ouendo, B. Fayomi and C. de Brouwer, La qualité de l'eau de puits dans la commune d'Abomey-Calavi au Bénin. *Environnement, Risques et Santé*. 7, 4 279 – 283,2008.
- [38] OMS, Directives de qualité pour l'eau de boisson, Quatrième édition. Publication Organisation Mondiale de Santé. Genève, Suisse, 307 – 447,2011.
- [39] P. Agbohessi, L. Guedegba, R. Pelebe and I.I. Toko. Exposition de la faune ichthyenne et autres animaux aquatiques aux polluants organiques, chimiques et biologiques dans le lac Nokoué au Sud du Bénin: Synthèse documentaire, *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét*, 11 (3), pp: 360-372,2023.
- [40] D.R.Rahal and N.Toubi. Etude de l'efficacité du processus de chloration au niveau de la station de traitement de l'eau du barrage Bouhamdane- Guelma, *Mémoire de la Faculté des Mathématiques et de l'Informatique et des Sciences de la Matière de l' Université de 08 Mai 1945 de Guelma*, p176,2023.
- [41] Y. El Hammoudani, F. Dimane, K. Haboubi, A. Bourjila, C. Benaissa, I. Achoukhi and Haboubi C. Assessment of groundwater quality in the lower wadi of the nekou valley, al-hoceima-Morocco, *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, Vol 22, 3, p: 399-409, 2023.
- [42] G. Das, V. Tirth, S. Arora, A. Algahtani, M. Kafeel, A.H.G Alqarni, P. Saluja, H. Vij, S.S. Bavabeedu and A. Tirth. Effect of Fluoride Concentration in Drinking Water on Dental Fluorosis in Southwest Saudi Arabia. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17, pp: 14-39, 2020.
- [43] S. Verhille. Les indicateurs microbiens dans l'évaluation de l'eau potable: interpréter les résultats de laboratoire et comprendre leur signification pour la santé publique, *National Collaborating Centre for Environmental Health*, 1-13,2013.
- [44] O.B. Yapo, V. Mambo, A.M. Seka and M. Ohou. Evaluation de la qualité des eaux des puits à usage domestique dans les quartiers défavorisés de quatre communes d'Abidjan (Côte d'Ivoire): Koumassi, Marcory, Port-Bouet et Treichville, *Revue Internationale des sciences biologiques et chimiques*, 4, (2), 289-307,2010.
- [45] S. Some, R. Mondal, D. Mitra, D. Jain, D. Verma and S. Das. Microbial pollution of water with special reference to coliform bacteria and their nexus with environment, *Energy Nexus, Elsevier*, 1, pp: 1-9, 2021.
- [46] K.K. Tandoh and S.F. Gbedemah. Spatial variability of water quality from hand-dug wells and their contaminant sources in peri-urban areas of Koforidua, Ghana, *Environmental Contaminants Reviews (ECR)*, 7 (2), 79-84,2024.
- [47] C. Alutu, N. Ezeama and P. Adogu. Preferred drinking water and waterborne infections among households a rural community in Anambra State, Southeast, Nigeria, *West African Journal on Sustainable Development (WAJSD)*, 1 (2), pp: 228-240.

The dental prosthesis at the Bamako district hospital

A. Ba¹, A. Kassambara¹, H. Koita¹, S. Samake¹, T. Sidibé², and M. Keita³

¹University Hospital Center of Odonto Stomatology (CHU-OS), Bamako, Mali

²District Hospital, Bamako, Mali

³University Hospital Center of Gabriel Touré (CHU-GT), Bamako, Mali

Copyright © 2024 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: *Introduction:* Uncompensated dental losses are the cause of functional and aesthetic disorders that require prosthetic treatment.

The objective of this work was to assess the dental prosthetic rehabilitation needs of adult patients admitted for consultation in the odontostomatology service of the CSREF of Commune I of the district of Bamako.

Materials and methods: our study was descriptive and cross-sectional involving 170 subjects admitted to consultations in the odontostomatology service of the CSREF in commune I of the district of Bamako, of both sexes, of adult age. The principle consisted in carrying out an oral and in particular prosthetic examination of each subject in the cabinet.

Statistical analysis used SPSS version 21 software.

Results: in the sample, the female sex was in the majority with 57.6% and a sex ratio of 0.73 in favor of men. The most represented missing tooth interval was 1 to 3 teeth with 69.7% of the sample in the maxilla and 71.2% in the mandible. Prosthesis wearers were 38.7% in the maxilla and 15.2% in the mandible. The prostheses worn were suitable in 76.5% of cases. The prevalence of the diagnosed therapeutic need was 62.4% PCP in the maxilla and 67.4% PCP in the mandible.

But when the patient is asked to formulate a hypothesis of choice; 67.4% will choose the provisional resin PAP in the maxilla and 68.1% will choose the same type prosthesis in the mandible. The reasons may be due to financial constraints and limited access to oral health services for the poor.

Conclusion: a better organization of the socio-health care system could facilitate the accessibility of underprivileged populations to prosthetic rehabilitation.

KEYWORDS: dental prosthesis, edentulousness, prosthetic needs.

1 INTRODUCTION

Uncompensated dental losses are the cause of functional and aesthetic disorders that require prosthetic treatment.

The objective of this work was to assess the dental prosthetic rehabilitation needs of adult patients admitted for consultation in the odontostomatology service of the CSREF of Commune I of the district of Bamako.

1.1 TYPE AND PERIOD OF STUDY

We conducted a descriptive and cross-sectional study, over a period of three (3) months from November 29, 2019 to February 29, 2020.

1.2 PLACE AND FRAMEWORK OF STUDY

The study took place in the odonto-stomatology department of the Reference Health Center of Commune I in the district of Bamako. It is located on the left bank of the Niger River in the eastern part of the Bamako district.

The health district of Commune I covers an area of 34.26 km² or 12.83% of the total area of the district 267 km² with a population of 447,658 inhabitants in 2018.

1.3 STUDY POPULATION

Our study population concerned all the subjects admitted for consultation at the odontostomatology service of the CSREF of Commune I of the district of Bamako.

1.4 MATERIAL USED

During the investigation we used the following equipment:

- a survey sheet (questionnaire)
- an examination tray (mirror, probe, tweezers) kits for disinfection and sterilization of instruments (hypochlorite water; alcohol; soap; poupinel; brush).

1.5 STUDY METHOD

The survey was carried out during the working days of the service. The technique consisted of an interrogation followed by a clinical oral examination (teeth; periodontium; edentulousness; causes of edentulousness; rehabilitated edentulousness).

1.6 SAMPLING

The population studied is all adult patients admitted for consultation at the odonto-stomatology service of the CSREF in commune I of the district of Bamako, chosen according to the inclusion and exclusion criteria during the study period.

Inclusion criteria: we included in our study

- any adult patient coming for consultation and agreeing to participate in the study;
- with partial or total edentulism and/or
- with coronary decay and/or
- with dyschromia requiring prosthetic rehabilitation;

Exclusion criteria:

- all patients under the age of 18;
- any patient who did not present with edentulism, coronary decay or dyschromia or who did not agree to participate in the study was not included in our study.

1.7 DATA ANALYSIS AND PROCESSING PLAN

Data were entered and analyzed with software (Microsoft Office Excel 2016; SPSS 21 and Word 2016).

1.8 ETHICAL CONSIDERATIONS

Participation in our study was completely voluntary. Patients were informed of the purpose of our study in order to obtain their informed consent. The questionnaire was translated, individual and anonymous to guarantee the confidentiality of respondents.

All patients benefited from enlightened information on oral hygiene and dental prosthesis needs.

1.9 SCIENTIFIC BENEFITS

The study will contribute to the establishment of a map of prosthesis needs and the development of a prevention program in Mali.

Contribute to the identification of oral health problems and in particular prosthetic problems among adults in commune I of the district of Bamako.

Contribute to the development of an action plan to meet the demand for prosthetic care in Commune I of the Bamako district.

❖ Socio-demographic variables

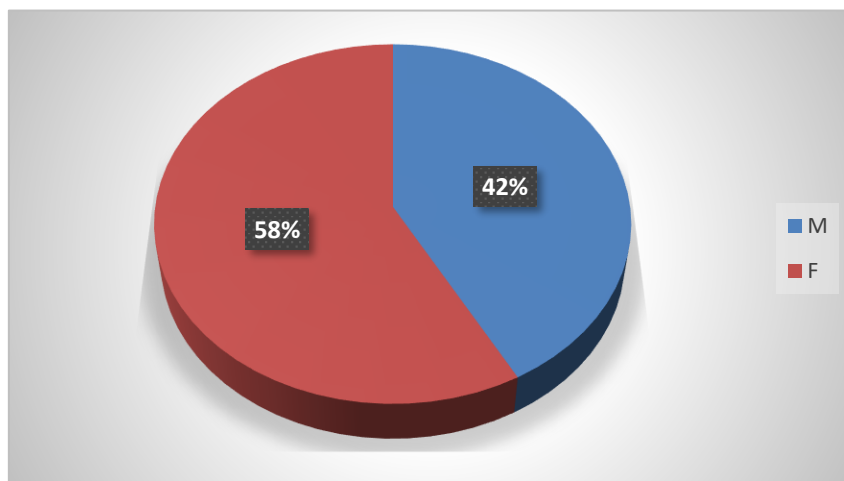


Fig. 1. Graph 1: Breakdown of the workforce by gender

The female sex was the most represented with a sex ratio of 0.73.

Table 1. Breakdown of the workforce by age group

Age group (year)	Number	Percentage (%)
18 à 30	73	42,9
31 à 40	45	26,5
41 à 50	21	12,4
51 à 60	14	8,2
61 à 70	14	8,2
71 and +	3	1,8
Total	170	100,0

The age group between 18 and 30 years old was the most represented with 42.9% of cases and extremes ranging from 18 to 75 years old.

Table 2. Distribution of the workforce by occupation

Occupation	Number	Percentage (%)
Teacher	7	4
Household	34	20
Seller	25	14,7
pupil/student	22	12,9
Mason	8	4,9
Hairdresser	8	4,9
Midwife	5	3
Farmer	9	5,3
commercial employee	12	7
Male nurse	7	4
Carpenter	7	4
Others	26	15,3
Total	170	100,0

Housewives were the most represented with 20% of cases; followed by sellers with 14.7% of cases.

*Others make up various professions: engineer 0.6%; sheet metal worker 1%; repairer 0.6%; cook 0.6%; policeman 1.5; doctor 1.2%; electrician 2%; technician 1.2%; driver 0.6%, shopkeeper 1.2%; laborer 1.8% secretary 1.2% retired 1.8%, *

Table 3. Distribution of the workforce according to the level of education

Education level	Number	Pourcentage (%)
Primary	21	12,4
Secondary	45	26,5
Superior	42	24,7
Coranic school	8	4,6
Unschoolled	54	31,8
Total	170	100

Those without schooling were the most represented with 31.8% of cases; followed by the secondary level with 26.5% of cases.

❖ Clinical variables

Table 4. Distribution of the workforce according to the number of missing teeth in the maxilla

Missing teeth	Number	Percentage (%)
1 à 3	76	69,7
4 à 6	17	15,6
7 à 9	7	6,4
10 à 12	2	1,8
13 à 16	7	6,4

The majority of patients had 1 to 3 missing teeth in the maxilla, i.e. 69.7% of cases.

Table 5. Distribution of the workforce according to the number of missing teeth in the mandible

Missing teeth	Number	Percentage (%)
1 à 3	99	71,2
4 à 6	27	19,4
7 à 9	6	4,3
10 à 12	1	0,7
13 à 16	6	4,3

The majority of patients had 1 to 3 missing teeth at the mandibular level, i.e. 71.2% of cases.

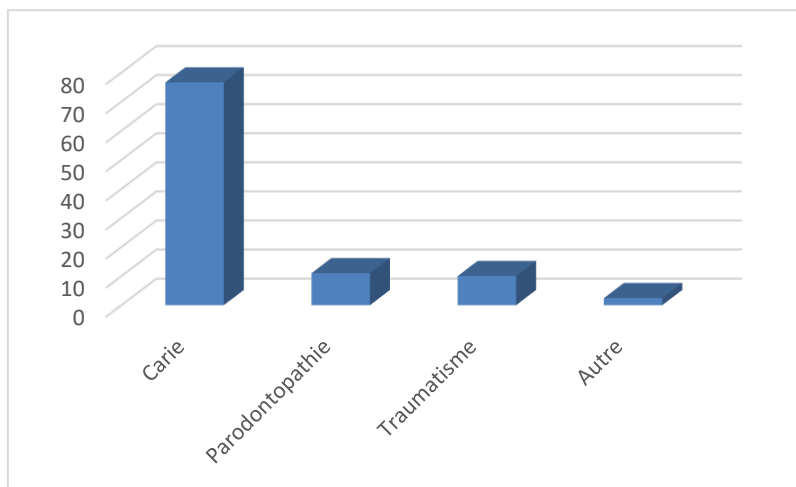


Fig. 2. Distribution of the workforce according to the cause of the edentulism

Dental caries was the cause of edentulism in 76.6% of cases followed by periodontal disease with 11% of cases.

Table 6. Distribution of the workforce according to the wearing of prostheses in the maxilla

Prosthesis wearing	Number	Percentage (%)
Yes	43	38,7
No	68	61,3

The majority of our patients did not wear a maxillary prosthesis, i.e. 61.3% of cases.

Table 7. Distribution of the workforce according to the wearing of a prosthesis on the mandible

Prosthesis wearing	Number	Percentage (%)
Yes	21	15,2
No	117	84,8

The majority of our patients did not wear a prosthesis at the mandibular level, 84.8% of cases.

Table 8. Distribution of the workforce according to the type of prosthesis worn on the maxilla

Type of prosthesis worn	Number	Percentage (%)
PCP	4	9,5
PAP résine (temporary)	32	76,2
PAC	4	9,5
Others	2	4,8
Total	42	100,0

The majority of our patients wore resin PAP-type prostheses (temporary) at the maxillary level, 76.2% of cases.

Table 9. Distribution of the workforce according to the type of prosthesis worn on the mandible

Type of prosthesis worn	Number	Percentage (%)
PCP	1	5
PAP résine (temporary)	18	90
PAC	1	5

The majority of our patients wore resin PAP-type prostheses (provisional) at the mandibular level, 90% of cases.

Table 10. Distribution of the workforce according to the adaptation of the wearing of prostheses

Prostheses wearing	Number	Percentage (%)
Adapted	39	76,5
Not adapted	12	23,5

The prostheses worn were suitable in 76.5% of cases.

Table 11. Distribution of the workforce according to the therapeutic need and therapeutic indication in the maxilla

Type of prostheses worn	Number	Percentage (%)
PCP	68	62,4
PAP metal frame	32	29,6
PAC	7	6,4

The majority of our patients needed PCP with 62.4% followed by PAP with a metal frame with 29.6% of cases in the maxilla.

Table 12. Distribution of the workforce according to the therapeutic need and therapeutic indication for the mandible

Type de prothèse portée	Number	Percentage (%)
PCP	93	67,4
PAP metal frame	41	30,6
PAC	3	2,2
PCU	1	0,7

The majority of our patients needed PCP with 67.4% followed by PAP with a metal frame with 30.6% cases in the mandible.

Table 13. Distribution of the workforce according to the prosthetic choice in the maxilla

Choix prothétique	Effectif	Pourcentage (%)
PCU	2	1,9
PCP	20	18,7
PAP temporary	76	71
PAC	7	6,5
PAP métal farmer	2	1,8

- The resin PAP (provisional) was the most represented with 71% of the cases followed by PCP 18.7% of the cases.

Table 14. Distribution of the workforce according to the prosthetic choice in the mandible

Choix prothétique	Effectif	Pourcentage (%)
PCU	1	0,7
PCP	33	23,9
PAP en résine	94	68,1
PAC	3	2,2
PAP en chassis métallique	7	5

Resin PAP (provisional) was the most represented with 68.1% of cases followed by PCP with 23.9% of cases.

2 COMMENTS AND DISCUSSION

Our study is part of a descriptive and cross-sectional study based on the oral examination of adult patients with edentulism and coming for consultation at the CSREF of Commune I of the district of Bamako from November 29, 2019 to February 29, 2020.

✓ Sociodemographic data:

The female sex was the most represented with 57.6% and a sex ratio of 0.73 in favor of men. The female predominance reported in our study is similar in most national and international series.

Thera B. (1) in her study in 2015 at the CHU-CNOS in Bamako found 65.25% female with a sex ratio of 0.65.

Azzaz A. et al. (2) in their 2013 study in Casablanca found 60% female with a sex ratio of 0.66.

✓ Age: in our study; the most represented age group was that of 18 to 30 years with 42.9% of the sample.

In our study the majority of the subject was young; these results are similar with other

Khady K. (3) found in her study in 2002 in Dakar 69.3% in the age group 18 to 34 years.

Camara S. (4) in 2008 at the CHU-CNOS in Bamako, identified 35.5% in the 20 to 29 age group.

Azzaz A. et al. (2) in a similar study in 2013 in Casablanca showed that most of the subjects were young with an age range between 35 and 44 years.

✓ The profession: the most represented was housewives with 20% of cases.

In the sample, the female gender was the most represented, which explains the representation of housewives in the profession.

Our results are close to those of Thera B. (1) in 2015 at the CHU-CNOS in Bamako, which reimbursed housewives in 24% of the workforce.

Camara S. (4) in her study at the CHU-CNOS in Bamako in 2008 found that 42.5% of the workforce were housewives.

- ✓ **According to level of education:** the majority were unschooled with 31.8% of the sample. The higher level of education was represented by 24.7%; the level of secondary education by 26.7%; the Koranic school level by 4.7% and the primary level by 12.4%.

Similar results were also reported by Camara S. (4) in her study at the CHU-CNOS in Bamako, she identified the unschooled in 45% of cases; patients with a higher level were represented with 10% of the workforce; secondary level patients were present in 28% and primary level patients in 17% of cases.

➤ Clinical data:

- ✓ **The number of missing teeth:** the range of 1 to 3 missing teeth in the maxilla was represented by 69.7% and in the mandible by 71.2%.

Our results are consistent with other similar studies.

Thera B. (1) in her study at the CHU-CNOS in Bamako in 2015 found 66.91% at the interval 1-4 missing teeth in the maxilla and 77.80% in the mandible.

But our results are contradictory with those of Songo B. et al. (7) who found 49.20% in the mandible and 55.7% in the maxilla.

In our study, between 1 and 6 teeth were missing per statistical unit in 76.8% of cases.

- ✓ **According to the cause of edentulism:** dental caries represented 78.2% of the causes of extraction in the workforce. It remains the essential etiology of tooth loss.

Our results are superior to those of FÜRE (2003) (28), according to him dental caries is the main reason for dental extractions. His study conducted on a sample of the Swedish population in 1997 found that 60% of teeth were extracted due to caries.

- ✓ **According to the prosthesis worn:** in the maxilla 38.7% of the gaps were compensated and in the mandible only 15.2% of the gaps were compensated.

Our results are superior to those of Khady K. (32), she found in 2002 in her research in Dakar 10.1% of the workforce were prosthesis wearers.

In our study, the maxilla carried prostheses twice as much as the mandible; this is in agreement with that of JEANNOT reported by Khady K. (32); in his studies, 3.1% of people wearing prostheses concerned the maxilla against 1.5% in the mandible.

Azzaz A. et al. (5) in their study in 2013 in Casablanca found that 48% of subjects had a prosthesis in the maxilla and less than 18% in the mandible had a prosthesis.

In our study, the majority of prosthesis wearers were female and concerned more the maxilla.

In our study, most of the edentulous cases did not have a prosthesis.

A survey by the CPAM (Caisse Primaire d'Assurance Maladie) in 2003 showed that among the elderly population in France, a significant number were edentulous and more than 1/3 were not fitted, i.e. 37.3%. (50)

In our study more than half of the patients did not have a prosthesis, this may be due to financial constraints and limited access to oral health services for the poor.

- ✓ **According to the type of prosthesis worn:** in the maxilla 76.2% of edentulousness was compensated by the PAP and in the mandible 90% were compensated by the PAP. 100% of the PAPs were in resin without a metal frame.

Our results are superior to those of Owall B. et al. (40) who found in Poland that 85.4% of PAPs were made of resin without a metal frame.

- ✓ **According to the adaptation of the prostheses worn:** the prostheses worn were not adapted to 23.5% of the workforce and were there for 76.5% of the workforce.

Our results are superior to those of Thera B. (49) in her study at the CHU-CNOS in Bamako in 2015, with 65.8% of the prostheses worn being adapted.

The prostheses worn were mostly suitable, explained by the location of the survey, including the CSREF of Commune I of the district of Bamako, of the subjects who visit the dentist.

✓ **Therapeutic need:** in our sample, 62.4% suffered from PCP; 28.4% PAP with a metal frame; 2.2% PAC; 0.2% PCU in the maxilla. In the mandible; 67.4% suffered from PCP; 30.6% PAP with metal frame; 2.4% PAC and 1.2% PCU.

These rates are comparable with those of Khady K. (32) in 2002 in Dakar 5.2% needed PCU; 20.2% PCP; 29.9% PAP; 3.5% PAC.

These results are also comparable with a Moroccan national survey.

In 1993, a Moroccan national survey showed that at maxillary level 55.6% of individuals discovered a multiple prosthesis, 15.3% a bridge and 4.6% a total prosthesis. While in the mandible 56.7% obtained a multiple prosthesis; 14.7% a bridge and 3.5% need a total prosthesis. (38)

According to the allocation criteria for social security devices in France, 59% of elderly people in retirement homes need at least one removable prosthesis and the need for prosthetic care increases to 77% if we include the unsuitable devices. (20)

The high PCP requirements are explained by the prevalence of missing teeth (1 to 3) and the edentulousness was essentially of the recessed type. The low rate of CAP is explained by the fact that CAP concerns elderly subjects who are not numerous in our workforce. The rate of PKU can be explained by the late consultation (partial or total coronary decay); lack of information.

✓ **Prosthetic choice:** when patients are asked to formulate a hypothesis on the type of prosthesis they will choose; 71% prefer resin PAP (provisional); 18.7% PCP; and 0.1% metal-framed PAP in the maxilla. In the mandible, 68.1% will choose the resin PAP; 23.9% will choose the PCP and 4.3% the PAP with a metal frame.

Our results are in agreement with that of DJEREDOU K. B et al. (23); they showed in 2003 in RCI in their study that in patients who had already been fitted, the assistant prosthesis was the most frequently found therapeutic choice. It is inexpensive and seems more accessible to patients in relation to their socio-economic level.

El ALAMI F.D in 2003 (27) in a Moroccan city showed that a low use of the fixed prosthesis was made, and this was due to its high cost and a lack of coverage by mutual insurance companies.

3 CONCLUSION

Tooth loss is mainly caused by tooth decay, periodontal disease, and trauma. This will have functional, aesthetic and psychological implications. The dental prosthesis in different forms makes it possible to compensate for the consequences of edentulousness.

In Mali, few studies have concerned the prosthetic treatment needs of the population, particularly in the sector of commune I of the district of Bamako. The objective of our study was to evaluate the needs for prosthetic treatments in adult patients in the odontostomatology department of the CSREF in commune I of the district of Bamako.

The study involved 170 adult patients of both sexes.

The study revealed a large uncompensated tooth loss; Compensated edentulousness is dominated by the wearing of the provisional resin prosthesis.

The need for prostheses is dominated by the multiple joint prosthesis because of the small extended and recessed edentulousness. Due to poverty, the demand of the population is dominated by the resin denture.

Improving the condition goes through the prevention of dental caries; the subsidy of dental prostheses and the training of prosthetists; prosthetic technicians and the introduction of implantology in the training of students.

REFERENCES

- [1] Thera B. Evaluation des besoins en prothèse dentaire au CHU-CNOS de Bamako à propos de 400 cas. Thèse Faculté de médecine et odontostomatologie. [MALI] (2015).
- [2] Azzaz A. et coll. Besoins et demandes de traitements prothétiques chez la population suivie aux services de prothèse du Centre de Consultations et de Traitements Dentaires (CCTD) de Casablanca. Thèse Faculté dentaire de Casablanca. (Maroc). (2013).
- [3] Khady K. Evaluation des besoins prothétiques dans la commune de Dakar. Thèse Med Université Cheik Anta DIOP de Dakar. (2002).
- [4] Camara S. La restauration de la mastication à l'aide de la prothèse amovible au CHU-OS de Bamako à propos de 200 cas. Thèse Université de Bamako. [MALI] (2008).
- [5] Songo B. et coll. Guide des extractions dents temporaires. Médecine d'Afrique Noire: 1993, 40 (1).
- [6] FÛre S. Ten year incidence of tooth loss and dental caries in elderly awedish individuals. Caries Research 2003; 37: 462-469.
- [7] Champion J. et coll. Prothèse partielle adjointe: conception et réalisation d'une prothèse partielle adjointe coulée. Encycl. Méd Chir (Editions Scientifiques et Médicales Elsevier SAS, Paris, Tous droits réservés), odontologie, 23-310-C-10, 2001, p22.
- [8] Rios L. Impact des conditions orales sur le bien-être et la qualité de vie des patients édentés complètes porteurs d'une prothèse adjointe complète bimaxillaire. Thèse Université de Bretagne occidentale; [France] (2015).

- [9] Owall B. et coll. Prothèses dentaires. Principes et stratégies thérapeutiques. MASSON. Paris Milan Barcelone; 256 p.
- [10] Ministère de la santé: direction de l'épidémiologie et lutte contre les maladies. Enquête épidémiologies en santé bucco-dentaire. (Maroc).
- [11] Chanty B. Gestion et Optimisation de la prothèse adjointe complète chez le sujet âgé. Thèse de Med à l'Université de Lorraine Faculté d'odontologie. (2016).
- [12] Djeredou K. et coll. Etude prospective pilote des demandes prothétiques au service de prothèse du centre de consultations et traitement odonto-stomatologie (C.C.T.O. S) Odonto-stoman. Tropicale n°103.4-8 2003 république de Côte d'Ivoire (RCI).
- [13] El Alami F. Evaluation des besoins prothétiques chez la population de la ville d'Erachidia (Enquête à propos de 200 cas). Thèse Chir. Dent RABAT. 2003; 67/03.

Influence of pollution of the Yamoussoukro lakes watershed on the genetic diversity of *Ralstonia solanacearum*: Implications for tomato productivity in Yamoussoukro

Tchimonbié Messikély ANOMAN¹, Aya Lucie Félicité N'GAZA², Any Olivier KOMENAN¹, Yao Anicet Gervais KOUAME³, Konan Samuel AHOUDJO⁴, and Doffou Selastique AKAFFOU¹

¹Unité de Formation et de Recherche (UFR) Agroforesterie de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, Département de Biologie, Génétique et Physiologie, Génétique et Amélioration des Espèces, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

²National Center for Agricultural Research (CNRA), Vegetable and Protein, Research Program, Food Crops Research Station, 01 BP 633 Bouaké 01, Côte d'Ivoire

³Unité de Formation et de Recherche (UFR) Agroforesterie de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, Département de Biologie Végétale, Laboratoire de l'Amélioration de la Production Agricole, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

⁴UMR Marchés, Organisations, Institutions et Stratégies d'Acteurs (MOISA), Montpellier SupAgro, Campus de La Gaillarde, 34060 Montpellier Cedex 02, France

Copyright © 2024 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 watershed of the central lake system of the city of Yamoussoukro in Côte d'Ivoire is subject to various forms of pollution. *Ralstonia solanacearum* (*R. solanacearum*), responsible for bacterial wilt of tomato (*Solanum lycopersicum*; 2n=2X=24Chr.), persists in market garden environments and causes tomato yield losses of up to 100%. The aim of this study was to assess the genetic diversity of *R. solanacearum*, its impact on tomato cultivation in Yamoussoukro, and to obtain genotypes of *Solanum lycopersicum* resistant to *R. solanacearum*. Samples of water, soil and wilted tomato plants were collected from June 2022 to August 2023, at six growing sites around three selected lakes. *R. solanacearum* was isolated on SMSA medium and confirmed by PCR. Genetic diversity of strains was assessed by rep-PCR. Biovar, race and pathogenicity tests were used to assess the virulence levels of strains at each site studied, and to select tomato plants potentially resistant to *R. solanacearum*. The results showed a significant variation in the incidence and severity of bacterial wilt from one site to another. The 63 *R. solanacearum* strains isolated and confirmed by PCR belonged mainly to biovar 3 and race 1. Phylogenetic analysis of *R. solanacearum* showed three distinct groups with around 70% similarity. Two groups were made up solely of strains from Lake E. A single group included all strains from all lakes. Strains from the LacE-Ch2 site showed a particularly high aggressiveness of 88%. Of the 42 tomato cultivars tested in the greenhouse, three showed no symptoms of bacterial wilt.

KEYWORDS: bacterial wilt, genetic resistance, pathogenicity, rep-PCR, taxonomy.

1 INTRODUCTION

Bacterial wilt of tomato, caused by the bacterium *R. solanacearum* (*R. solanacearum*), is a dreaded disease worldwide due to its devastating impact on crops. This disease greatly affects food security by reducing the quantity and quality of tomatoes produced [1]. *R. solanacearum* encompasses a wide range of populations that differ in host range, geographical distribution, pathogenicity and genetic characteristics. It is divided into five races based on host range [2] and six biovars based on the use of three disaccharides and three hexose alcohols [3]. Molecularly speaking, this bacterium has a circular genome of around 5.8 million base pairs, encoding numerous proteins involved in pathogenicity and virulence. Polymerase chain reaction-based DNA fingerprinting (rep-PCR) is a rapid, reliable and relatively inexpensive method for studying the genetic diversity of bacteria [4]. There are many highly conserved repetitive DNA sequences present in the genome of Gram-negative bacteria that can be used to study their genetic diversity, namely palindromic extragenic repetitive (REP) sequences [5] and enterobacterial consensus intergenic repetitive (ERIC) sequences [6].

In Yamoussoukro, the lakes watershed, where most of the region’s vegetable crops are grown, presents various types of pollution conducive to bacterial propagation, according to several authors [7], [8], [9]. Moreover, *R. solanacearum*, which causes bacterial wilt, can maintain itself in the rhizosphere of weed hosts, in plant debris and in healthy host plants, at a soil depth that allows it to be compete less with other microorganisms [10], thanks to environmental conditions that are favorable to its development. This pathogenic bacterium is known to colonize the vascular tissues of tomato plants, leading to rapid leaf wilting, tissue dieback and ultimately death of the infected plant [11]. Thus, *R. solanacearum* could prove detrimental to the sustainability of tomato production in Yamoussoukro [12], [13]. Knowledge of the genetic variability of *R. solanacearum* strains is important for plant breeding and, consequently, in crop improvement programs.

2 METHODOLOGY

2.1 PRESENTATION OF STUDY SITES

Three of the 10 lakes in the main lake system of the city of Yamoussoukro was selected for their anthropogenic, physicochemical and bacteriological characteristics [7]. These are Lake A, characterized by purely agricultural pollution; Lake B, characterized by pollution mainly from domestic waste (household, commercial); and Lake E, characterized by pollution from livestock waste and sewage (household and hospital). Two fields (Ch1 and Ch2) identified in the market gardening areas around each lake served as study sites, from January to August 2023. In all, the study was carried out at six sites: LacA-Ch1, LacA-Ch2 of Lake A, LacB-Ch1, LacB-Ch2 of Lake B, and LacE-Ch1, LacE-Ch2 of Lake E (Fig. 1).

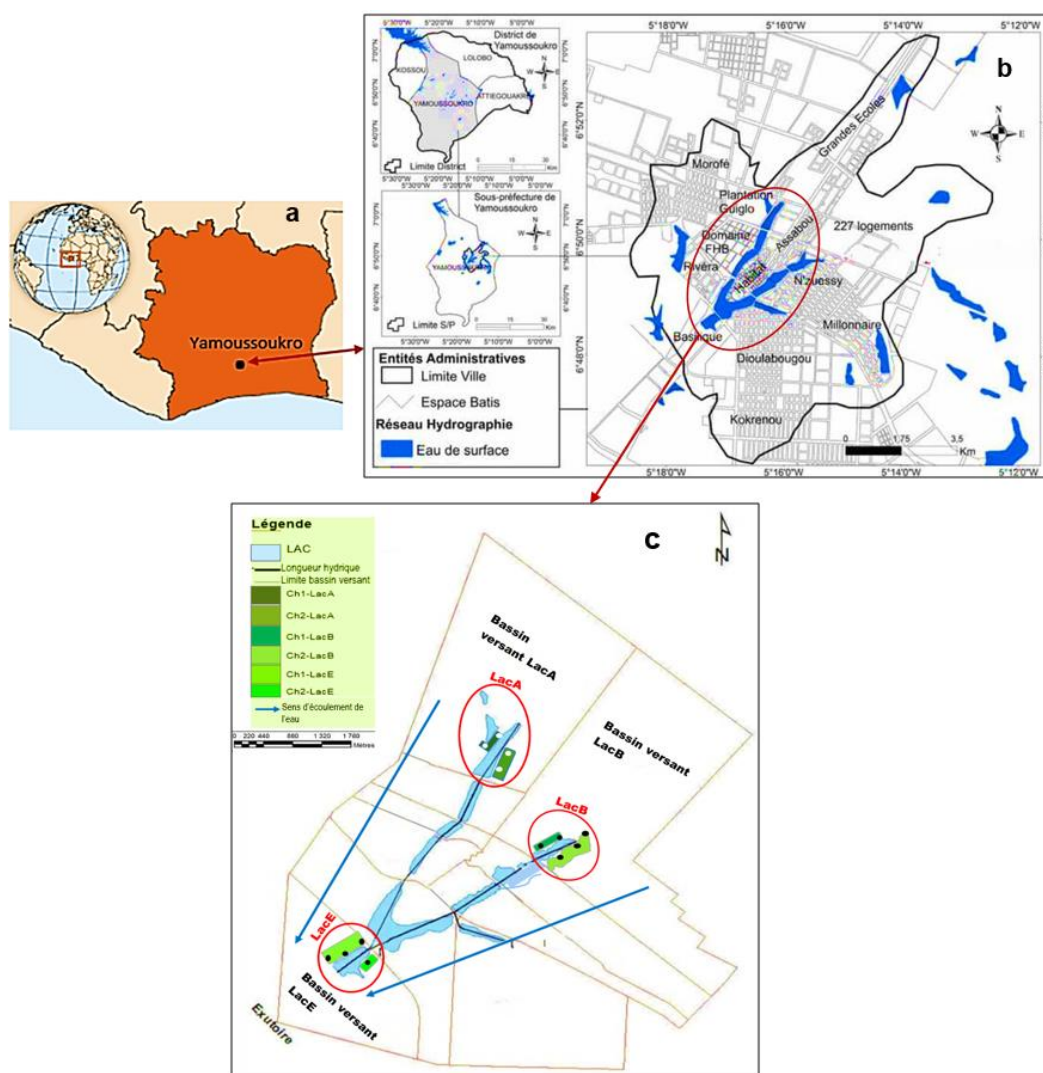


Fig. 1. Map of the town of Yamoussoukro and its hydrographic network [7]

a. Yamoussoukro in Côte d'Ivoire; b. Yamoussoukro town; c. Yamoussoukro Lakes

2.2 SAMPLING OF TOMATO PLANTS, IRRIGATION WATER, SOIL AND BACTERIAL FLUX TEST

A total of 148 lake irrigation water samples, 142 wilted tomato plants and 252 soil samples were sampled from June 2022 to August 2023. In each zone, 4 tomato fields at least 100 m apart were selected. In each field, samples of tomato plants and soil were taken from 3 locations (3 samples per field) at least 20 m apart. From each location, two concentric circles with radii of 3 m and 6 m were drawn. In the first circle, four equidistant sampling points are defined and in the second circle, 8 equidistant sampling points are defined (Fig. 2). This gives 12 sampling points for one sample. The soil was taken from the foot of the wilted tomato plants using an auger in the 0-20 cm depth stratum. The soil from each dig (550 to 600 g per dig) was collected in a bucket and mixed to form a composite sample (6.6 kg to 7.2 kg) of 12 primary samples. This mixture was placed in a polyethylene bag coded according to area, field and repeat. All the equipment is rinsed with water and then disinfected with 10% bleach at 12° before moving from one sample to another [14]. For irrigation water of lake origin, 500 ml of water was taken at each sampling point using the Canadian water sampling method, in a U-shape at a depth of 50 cm [14]. All samples were transported to the laboratory in a cooler at 4°C.

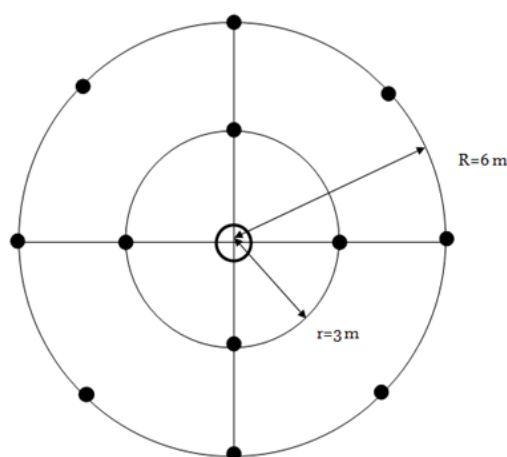


Fig. 2. Diagram of soil sampling

- basic sampling zones
- sampling zone

2.3 ASSESSMENT OF DISEASE INCIDENCE AND SEVERITY AT CULTIVATION SITES

At the collection sites, the bacterial flux test [15] was carried out on symptomatic plants, to determine the incidence and severity of the disease in the field. After a cross-section of the stem, the tomato plants were suspended in water, and after 1 minute, those showing a viscous, creamy-white runoff were retained for the *R. solanacearum* study (Fig. 3).

The level of tomato bacterial wilt at the cultivation sites studied was assessed in terms of incidence and severity. The incidence of bacterial wilt in the field was estimated as a percentage, based on the number of plants showing bacterial flux:

$$\% \text{ incidence of bacterial wilt in the field} = \frac{\text{Number of tomato plants with bacterial flux}}{\text{Number of tomato plants in the field}} \times 100$$

Bacterial wilt severity on tomato was recorded on the basis of the severity scale described by [16]: 0= no symptoms; 1= one wilted leaf; 2= two or three wilted leaves; 3= all wilted leaves; 4= bent stem or dead plant.

$$\text{Severity of bacterial wilt in the field} = \frac{\sum \text{Plant rating value}}{\sum \text{Plants}}$$



Fig. 3. Probable presence of *R. solanacearum* after carrying out the bacterial flow test on a wilted young tomato plant

a. Tomato plant affected by bacterial wilt; b. Bacterial flux flow

2.4 ISOLATION OF *R. SOLANACEARUM* BACTERIAL STRAINS FROM SOIL, IRRIGATION WATER AND TOMATO PLANTS

To isolate *R. solanacearum* from the soil, 100 ml of sterile distilled water was added to 25 g of soil for each sample. The mixture was stirred at 250 rpm using a rotary shaker for 1 hour. The resulting solution was filtered through a 1 mm diameter sieve to remove debris and then stored in a sterile 100 ml tube for isolation of *R. solanacearum*. To isolate *R. solanacearum* from plants, 100 g of tomato plants from each sample were surface disinfected with 70% ethanol for 30 seconds and macerated in 50 ml of 10 mM phosphate buffer using a stomacher. The resulting solution was stored in a sterile 100ml tube. The irrigation water samples (500 ml) were filtered through a 0.45 μm nitrocellulose membrane, followed by washing of the filter in 50 ml of 10 mM phosphate buffer, and then stored. 1 ml of the solutions obtained was dissolved in 2 first 9 ml tubes of 10 mM phosphate buffer, then homogenised by vortexing. 1 ml of the resulting dilution (1/10) was also transferred to 2 other 9 ml tubes of 10 mM phosphate buffer (1/100), then 1 ml of the resulting dilution was transferred to 2 other new 9 ml tubes of 10 mM phosphate buffer (1/1000). Next, 100 μl of each resulting solution and the stock solution were spread directly onto semi selective medium from South Africa (SMSA) developed by [17] and further modified by [18]. Petri dishes were incubated at room temperature ($28 \pm 5^\circ\text{C}$) for 48 hours [17], in an inverted position as water condensation causes colonies to flow into each other, limiting separation.

2.5 DNA EXTRACTION AND CONFIRMATION OF *R. SOLANACEARUM* BACTERIAL STRAINS BY PCR

The bacterial isolates obtained after culture on SMSA medium, were transferred to SMSA broth and cultured overnight at 28°C on a rotary shaker (150 rpm). Two ml of culture were used for genomic DNA extraction. Ultrapure sterile water was used as negative control. DNA was extracted by the CTAB (Cetyltrimethylammonium bromide) method. The DNA content and purity of the extracts were determined by measuring the absorbance at 260 and 280 nm [18].

PCR was performed in a GeneAmp System 9700 thermal cycler (Applied Biosystem, Foster City, USA) with the primer pair OLI-1 and Y-2 according to the protocol of [19]. The reaction mixture of 25 μl in total, contained 1.25 μl of each primer OLI-1 (20 μM) (5'-GGGGGTAGCTTGCTACCTGCC-3') and Y-2 (20 μM) (5'-CCCCTGCTGCCTCCCGTAGGAGT-3'); 0.25 μl of each dNTP (20 μM); 2.5 μl of 10X PCR-Buffer (MgCl₂ 15Mm); 0.1 μl of Taq polymerase (5U/ μl), 17.65 μl of ultrapure water and finally 2 μl of template DNA. PCR conditions were as follows, an initial denaturation step at 96°C for 2 min, followed by 35 cycles at 94°C for 20 s, 68°C for 20 s and 72°C for 30s. Final extension at 72°C was carried out for 10 min. The presence of the specific 288 bp PCR product was determined by 1% agarose gel electrophoresis (FMC BioProducts, USA) in 0.5 X TBE buffer. A 100 bp DNA marker (Gibco, BRL) was used as a size marker. DNA was detected by ethidium bromide staining after staining the gel in 0.5 g/ml ethidium bromide. The gels were photographed under UV light.

2.6 GENETIC TYPING BY REP-PCR

The genetic diversity of sixty-three *R. solanacearum* isolates was determined by a repetitive PCR assay (rep-PCR), using primer pairs BOXAIR, ERIC, and REP [20], [21]. Twenty-five μl of PCR reaction mixture containing 5.0 μl of 5X Taq PCR buffer, 2.0 μl of 25 mM MgCl₂, 0.2 μl of BSA, 2.5 μl of DMSO, 1.25 μl of 25 mM dNTP, 1.0 μl of primer, 1 unit of Taq polymerase (Promega), and 1 μl of 100 ng of DNA templates was used. The rep-PCR conditions were carried out in a thermocycler (BIORAD, Thermocycler C100TM) according to the

following program: an initial denaturation step at 95°C for 7 min, followed by 30 cycles at 94°C for 1 min, 53°C for 1 min (BOX) or 46°C for 1 min (ERIC) or 48°C for 1 min (REP) and 65°C for 8 min with a final extension of 65°C for 15 min, followed by a hold time at 4°C until samples were collected. Fingerprinting of PCR products was performed by gel electrophoresis in 1.2% ethidium bromide-stained agarose and photographed using the gel documentation system (BIO-RAD, GEL).

2.7 PHYLOGENETIC RELATIONSHIPS BETWEEN STRAINS BASED ON REP-PCR BANDING PATTERNS

Rep-PCR fingerprint patterns were used to measure genetic similarity among strains. Each band with different electrophoretic mobility was assigned a position number and scored as 1 or 0 depending on the presence or absence of the band, respectively, for that position. Variations in band intensity among isolates were not considered as differences. Similarity coefficients for all possible pairs of strains based on fingerprint groups were estimated by the Dice method [22]. The dendrogram was generated from the similarity coefficient data by the unweighted pair group method with arithmetic mean clustering (UPGMA) [23].

2.8 CHARACTERIZATION OF *R. SOLANACEARUM* BIOVARS

R. solanacearum isolates were differentiated into biovars based on their ability to utilize disaccharides (sucrose, lactose, maltose) and sugar alcohols (mannitol, sorbitol, and dulcitol) using the KB009 HiCarbohydrate™ kit (HiMedia Laboratories Pvt. Limited), which contains the above-mentioned disaccharide and sugar alcohols as previously described by [3], [24]. 50 µl of bacterial suspension prepared from a 48-h-old culture of *R. solanacearum* strains (0.1 OD at 600 nm) was inoculated into each well by the surface inoculation method and incubated at 35 ± 1 °C. Color change observations were recorded after 18 hours of culture inoculation up to 21 days.

2.9 CHARACTERISATION OF *R. SOLANACEARUM* RACES

To determine the races of *R. solanacearum* isolated, the method of [2] based on the differential host of solanaceous crops was used. The solanaceous crops used in our study were potatoes (*Solanum tuberosum*), aubergines (*Solanum melongena*), chillies (*Capsicum annuum*) and tomatoes (*Solanum lycopersicum*). The semis were surface sterilised with 12% bleach, rinsed with sterile water and sown in a separate tray. They were grown in a greenhouse on a sterile loam-vermiculite substrate (80/20) in a randomised block design with 2 replicates. Seedlings bearing 4 to 5 leaves were used to perform pathogenicity tests for race assignment. Approximately 10 ml of bacterial inoculum of each *R. solanacearum* isolate (10⁶ ufc/mL), obtained from a 24-48 h culture, and were used to incubate the seedlings. Two seedlings of each strain were inoculated by soaking the injured roots for 30 minutes for up to two weeks. The inoculated plants were regularly watered and maintained at temperatures between 25°C and 28°C and 90% relative humidity. They were then kept under observation for 28 days.

2.10 EVALUATION OF THE PATHOGENICITY LEVEL OF ISOLATED *R. SOLANACEARUM* STRAINS

The sterilization of tomato seeds for their greenhouse planting, then their infection with bacterial suspensions, was carried out as previously described in the characterization of *R. solanacearum* races. The tomato variety *Rossoi* was used. The symptoms were evaluated every two days according to the scale of Horita and Tsuchiya [16] (Table 1).

Table 1. Disease symptom rating scale

Pathogenicity of the strain	Condition of the plant
0	No symptoms
1	One wilted leaf
2	Two or three wilted leaves
3	All leaves wilted
4	Bent stem or dead plant

At the end of the trial, isolation on tomato stems was performed on asymptomatic plants to verify the presence or absence of *R. solanacearum*. Sections of 2 to 3 cm of the stem of each plant were made at the collar, followed by disinfection with alcohol. These sections were transferred to 5 mL of distilled water and left for 2 hours at room temperature to promote the release of bacterial colonies in the distilled water. A volume of 50 µL of each extract was inoculated on SMSA medium. The Petri dishes were then incubated at 28°C for 3 to 4 days. Asymptomatic plants were observed to be positive for latent infection when colonies characteristic of *R. solanacearum* were observed. The data obtained on latent infections were used to calculate the colonization index (CI) [15].

$$CI = WI + (NS \times RS)$$

With **NS**: Percentage of asymptomatic plants; **RS**: Percentage of asymptomatic plants with latent infection; and **WI**: Percentage of wilt index.

3 RESULTS

3.1 ASSESSMENT OF THE INCIDENCE AND SEVERITY OF BACTERIAL WILT AT CULTIVATION SITES

The results showed that in the six selected tomato growing sites, namely LacA-Ch1, LacA-Ch2, LacB-Ch1, LacB-Ch2, LacE-Ch1 and LacE-Ch2 spread across three lakes Lake A, Lake B and Lake E, significant variation was observed in terms of incidence and severity of bacterial wilt (Table 2). The highest incidence of bacterial wilt (22.65%) was recorded at site LacE-Ch2, which corresponds to field 2 of the most downstream lake in the lake system, Lake E. The lowest incidence (14.36%) was recorded at site LacA-Ch2, which corresponds to field 2 of the most upstream lake in the lake system, Lake A. Regarding the severity of bacterial wilt, the highest severity (3.80) was recorded at site LacE-Ch2 as well, i.e. field 2 of Lake E, and the lowest severity (2.93) was recorded at site LacA-Ch1, which corresponds to field 1 of Lake A, the most upstream lake in the Yamoussoukro lake system.

Table 2. Incidence and severity of bacterial wilt on tomato growing sites and number of *R. solanacearum* bacterial isolates found per growing site

Lakes	Sites	Incidence (%)	Severity (scale 1 to 5)	Quantity of isolates
Lake A	LacA-Ch1	20.00b	2.93	4
	LacA-Ch2	14.36c	3.00	3
Lake B	LacB-Ch1	20.56b	3.00	8
	LacB-Ch2	19.98ab	3.13	9
Lake E	LacE-Ch1	22.52a	3.26	20
	LacE-Ch2	22.65a	3.80	19

3.2 ISOLATION AND CONFIRMATION OF BACTERIAL STRAINS BY PCR

Sixty-three (63) strains of *R. solanacearum* were isolated from all samples after bacterial culture on SMSA medium. At the LacA-Ch1 site, 4 strains of *R. solanacearum* were isolated from irrigation water and crop soils. No strains were isolated from sampled plants. At the LacA-Ch2 site, 3 strains of *R. solanacearum* were isolated, including 2 from crop soils and 1 strain from sampled plants. At the LacB-Ch1, LacB-Ch2, LacE-Ch1 and LacE-Ch2 sites, respectively, 8; 9; 20 and 19 strains of *R. solanacearum* were isolated from irrigation water, crop soils, and sampled plants. All collected *R. solanacearum* colonies exhibited a fluid, irregular, creamy-white morphology with a pink center. These isolates were characterized using biochemical and pathogenicity tests. All strains were confirmed as *R. solanacearum* by PCR, yielding an expected 288-bp fragment after amplification with *R. solanacearum*-specific primers OLI 1-Y2.

3.3 DIFFERENTIATION OF *R. SOLANACEARUM* ISOLATES INTO BIOVARs AND RACES

The results of biovar tests showed that all 63 *R. solanacearum* isolates oxidized disaccharides (sucrose, lactose, maltose) within 3–5 days, but not sugar alcohols (mannitol, sorbitol, and dulcitol). The oxidation reaction was indicated by a color change from blue to yellow, indicating oxidation of sugars by bacterial isolates. According to these results, all groups of *R. solanacearum* isolates belong to biovar 2.

The racial identification of the 63 strains of *R. solanacearum* obtained from market gardening areas around the Yamoussoukro lakes was carried out using differential hosts such as inoculated aubergine, tomato, potato and chilli plants. All 63 isolates of *R. solanacearum* were able to cause wilting symptoms in these plants and potatoes. This indicates that they could belong to race 3.

3.4 GENETIC DIVERSITY OF *R. SOLANACEARUM* STRAINS

Rep-PCR generated by the BOX, ERIC and REP primer sets combined, produced for the 63 *R. solanacearum* isolates, 97.06% polymorphic bands and 2.94% monomorphic bands. These results are illustrated in Figure 3 for the ERIC primer. The REP primer generated 3–13 bands per isolate, with the maximum number of 13 amplicons found in isolate LacE-Ch2-17 collected from Lake E. The ERIC primer produced 4–10 bands per isolate, with the maximum number of 10 amplicons found in isolate LacE-Ch1-1 collected from Lake E. The BOX primer produced 4–9 bands per isolate, with the maximum number of 9 amplicons found in isolate LacB-Ch2-10 collected

from Lake B. All these primers produced a highly polymorphic banding pattern, facilitating differentiation into groups and confirming the extreme genetic heterogeneity within *R. solanacearum*.

Phylogenetic analysis of 63 *R. solanacearum* strains, based on fingerprint data generated by rep-PCR, formed 3 distinct groups with a similarity coefficient of 70% (Fig. 3). Group 1 consisted of 8 strains, belonging only to the LacE-Ch1 site. Group 2 consisted of 10 strains belonging to the LacE-Ch1 site and 16 strains belonging to the LacE-Ch2 site. Group 3 grouped the strains belonging to all the sites studied. These are 2 strains from the LacE-Ch1 site, 3 strains from the LacE-Ch2 site, 8 strains from the LacB-Ch1 site, 9 strains from the LacB-Ch2 site, 4 strains from the LacA-Ch1 site and 4 strains from the LacA-Ch2 site. In summary, groups 1 and 2 included only strains from Lake E, while group 3 included all strains from all lakes (Fig. 4).

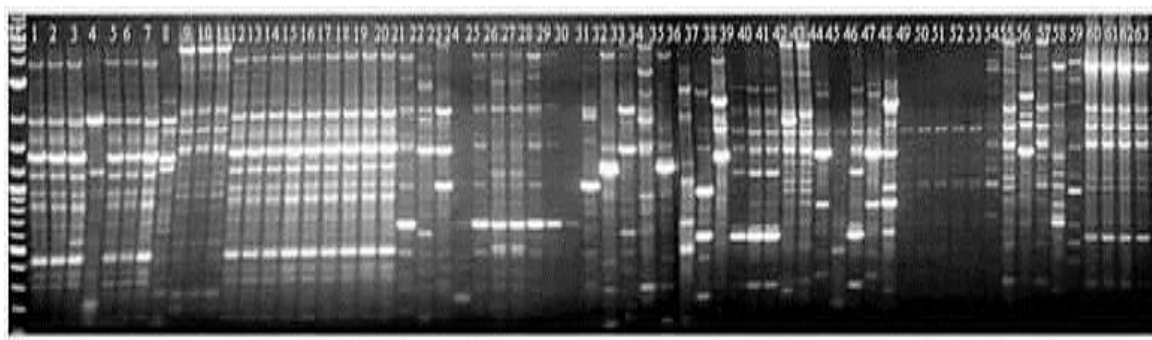


Fig. 4. Repetitive sequence polymerase chain reaction (Rep-PCR): Case of ERIC primer showing the genetic profiles of the 63 strains of *R. solanacearum* collected from market garden sites in the main lake system of the town of Yamoussoukro. MM of 10 kb DNA

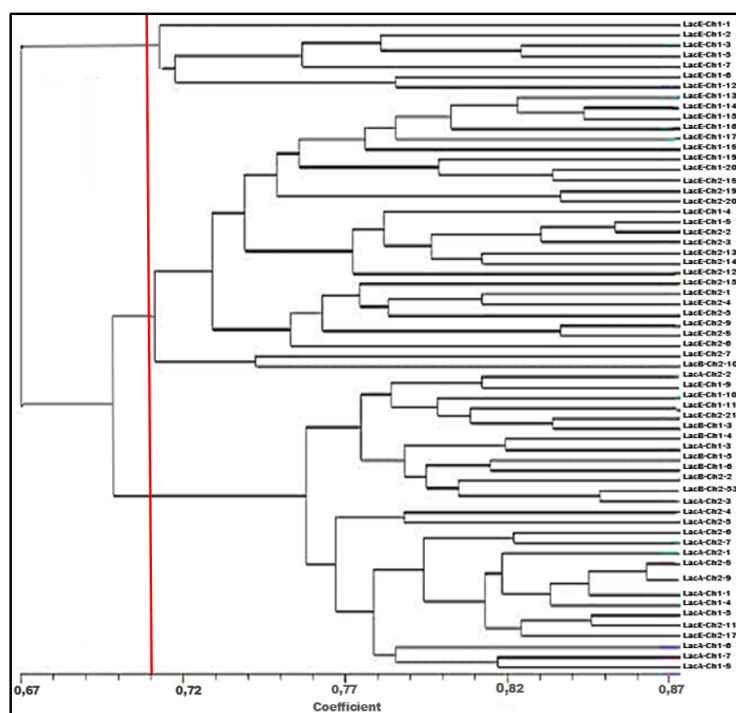


Fig. 5. Dendrogram obtained by the UPGMA method based on the pattern of bands obtained by Rep-PCR analysis for sixty-three isolates according to Jaccard's index

3.5 RESULTS OF THE PATHOGENICITY TESTS OF STRAINS

The results of the pathogenicity tests revealed that the 63 isolates of *R. solanacearum*, confirmed by PCR, were able to cause wilting symptoms in greenhouse tomatoes. However, these strains showed three levels of aggressiveness that were significantly different between them. The most aggressive groups of strains were found in the LacE-Ch1 and LacE-Ch2 sites, with aggressiveness levels higher than 55% and up to 77%.

The strains encountered on the LacB-Ch2 and LacB-Ch1 sites showed slight aggressiveness between 40% and 60%, with mainly strains isolated from crop soils and tomato plants. The strains encountered on the LacA-Ch1 and LacA-Ch2 sites showed low aggressiveness between 7% and 22%. This is the most heterogeneous group with as many virulent strains from crop soils, tomato plants and irrigation water of lake origin. (Figure 5). Nevertheless, out of the 42 cultivars evaluated, three did not show any diseased plants. These cultivars would appear resistant to the *R. solanacearum* strains present in the experimental site.

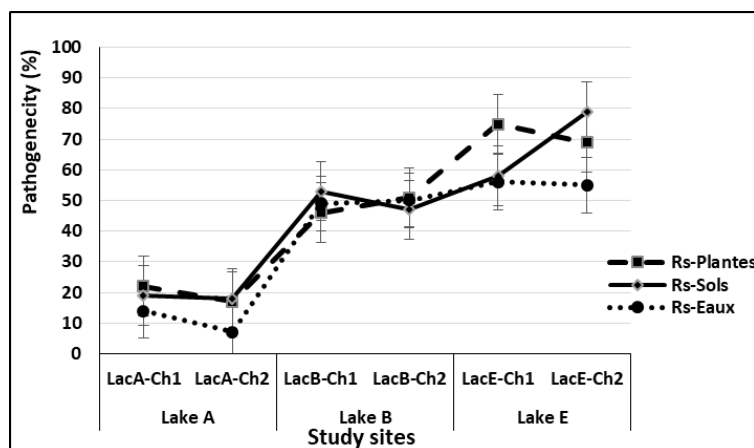


Fig. 6. Level of pathogenicity of groups of *R. solanacearum* isolates at the different study sites

3.6 DISCUSSION

In this research carried out in Yamoussoukro, on market gardening areas near lakes, the results showed a high severity of bacterial wilt, regardless of the site studied. This increase in severity could be explained by the virulence and highly pathogenic nature of *R. solanacearum* strains on solanaceous plants [25]. However, the results of the incidence of bacterial wilt in the fields revealed significant variation from one site to another. Tahir *et al.* [26] stated that the variability in bacterial wilt action could be due to the competitive environment and genetic diversity in tomato (*Solanum lycopersicon*.L). According to Santiago *et al.* [27], the pathogen must cope with the variable soil environment during its saprophytic survival. Zheng *et al.* [28] added that this variation in bacterial incidence could indicate variation in the *R. solanacearum* population, due to the diversity of crops grown. Indeed, sixty-three isolates of *R. solanacearum* were isolated from tomato plants, crop soils and irrigation water collected from the sites identified for the study, and these strains were confirmed as *R. solanacearum* by PCR, and mostly belonged to Race 3 and Biovar 2. The predominance of Race 3 and biovar 2 could be explained by better adaptation to the environment. This result has also been demonstrated among strains collected in Côte d'Ivoire [12] and Burkina Faso [29]. In addition, Race 3 and biovar 2 have been reported to be more competitive than other race and biovar, in fairly tropical environments [30]. To assess genetic diversity and predict the geographical origin of *R. solanacearum*, rep-PCR, generated by the BOX, ERIC and REP primer sets, produced a pattern of highly polymorphic bands, facilitating differentiation into groups and confirming the extreme genetic heterogeneity within *R. solanacearum*. The results showed 97.06% polymorphic bands. This bacterium is well known to survive in diverse ecological conditions, interacting with a milieu of biotic and abiotic factors [29]. This could be the reason for the evolution and maintenance of greater variability in this bacterium [3]. This extreme diversity reflects the presence of several distinct genetic groups [31]. Nevertheless, the phylogenetic analysis carried out on the basis of rep-PCR fingerprint data, with a similarity coefficient of 70%, enabled these strains to be grouped into 3 main groups. Groups 1 and 2, made up solely of strains from Lake E, and group 3, made up of strains from all the sites studied. The bacterial strains isolated from Lake E showed the highest levels of aggressiveness, above 55%. Several previous studies have shown increased pollution in the catchment area of the lakes [7], [8], particularly in Lake E, which is subject to pollution such as agricultural, livestock, hospital and household waste, while the other two lakes (Lake A and Lake B) only have a specific type of pollution [7]. Thus, soil and water properties may play an important role in the genetic differentiation of *R. solanacearum*, as well as other bacterial species [32]. Ecologists and population geneticists have long suspected that the structure of the environment is linked to the maintenance of micro-organism diversity [32], [33]. This could explain the great variability observed in this population of *R. solanacearum* in Yamoussoukro, linked to its territorial nature. For this reason, genetic variation within *R. solanacearum* was determined in order to design effective control strategies for the pathogen. Furthermore, of the 42 tomato cultivars assessed in the greenhouse, three showed no diseased plants. These cultivars could be resistant to the strains of *R. solanacearum* present at the experimental site, and therefore constitute interesting sources for the development of resistant cultivars adapted to the Yamoussoukro region in Côte d'Ivoire.

4 CONCLUSION

The aim of this study was to characterise the diversity and pathogenicity of *R. solanacearum* strains isolated from market garden areas located in the catchment area of the main lake system in the town of Yamoussoukro in Côte d'Ivoire. Water, wilted tomato plants and crop soil from two fields per lake were sampled from three lakes in order to provide an accurate representation of the distribution of strain diversity. The presence of *R. solanacearum* isolates in almost all the sites sampled demonstrated the challenge faced by farmers in Yamoussoukro, as well as the need for locally adapted strategies to combat this disease.

ACKNOWLEDGMENT

We would like to thank LANADA-CI for the microbiological analyses and the CEA-VALOPRO (Centre d'Excellence Africain pour la Valorisation des déchets en Produits à haute valeur ajoutée = African Centre of Excellence for the Valorisation of Waste into High Added Value Products) for the financial assistance provided to carry out molecular analyses.

REFERENCES

- [1] M.-E. Dossoumou, R. Sikirou, A. Zannou, M. Paret, et L. Baba-Moussa, « Bacterial wilt and dissemination factors in tomato production areas of Benin, West Africa », *Arch. Phytopathol. Plant Prot.*, vol. 2023, p. 1-24, déc. 2023. doi: 10.1080/03235408.2023.2291842.
- [2] I. Buddenhagen, L. Sequeira, et A. Kelman, « Designation of races in *Pseudomonas solanacearum* », *Phytopathology*, févr. 1962, Consulté le: 3 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.semanticscholar.org/paper/Designation-of-races-in-Pseudomonas-solanacearum-Buddenhagen-Sequeira/8ca5842bd18e5d44812261c7246e6733004dc38b>.
- [3] L. Y. He, « Characteristics of Strains of *Pseudomonas solanacearum* from China », *Plant Dis.*, vol. 67, n° 12, p. 1357, 1983, doi: 10.1094/PD-67-1357.
- [4] D. Singh *et al.*, « Characterization of biovar/ races of *Ralstonia solanacearum*, the incitant of bacterial wilt in solanaceous crops », p. 261-265, janv. 2010.
- [5] C. F. Higgins, G. F. Ames, W. M. Barnes, J. M. Clement, et M. Hofnung, « A novel intercistronic regulatory element of prokaryotic operons », *Nature*, vol. 298, n° 5876, p. 760-762, août 1982, doi: 10.1038/298760a0.
- [6] G. J. Sharples et R. G. Lloyd, « A novel repeated DNA sequence located in the intergenic regions of bacterial chromosomes », *Nucleic Acids Res.*, vol. 18, n° 22, p. 6503-6508, 1990, doi: 10.1093/nar/18.22.6503.
- [7] T. M. Anoman, D.-R. R. B. Voko, D. Doga, A. N. M. S. Kouadio, K. S. Ahoudjo, et A. Zeze, « Monitoring the influence of anthropogenic pollution on the quality of irrigation water for market gardening in Yamoussoukro, Côte d'Ivoire », 2021, Consulté le: 3 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <http://arccarticles.s3.amazonaws.com/PublishedArticle/Final-attachment-published-A-586-6089603e9087340b9bdcbbb1.pdf>
- [8] A. Sadat, K. D. Akaki, E. B. Z. N'goran, B. Parinet, et J. Frère, « Evaluation of Bacteriological Pollution of Yamoussoukro Lakes (Côte D'Ivoire) », 2011.
- [9] B. F. Tano, K. Abo, A. Dembele, et L. Fondio, « Systèmes de production et pratiques à risque en agriculture urbaine: cas du maraîchage dans la ville de Yamoussoukro en Côte d'Ivoire », *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 5, n° 6, p. 2317-2329, 2011.
- [10] E. M. Farnham, « Exploring the phenotypic and genetic diversity of a bacterial plant pathogen, the *Ralstonia solanacearum* species complex (RSSC) », phd, University of York, 2022. Consulté le: 3 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://etheses.whiterose.ac.uk/32827/>.
- [11] G. F. G. N. Oussou *et al.*, « RESISTANCE ASSESSMENT OF TOMATO (*SOLANUM LYCOPERSICUM* L.) AND GBOMA (*SOLANUM MACROCARPON* L.) CULTIVARS AGAINST BACTERIAL WILT CAUSED BY *RALSTONIA SOLANACEARUM* IN BENIN », *Pak. J. Phytopathol.*, vol. 32, n° 2, Art. n° 2, déc. 2020, doi: 10.33866/phytopathol.030.02.0610.
- [12] C. A. N'Guessan, « Phylogénie, structure génétique et diversité de virulence de *Ralstonia solanacearum* Yabucchi et al. (1995), [Burkholderiacées], agent du flétrissement bactérien en Côte d'Ivoire », thesis, UFHB, 2013. Consulté le: 3 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://agritrop.cirad.fr/572478/>.
- [13] « Côte d'Ivoire/ Les producteurs de maraîchers formés aux bonnes pratiques agricoles à Yamoussoukro - Abidjan.net News ». Consulté le: 3 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://news.abidjan.net/articles/631341/cote-divoire-les-producteurs-de-maraichers-formes-aux-bonnes-pratiques-agricoles-a-yamoussoukro>.
- [14] J. Rodier, B. Legube, et N. Merlet, *L'analyse de l'eau*, DUNOD., vol. 10. in Technique et ingénierie, vol. 10. Paris: DUNOD, 2016. Consulté le: 3 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.dunod.com/sciences-techniques/analyse-eau-eaux-naturelles-eaux-residuaire-eau-mer-0>.
- [15] A. Lebeau *et al.*, « Bacterial Wilt Resistance in Tomato, Pepper, and Eggplant: Genetic Resources Respond to Diverse Strains in the *Ralstonia solanacearum* Species Complex », *Phytopathology*®, vol. 101, n° 1, p. 154-165, janv. 2011, doi: 10.1094/PHYTO-02-10-0048.

- [16] M. Horita et K. Tsuchiya, « Genetic Diversity of Japanese Strains of *Ralstonia solanacearum* », *Phytopathology*, vol. 91, n° 4, p. 399-407, avr. 2001, doi: 10.1094/PHYTO.2001.91.4.399.
- [17] B. A. Wullings, A. R. Van Beuningen, J. D. Janse, et A. D. L. Akkermans, « Detection of *Ralstonia solanacearum*, Which Causes Brown Rot of Potato, by Fluorescent In Situ Hybridization with 23S rRNA-Targeted Probes », *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 64, n° 11, p. 4546-4554, nov. 1998.
- [18] J. G. Elphinstone, J. Hennessy, J. K. Wilson, et D. E. Stead, « Sensitivity of different methods for the detection of *Ralstonia solanacearum* in potato tuber extracts », *EPPO Bull.*, vol. 26, n° 3-4, p. 663-678, sept. 1996, doi: 10.1111/j.1365-2338.1996.tb01511.x.
- [19] S. E. Seal, L. A. Jackson, J. P. W. Young, et M. J. Daniels, « Differentiation of *Pseudomonas solanacearum*, *Pseudomonas syzygii*, *Pseudomonas pickettii* and the Blood Disease Bacterium by partial 16S rRNA sequencing: construction of oligonucleotide primers for sensitive detection by polymerase chain reaction », *Microbiology*, vol. 139, n° 7, p. 1587-1594, 1993, doi: 10.1099/00221287-139-7-1587.
- [20] F. J. Louws, « Differentiation of Genomic Structure by rep-PCR Fingerprinting to Rapidly Classify *Xanthomonas campestris* pv. *vesicatoria* », *Phytopathology*, vol. 85, n° 5, p. 528, 1995, doi: 10.1094/Phyto-85-528.
- [21] J. J. Smith, L. C. Offord, M. Holderness, et G. S. Saddler, « Genetic diversity of *Burkholderia solanacearum* (synonym *Pseudomonas solanacearum*) race 3 in Kenya », *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 61, n° 12, p. 4263-4268, déc. 1995, doi: 10.1128/aem.61.12.4263-4268.1995.
- [22] L. R. Dice, « Measures of the Amount of Ecologic Association Between Species », *Ecology*, vol. 26, n° 3, p. 297-302, 1945, doi: 10.2307/1932409.
- [23] P. H. A. Sneath, « Sneath P H A & Sokal R R. Numerical taxonomy: the principles and practice of numerical classification. San Francisco: Freeman, 1973. 573 p. ».
- [24] A. C. Hayward, « Characteristics of *Pseudomonas solanacearum* », *J. Appl. Bacteriol.*, vol. 27, n° 2, p. 265-277, 1964, doi: 10.1111/j.1365-2672.1964.tb04912.x.
- [25] P. Dey et S. Sen, « Plant Archives A REVIEW ON SOLANACEOUS PLANT DISEASES CAUSED BY RALSTONIA SOLANACEARUM HAVING SERIOUS ECONOMIC IMPACT », *PLANT Arch.*, vol. 23, oct. 2023, doi: 10.51470/PLANTARCHIVES.2023.v23.no2.072.
- [26] M. Nalla, M. Rana, S. Singh, A. Sinha, P. Reddy, et P. Mohapatra, « Assessment of genetic diversity through D 2 analysis in tomato (*Solanum lycopersicon*.L) », vol. 6, p. 2028-9324, août 2014.
- [27] T. R. Santiago, C. A. Lopes, G. Caetano-Anollés, et E. S. G. Mizubuti, « Genetic Structure of *Ralstonia solanacearum* and *Ralstonia pseudosolanacearum* in Brazil », *Plant Dis.*, vol. 104, n° 4, p. 1019-1025, avr. 2020, doi: 10.1094/PDIS-09-19-1929-RE.
- [28] X. Zheng, B. Liu, Y. Zhu, J. Wang, H. Zhang, et Z. Wang, « Bacterial community diversity associated with the severity of bacterial wilt disease in tomato fields in southeast China », *Can. J. Microbiol.*, vol. 65, n° 7, p. 538-549, juill. 2019, doi: 10.1139/cjm-2018-0637.
- [29] O. Traore *et al.*, « Genetic and pathogenic diversity of *Ralstonia solanacearum* species complex strains isolated in Burkina Faso », *J. Phytopathol.*, vol. 171, nov. 2022, doi: 10.1111/jph.13140.
- [30] A. I. Huerta, A. Milling, et C. Allen, « Tropical Strains of *Ralstonia solanacearum* Outcompete Race 3 Biovar 2 Strains at Lowland Tropical Temperatures », *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 81, n° 10, p. 3542-3551, mai 2015, doi: 10.1128/AEM.04123-14.
- [31] H. Desaint, « Identification des bases génétiques de mécanismes de résistance à *Ralstonia solanacearum* et leur caractérisation chez *Arabidopsis thaliana* et la tomate dans un contexte de réchauffement climatique », These de doctorat, Toulouse 3, 2020. Consulté le: 3 septembre 2024. [En ligne]. Disponible sur: <https://theses.fr/2020TOU30199>.
- [32] J. A. Castillo et J. T. Greenberg, « Evolutionary Dynamics of *Ralstonia solanacearum* », *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 73, n° 4, p. 1225-1238, févr. 2007, doi: 10.1128/AEM.01253-06.
- [33] W. Ahmed *et al.*, « *Ralstonia solanacearum* differentially modulates soil physicochemical properties and rhizospheric bacteriome of resistant and susceptible tobacco cultivars », *Microbiol. Res.*, vol. 281, p. 127604, avr. 2024, doi: 10.1016/j.micres.2024.127604.

Actionnaire activiste et gouvernance d'entreprise : Un catalyseur de changement

[Activist shareholder and corporate governance: A catalyst for change]

Mariam GADMI¹, Adil LOULID¹, and Zakaria BENDARKAWI²

¹Laboratoire de Recherche en Performance Economique et Logistique, Faculté des Sciences Juridiques, Economiques et Sociales de Mohammedia, Université Hassan II, Mohammedia, Morocco

²Laboratoire de Recherche SIMIP, Ecole Supérieure en Ingénierie de l'information, Télécommunication, Management et Génie Civil, Casablanca, Morocco

Copyright © 2024 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 activist shareholder is an investor who seeks to exert a significant influence on the strategic and operational decisions of a company in which they hold stakes. The impact of activist shareholders on corporate governance can be both positive and negative. On one hand, they can contribute to improving transparency, accountability, and decision-making within the company. On the other hand, they can also create tensions and conflicts with other stakeholders, such as executives and employees. Our article aims to demonstrate how corporate governance must strike a balance between the interests of activist shareholders and those of other stakeholders, in order to promote effective and sustainable management of the company, as well as the role of activist shareholders in this governance.

KEYWORDS: activist shareholder, investment, corporate governance, firm performance.

RESUME: L'actionnaire activiste est un investisseur qui cherche à exercer une influence significative sur les décisions stratégiques et opérationnelles d'une entreprise dans laquelle il détient des participations. L'impact de l'actionnaire activiste sur la gouvernance d'entreprise peut être à la fois positif et négatif. D'une part, il peut contribuer à améliorer la transparence, la responsabilité et la prise de décision au sein de l'entreprise. D'autre part, il peut également susciter des tensions et des conflits avec d'autres parties prenantes, comme les dirigeants et les employés. Notre article a pour objet de montrer comment la gouvernance d'entreprise doit trouver cet équilibre entre les intérêts des actionnaires activistes et ceux des autres parties prenantes, afin de favoriser une gestion efficace et durable de l'entreprise ainsi que démontrer le rôle de l'actionnaire activiste dans cette gouvernance.

MOTS-CLEFS: actionnaire activiste, investissement, gouvernance d'entreprise, performance d'entreprise.

1 INTRODUCTION

La gouvernance d'entreprise, un domaine en perpétuelle mutation, se trouve au cœur d'interactions complexes entre les actionnaires, les dirigeants et les parties prenantes. Au sein de ce paysage en constante évolution, un protagoniste émerge avec force au cours des dernières décennies: l'actionnaire activiste. Ces investisseurs engagés cherchent à exercer une influence significative sur les décisions stratégiques et opérationnelles des entreprises où ils détiennent des participations (Becht, Bolton, & Röell, 2003). L'émergence des actionnaires activistes a engendré un débat animé, suscitant des questionnements profonds quant à leur impact sur la gouvernance d'entreprise et le fonctionnement des conseils d'administration. Cette dynamique complexe entre les forces traditionnelles et ces nouveaux acteurs soulève des défis

stimulants et des opportunités à explorer, éclairant ainsi les enjeux contemporains de la gouvernance corporative (Bebchuk & Weisbach, 2007).

L'analyse approfondie de l'actionnaire activiste et de son rôle dans la gouvernance d'entreprise est essentielle pour les dirigeants, les investisseurs et les parties prenantes, car elle offre une compréhension claire des défis et des opportunités associés à cette dynamique changeante. En identifiant les facteurs clés de succès et en proposant des recommandations pratiques, cet article vise à contribuer à un débat constructif sur la manière de promouvoir une gouvernance d'entreprise équilibrée, transparente et axée sur la création de valeur à long terme (Bebchuk & Weisbach, 2007; Becht, Bolton, & Röell, 2003).

Face à cette émergence de l'actionnaire activiste, notre problématique de recherche se pose comme suit: **Quel est le rôle de l'actionnaire activiste dans la gouvernance d'entreprise et quels sont ses impacts sur les décisions stratégiques, la gouvernance et la création de valeur pour les actionnaires et les parties prenantes ?**

Cette problématique soulève plusieurs questions clés qui nécessitent une analyse approfondie, à savoir:

1. Qu'est-ce qui motive les actionnaires activistes à s'engager dans l'activisme actionnarial ? Quels sont leurs objectifs et leurs intérêts sous-jacents ?
2. Quels sont les outils et les stratégies utilisés par les actionnaires activistes pour influencer les entreprises ? Comment ces outils et stratégies ont-ils évolué au fil du temps ?
3. Quels sont les impacts de l'actionnaire activiste sur la gouvernance d'entreprise ? Dans quelle mesure parviennent-ils à influencer les décisions stratégiques, les politiques de gouvernance et la création de valeur pour les actionnaires et les parties prenantes ?
4. Quels sont les défis et les critiques associés à l'actionnariat activiste ? Comment peuvent-ils être atténués pour garantir un équilibre entre les intérêts des actionnaires activistes et ceux de l'entreprise à long terme ?

Cette revue de littérature a pour objectif d'explorer en détail le rôle de l'actionnaire activiste dans le domaine de la gouvernance d'entreprise et d'analyser son impact significatif sur les pratiques de gestion. En effet, ce sujet est d'une grande importance et fait l'objet d'un intérêt grandissant, aussi bien dans la communauté académique que dans le domaine professionnel. Dans cette revue de littérature, nous examinons donc les différentes approches adoptées par les actionnaires activistes pour influencer les décisions de gestion. Nous analysons également les conséquences de cette influence sur les pratiques de gestion, en mettant en évidence les avantages et les défis auxquels les entreprises peuvent être confrontées.

En outre, nous examinons les mécanismes de gouvernance qui peuvent être mis en place pour atténuer les éventuels conflits entre les actionnaires activistes et les responsables de l'entreprise. Nous étudions également les bonnes pratiques de gestion qui permettent aux organisations de tirer parti des avantages potentiels de la présence d'actionnaires activistes tout en assurant une gouvernance solide et équilibrée. Cette revue de littérature se base sur une analyse approfondie d'une multitude d'études empiriques, d'articles académiques et de rapports professionnels. Elle vise à fournir une vision complète des enjeux et des opportunités liés à l'actionnariat activiste dans le contexte de la gouvernance d'entreprise.

Par ailleurs, l'émergence de l'actionnariat activiste a remis en question les modèles traditionnels de gouvernance d'entreprise. Cette étude vise à contextualiser ce phénomène dans le paysage actuel des affaires, en mettant en lumière les facteurs qui ont conduit à l'essor de l'activisme actionnarial ainsi que les enjeux associés à cette pratique. L'actionnariat activiste, également connu sous le nom d'activisme des actionnaires, est un phénomène de plus en plus prévalent dans le monde des affaires.

2 OBJECTIFS DE LA REVUE DE LITTÉRATURE

Les objectifs primordiaux de cette étude exhaustive de la littérature académique sont de synthétiser de manière approfondie les connaissances actuelles sur l'actionnariat activiste, de mettre en évidence de manière éclairée les tendances actuelles et les perspectives émergentes qui façonnent ce domaine, d'analyser en détail et de manière minutieuse les différentes stratégies employées par les actionnaires activistes au sein des entreprises, et enfin d'identifier de façon rigoureuse les lacunes persistantes dans la recherche existante. Ce faisant, nous aspirons également à fournir des orientations pragmatiques et des recommandations concrètes pour les futures études se penchant sur ce domaine d'étude spécifique, de sorte à approfondir considérablement notre compréhension et notre analyse de l'impact omniprésent de l'actionnariat activiste sur les entreprises individuelles et sur le marché financier dans son ensemble.

S'inscrivant fermement dans cette optique, cette revue de littérature vise à contribuer significativement à l'amélioration tangible des pratiques de gouvernance d'entreprise en offrant des perspectives nouvelles, des idées perturbatrices et des informations émergentes sur ce phénomène en perpétuelle mutation et sujet à une évolution constante.

3 MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

La méthodologie de cette revue de littérature repose sur une analyse systématique approfondie des articles académiques, des rapports d'entreprises, des études empiriques pertinentes ainsi que des données de marché spécifiques. Cette approche rigoureuse et précise permettra d'apporter une perspective complète et détaillée sur l'actionnariat activiste et son influence significative sur la gouvernance d'entreprise à la fois au niveau national et international. L'analyse de ces ressources diversifiées et fiables permettra d'identifier les tendances clés, les défis potentiels et les bonnes pratiques en matière d'actionnariat activiste.

Il convient également de souligner que, tout au long de cette étude, une attention particulière sera portée aux différentes perspectives des parties prenantes, y compris les actionnaires, les dirigeants d'entreprises, les investisseurs institutionnels et les régulateurs. Grâce à cette méthodologie rigoureuse et complète, cette revue de littérature contribuera à la compréhension générale et à l'enrichissement du domaine de l'actionnariat activiste et de la gouvernance d'entreprise.

4 CONCEPTS CLÉS EN GOUVERNANCE D'ENTREPRISE

La gouvernance d'entreprise englobe l'ensemble des mécanismes et processus utilisés pour diriger et contrôler une entreprise (Jensen & Meckling, 1976). Cela inclut la répartition des droits de décision et de contrôle entre les actionnaires, le conseil d'administration, les comités spécialisés et la direction. Les principaux objectifs de la gouvernance d'entreprise sont d'assurer la transparence, la responsabilité et l'équité dans la prise de décision, ainsi que de promouvoir la confiance des investisseurs.

Ces principes sont généralement définis en fonction des intérêts des parties prenantes de l'entreprise, tels que les actionnaires, les dirigeants, les employés, les fournisseurs, les clients, les créanciers et la société dans son ensemble (Freeman, 1984). La gouvernance d'entreprise repose sur une série de règles, de normes et de bonnes pratiques. Elle implique la mise en place de mécanismes de contrôle interne et de gestion des risques, ainsi que le respect de la législation et des réglementations en vigueur.

Le conseil d'administration joue un rôle clé dans la gouvernance d'entreprise en supervisant les activités de l'entreprise, en prenant des décisions stratégiques et en veillant à ce que les intérêts de toutes les parties prenantes soient pris en compte (Jensen & Meckling, 1976). La transparence est un aspect essentiel de la gouvernance d'entreprise. Cela signifie que les informations concernant l'entreprise, sa situation financière, ses activités et ses performances doivent être régulièrement communiquées au public, aux actionnaires et aux autres parties prenantes.

Une communication claire et accessible permet d'établir un climat de confiance et de favoriser une participation active des parties prenantes à la vie de l'entreprise. La responsabilité fait également partie intégrante de la gouvernance d'entreprise. Les dirigeants et les administrateurs doivent rendre compte de leurs actions et de leurs décisions aux actionnaires et aux autres parties prenantes (Jensen & Meckling, 1976). Les mécanismes de responsabilité comprennent la mise en place de comités indépendants, tels que le comité d'audit et le comité de rémunération, qui scrutent les activités de l'entreprise et veillent à ce qu'elles se déroulent dans l'intérêt de toutes les parties prenantes. L'équité est un autre principe fondamental de la gouvernance d'entreprise.

Cela implique de traiter toutes les parties prenantes de manière équitable et de prendre en compte leurs intérêts légitimes. L'égalité des chances et la non-discrimination sont des valeurs essentielles dans la gouvernance d'entreprise, notamment en ce qui concerne la sélection des administrateurs, la rémunération des dirigeants et l'accès à l'information. En résumé, la gouvernance d'entreprise vise à établir un cadre de décision et de contrôle efficace, transparent et équitable au sein de l'entreprise. Elle contribue à la création de valeur à long terme pour les actionnaires et les autres parties prenantes, tout en tenant compte des intérêts plus larges de la société. Une gouvernance d'entreprise solide favorise la confiance des investisseurs, renforce la stabilité financière et soutient la croissance économique durable. (ZAOUIA & HAMEL, 2023) (Amalou & Djounadi, 2023) (Zineb & KASBAOUI, 2022) (Boubakary, 2022) (Asseholi, 2023) (Saoussany and Kidaye2023)

4.1 DÉFINITIONS ET CADRE THÉORIQUE

Les définitions de la gouvernance d'entreprise varient en fonction des cadres théoriques adoptés. Cependant, elles mettent généralement l'accent sur la répartition des droits de contrôle et de décision. Les cadres théoriques comme l'agence (Jensen & Meckling, 1976), les coûts de transaction (Coase, 1937) et les droits de propriété (Alchian & Demsetz, 1972) offrent des perspectives différentes sur la gouvernance d'entreprise. Ces cadres aident à comprendre les défis auxquels les entreprises

sont confrontées dans la gestion des relations entre les actionnaires et les dirigeants, ainsi que dans la répartition des bénéfices et des responsabilités.

La gouvernance d'entreprise est une discipline complexe et en constante évolution. Elle englobe un large éventail de pratiques et de mécanismes conçus pour assurer la transparence, la responsabilité, l'efficacité et la durabilité des entreprises. En plus de la répartition des droits de contrôle et de décision, la gouvernance d'entreprise inclut également la mise en place de structures de gouvernance solides, la gestion des risques, la protection des droits des actionnaires minoritaires et la promotion de l'éthique des affaires.

Dans le cadre de l'approche basée sur l'agence, la gouvernance d'entreprise vise à résoudre les conflits d'intérêts entre les actionnaires et les dirigeants. Les actionnaires sont les propriétaires légaux de l'entreprise et cherchent à maximiser leur richesse, tandis que les dirigeants sont chargés de gérer l'entreprise de manière efficace et de prendre des décisions qui favorisent la croissance et la rentabilité à long terme. Les mécanismes de gouvernance d'entreprise, tels que les conseils d'administration indépendants, les comités de vérification et les incitations financières, sont des outils clés pour aligner les intérêts des actionnaires avec ceux des dirigeants (Shleifer & Vishny, 1997).

Les coûts de transaction sont un autre aspect important de la gouvernance d'entreprise. Ils se réfèrent aux coûts associés à la négociation, à la coordination et à la surveillance des relations entre les parties prenantes internes et externes de l'entreprise. Les mécanismes de gouvernance, tels que les contrats, les normes comptables et les réglementations, sont mis en place pour réduire ces coûts et faciliter les échanges économiques (Williamson, 1975). Les droits de propriété sont également au cœur de la gouvernance d'entreprise. Ils déterminent qui a le droit de contrôler et de bénéficier des actifs et des revenus de l'entreprise.

Dans de nombreuses sociétés par actions, les actionnaires détiennent les droits de propriété, mais ils les délèguent en grande partie aux dirigeants. La gouvernance d'entreprise vise à établir des arrangements clairs et équitables concernant la répartition des droits de propriété, les obligations des dirigeants envers les actionnaires et les mécanismes de reddition de comptes. (BOUMESKA and ALLOULI 2024) (DEBBAGH and LAHLIMI2021) (Bartiche and Erraoui 2021)

4.2 RÔLES ET RESPONSABILITÉS DES ACTIONNAIRES

Les actionnaires d'une entreprise ont plusieurs rôles et responsabilités au sein de celle-ci. En tant que détenteurs de parts sociales, ils exercent un pouvoir décisionnel essentiel concernant des aspects cruciaux pour le fonctionnement de l'entreprise. Parmi ces responsabilités figurent l'élection du conseil d'administration, l'approbation des politiques clés et la prise de décisions importantes pour l'avenir de la société. En plus de leur rôle décisionnel, les actionnaires ont un droit fondamental: celui de recevoir des informations financières et opérationnelles transparentes de la part de la direction. Cela leur permet de suivre de près les performances de l'entreprise, d'anticiper les éventuels risques et de contribuer activement à son développement.

Les actionnaires ont également un devoir de vigilance envers l'entreprise. Ils doivent assurer une surveillance constante de sa performance et s'assurer que les intérêts des actionnaires sont pris en compte dans toutes les décisions prises par la direction. Ils peuvent ainsi interpellier la direction si jamais ils estiment que leurs droits ont été négligés ou que des décisions contraires à leurs intérêts ont été prises. (Mapangou, 2023) (Asseholi, 2023) (Mbama & Éloumou, 2024) (MOUSTATRAF and TOUHAMI2024)

5 HISTORIQUE DE L'ACTIVISME ACTIONNARIAL

La recherche de l'activisme actionnarial remonte au début du 20e siècle, lorsque des investisseurs ont commencé à exercer une influence significative sur les entreprises dans lesquelles ils détenaient des actions. Il est important de noter que l'activisme actionnarial a considérablement évolué au fil du temps, passant d'une pratique marginale à un élément clé de la gouvernance d'entreprise moderne. Cette évolution a été alimentée par des changements majeurs dans l'environnement économique, réglementaire et technologique, ainsi que par l'évolution des attentes des actionnaires et des autres parties prenantes de l'entreprise (Becht, Bolton, et Röell, 2003).

L'activisme actionnarial a connu une croissance exponentielle au cours des dernières décennies (Becht, Bolton, et Röell, 2003). Les investisseurs, conscients de leur pouvoir en tant qu'actionnaires, sont devenus de plus en plus actifs dans la défense de leurs intérêts. Ils ont réalisé l'importance de prendre des mesures pour promouvoir la transparence, la responsabilité et la durabilité des entreprises dans lesquelles ils investissent.

En plus de leur rôle traditionnel dans la prise de décisions stratégiques de l'entreprise, les actionnaires actifs sont devenus des défenseurs de la responsabilité sociale des entreprises. Ils ont commencé à plaider en faveur de pratiques commerciales éthiques, de la protection de l'environnement et des droits des travailleurs. Cela a conduit à une pression accrue sur les entreprises pour qu'elles tiennent compte de ces préoccupations et y répondent de manière appropriée.

Parallèlement à l'évolution des attentes des actionnaires, il y a eu des développements politiques et réglementaires qui ont également stimulé l'activisme actionnarial. Les gouvernements et les organismes de réglementation ont reconnu l'importance de l'engagement des actionnaires dans la gouvernance d'entreprise et ont adopté des lois et des règlements favorables à cette pratique. Cela a renforcé le pouvoir des actionnaires individuels et des fonds d'investissement institutionnels pour promouvoir des changements positifs au sein des entreprises. En outre, la révolution technologique a également joué un rôle clé dans l'évolution de l'activisme actionnarial.

Les plateformes en ligne ont facilité la communication entre les actionnaires et ont permis une plus grande diffusion des informations. Cela a permis aux investisseurs de mieux comprendre les pratiques des entreprises et de prendre des décisions éclairées concernant leurs investissements. Les médias sociaux et les blogs ont également offert une tribune aux actionnaires pour exprimer leurs opinions et mobiliser le soutien en faveur de leurs causes. Dans l'ensemble, l'activisme actionnarial est devenu un outil puissant pour promouvoir des changements positifs dans les entreprises. Les investisseurs ont réalisé qu'ils peuvent avoir un impact réel sur les pratiques commerciales et la gouvernance des entreprises dans lesquelles ils investissent.

Cependant, il est important de trouver un équilibre entre l'activisme actionnarial et la stabilité des entreprises, afin de garantir leur croissance et leur réussite à long terme. Les interactions et les négociations constructives entre les actionnaires et les entreprises sont essentielles pour parvenir à un meilleur alignement d'intérêts et pour s'assurer que les décisions prises sont dans l'intérêt de toutes les parties prenantes. (Miloud & Cabrol, 2023) (Loher-Delalune, 2023) (Ecole Doctorale & LOHER-DELALUNE).

5.1 EVOLUTION DE L'ACTIVISME ACTIONNARIAL

L'évolution de l'activisme actionnarial peut être divisée en plusieurs phases clés. Tout d'abord, il y a eu l'activisme traditionnel, axé uniquement sur la maximisation des rendements financiers. Cependant, avec le temps, les préoccupations sociales et environnementales ont commencé à jouer un rôle de plus en plus important dans l'activisme actionnarial. Ainsi, une nouvelle phase a émergé, axée sur des préoccupations sociales et environnementales. Les actionnaires ont commencé à prendre conscience de l'importance de l'impact social et environnemental des entreprises dans lesquelles ils investissent. Ils ont commencé à utiliser leurs droits de vote et leur influence pour encourager les entreprises à adopter des pratiques plus durables et responsables.

Plus récemment, nous avons vu l'émergence d'une nouvelle forme d'activisme actionnarial axée sur la gouvernance d'entreprise. Les actionnaires se sont rendu compte que la transparence, la responsabilité et la performance à long terme sont des éléments essentiels pour assurer la durabilité des entreprises. Ils ont commencé à pousser les conseils d'administration à adopter des politiques de gouvernance plus solides, visant à garantir une prise de décision éthique et responsable.

Cette évolution dans l'activisme actionnarial reflète les changements dans la mentalité des actionnaires. Ils sont de plus en plus conscients de leur pouvoir en tant qu'actionnaires et de leur capacité à influencer les entreprises. De plus en plus, les actionnaires considèrent la durabilité et la responsabilité sociale des entreprises comme des critères essentiels pour leurs investissements (Loher-Delalune, 2023) (Tchotourian, 2020).

En conclusion, l'évolution de l'activisme actionnarial a été marquée par différentes phases clés, passant de l'activisme axé sur la maximisation des rendements financiers à l'activisme axé sur les préoccupations sociales et environnementales, puis à l'activisme axé sur la gouvernance d'entreprise. Les actionnaires jouent un rôle de plus en plus actif dans la promotion de la durabilité et de la responsabilité sociale des entreprises, et cela ne fait que renforcer l'importance de leur influence dans le monde des affaires.

5.2 CAS HISTORIQUES D'ACTIVISME

Un cas historique extrêmement important d'activisme actionnarial est celui de Carl Icahn, un investisseur légendaire, et sa mémorable tentative de prise de contrôle hostile de la compagnie TWA en 1985. Cette audacieuse tentative a irrémédiablement marqué les annales de la pratique de l'activisme actionnarial, soulevant des questions importantes quant à la capacité des actionnaires à influencer directement les stratégies et les opérations d'une entreprise.

De plus, l'influence de ce cas pionnier a éveillé une conscience nouvelle chez les investisseurs du monde entier, démontrant les possibilités infinies qu'offrent l'activisme actionnarial lorsqu'il est mené avec brio. Il convient également de mentionner d'autres cas notables qui ont eu un impact déterminant sur la gouvernance d'entreprise. Parmi ceux-ci figure l'activisme hors pair de Nelson Peltz chez Procter & Gamble, une des plus grandes entreprises mondiales. Sa campagne pressante et inspirée a ouvert la voie à une ère nouvelle où les actionnaires influents pouvaient exercer une réelle influence sur les décisions clés de l'entreprise.

La campagne de Peltz a illustré de façon éclatante l'énorme pouvoir qu'un actionnaire activiste peut exercer et a inspiré une vague de changements dans la gouvernance d'entreprise moderne. Enfin, on ne peut pas ignorer l'impact retentissant de l'initiative activiste de Bill Ackman chez Herbalife, l'un des cas les plus médiatisés de l'histoire récente de l'activisme actionnarial.

Ackman, un investisseur audacieux et respecté, a engagé une bataille acharnée pour exposer les pratiques supposées frauduleuses de cette entreprise de marketing multiniveau. Cette croisade sans précédent a secoué l'industrie dans son ensemble, attirant l'attention du public sur la responsabilité des entreprises envers leurs actionnaires et leurs clients.

En somme, ces cas légendaires ont révélé l'étendue de l'impact qu'un actionnaire activiste peut avoir sur une entreprise. Leur influence indéniable a contribué à façonner l'évolution de la gouvernance d'entreprise moderne et continue de servir de source d'inspiration pour les investisseurs engagés dans la recherche d'un changement positif. L'activisme actionnarial est devenu une force puissante et incontournable dans le monde des affaires, et ces cas emblématiques resteront à jamais gravés dans les mémoires, inspirant les générations futures à agir avec courage et détermination pour défendre leurs intérêts en tant qu'actionnaires.

6 IMPACT DE L'ACTIVISME SUR LA GOUVERNANCE D'ENTREPRISE

L'activisme actionnarial peut avoir un impact significatif sur la gouvernance d'entreprise en provoquant des changements importants dans la manière dont les entreprises fonctionnent. Grâce à son influence, il est en mesure de conduire à une meilleure responsabilité et à une plus grande transparence en amenant les entreprises à rendre compte de leurs décisions et de leurs performances de manière plus ouverte et compréhensible pour les actionnaires, les parties prenantes et l'ensemble de la communauté de l'entreprise.

En effet, lorsqu'il est bien exécuté, l'activisme actionnarial peut entraîner des transformations significatives qui favorisent la confiance et la coopération entre les différentes parties prenantes, ce qui renforce la stabilité financière et favorise la durabilité à long terme dans le paysage des entreprises. Cela peut se traduire par une reddition de comptes accrue, une meilleure communication et une prise de décision plus éclairée, créant ainsi les conditions nécessaires à une gouvernance d'entreprise plus solide et à des pratiques commerciales responsables.

De plus, l'activisme actionnarial peut également encourager les entreprises à adopter des politiques et des pratiques plus durables sur le plan environnemental, social et de gouvernance (ESG), ce qui peut avoir un impact positif sur l'ensemble de la société. En somme, l'activisme actionnarial joue un rôle fondamental dans la promotion d'une gouvernance d'entreprise plus responsable, transparente et durable, contribuant ainsi à l'émergence d'un modèle économique plus éthique et équilibré.

6.1 AMELIORATION DE LA TRANSPARENCE ET DE LA RESPONSABILITE

L'activisme actionnarial a été extrêmement bénéfique pour les entreprises en termes de transparence et de responsabilité. En demandant de manière proactive des changements significatifs et en exerçant une pression constante sur les conseils d'administration, les actionnaires activistes parviennent à créer une atmosphère extrêmement propice où les entreprises sont vivement encouragées à améliorer leur communication et à assumer pleinement la responsabilité de leurs décisions.

Cette approche novatrice a engendré des résultats positifs indéniables, tels que des rapports financiers incroyablement détaillés et transparents, permettant ainsi à tous les acteurs de mieux comprendre et apprécier la performance de l'entreprise. De plus, cette méthodologie a également conduit à une communication encore plus ouverte, franche et directe avec les actionnaires ainsi qu'avec le public en général. Grâce à l'engagement sans faille des actionnaires activistes, une relation de confiance solide a pu être établie entre l'entreprise et ses différentes parties prenantes, ce qui a favorisé une gouvernance exemplaire ainsi que des pratiques irréprochables sur le plan éthique.

Cette dynamique positive et durable a considérablement renforcé l'intégrité et la réputation des entreprises concernées, tout en renforçant la confiance des investisseurs et du grand public dans leur fonctionnement.

6.2 CHANGEMENTS DANS LA STRUCTURE DU CONSEIL D'ADMINISTRATION

L'activisme actionnarial a également été associé à des changements significatifs dans la structure du conseil d'administration. Les activistes peuvent chercher à apporter des modifications substantielles à la composition du conseil d'administration en proposant de nouveaux membres hautement qualifiés ou en remplaçant des membres existants par des individus plus compétents. L'objectif de ces changements est d'introduire de nouvelles perspectives, compétences et expériences diverses au sein du conseil d'administration afin d'améliorer la prise de décision stratégique et de renforcer la supervision de la haute direction de l'entreprise.

Ces modifications peuvent également viser à promouvoir une structure de gouvernance plus transparente, équilibrée et responsable, tout en garantissant l'alignement des intérêts des actionnaires avec ceux de l'entreprise. En encourageant la diversité et l'inclusion au sein du conseil d'administration, l'activisme actionnarial peut contribuer à favoriser une culture d'innovation, d'efficacité et de responsabilité au sein de l'entreprise, ce qui peut se traduire par une création de valeur durable et une performance supérieure pour toutes les parties prenantes concernées.

7 DEBATS ET CONTROVERSES AUTOUR DE L'ACTIVISME ACTIONNARIAL

Le débat animé et mouvementé autour de l'activisme actionnarial suscite d'innombrables controverses et questionnements quant à son puissant impact sur la gouvernance d'entreprise. Certaines voix éminentes et éclairées soulèvent des inquiétudes légitimes concernant la volatilité du marché et la pression dévorante à court terme exercée impitoyablement sur les entreprises ciblées, tout en menaçant leur stabilité financière. D'un autre côté, d'autres acteurs majeurs remettent en question de manière véhémente et tranchante la légitimité du pouvoir excessif détenu par les actionnaires activistes, tout en remettant en cause leur capacité réelle à représenter fidèlement les intérêts à long terme précieux et immuables de l'entreprise elle-même.

Il est indéniable que ces débats enflammés et incisifs jouent un rôle essentiel pour évaluer avec une acuité sans pareille les conséquences profondes et durables de l'activisme actionnarial sur la stabilité financière, ainsi que sur la viabilité même des entreprises dans un horizon temporel prolongé. De fait, il est primordial d'approfondir sans relâche ces discussions passionnantes et nuancées, afin de préserver la stabilité, la durabilité et la prospérité futures des entreprises.

Les critiques de l'activisme actionnarial mettent en lumière ses limites et ses effets indésirables. L'accent mis sur la rentabilité à court terme au détriment de la stratégie à long terme est souvent critiqué par les experts en finance et en gestion d'entreprise. Ils soulignent que cette approche peut entraîner des conséquences néfastes telles que la négligence des investissements à long terme et le manque de vision à long terme. De plus, l'ingérence excessive dans la gestion opérationnelle de l'entreprise est pointée du doigt par de nombreux observateurs.

Cette ingérence peut déséquilibrer le pouvoir de décision au sein du conseil d'administration, ce qui peut avoir des répercussions négatives sur les processus de prise de décision. Certains experts affirment que cette interférence peut conduire à des choix impulsifs et à une perte de crédibilité de l'entreprise. Ces critiques soulignent la nécessité de trouver un équilibre entre l'activisme actionnarial et la stabilité de l'entreprise. Il est essentiel de reconnaître que l'activisme peut avoir des effets positifs, comme la création de valeur pour les actionnaires à court terme. Cependant, il est important de veiller à ce que ces avantages ne compromettent pas la pérennité et la stabilité à long terme de l'entreprise.

Face à l'activisme actionnarial, les entreprises ont adopté diverses stratégies afin de répondre efficacement à ces pressions extérieures et garantir leur pérennité. Pour cela, elles ont pris des mesures novatrices et adaptatives. Certaines d'entre elles ont fait le choix judicieux de privilégier et favoriser le dialogue constructif avec les actionnaires activistes, dans le but de parvenir à des terrains d'entente et d'établir des relations harmonieuses. Ainsi, elles ont pu atteindre une meilleure compréhension mutuelle et une coopération fructueuse.

En parallèle, d'autres entreprises ont opté pour des actions plus défensives en renforçant leurs mesures de protection contre les prises de contrôle hostiles. Ces mesures ont permis de préserver leur indépendance et leur autonomie face à d'éventuelles tentatives d'intrusions nuisibles. Grâce à cette approche préventive, ces entreprises ont su prévenir les risques potentiels et se prémunir efficacement contre toute tentative de déstabilisation. Il est également important de souligner que les entreprises ont reconnu l'importance de la mise en place de politiques de rémunération équilibrées, alignées sur la performance à long terme.

Cette approche favorise une rémunération juste et équitable pour les dirigeants et actionnaires, tout en incitant à la réalisation de résultats durables et profitables. De plus, l'amélioration de la communication avec les actionnaires, en favorisant la transparence et l'ouverture, est une réponse fréquemment observée. Cette démarche permet de renforcer la confiance et

de maintenir un dialogue fluide entre l'entreprise et ses parties prenantes. Dans l'ensemble, ces différentes réponses témoignent de la volonté des entreprises de s'adapter en permanence aux dynamiques de l'activisme actionnarial.

Grâce à leur capacité d'ajustement, elles réussissent à naviguer avec agilité dans un environnement complexe et changeant, assurant ainsi leur pérennité et leur développement à long terme. En somme, la capacité à anticiper, à innover et à trouver un équilibre entre la protection et l'ouverture est primordiale pour relever les défis posés par l'activisme actionnarial.

8 CONCLUSION ET PERSPECTIVES FUTURES

En conclusion, cette revue de littérature a permis de mettre en lumière l'importance croissante de l'activisme actionnarial dans la gouvernance d'entreprise. L'activisme actionnarial a été identifié comme un catalyseur de changement, incitant les entreprises à améliorer leur transparence et leur responsabilité. De plus, les études empiriques ont mis en évidence les avantages potentiels de l'activisme, tout en soulignant les défis et les limites de cette pratique. Pour l'avenir, il est primordial de poursuivre la recherche sur l'activisme actionnarial pour mieux comprendre son impact sur la gouvernance d'entreprise et identifier les meilleures pratiques pour les entreprises et les actionnaires.

La revue de littérature a permis de synthétiser les principaux résultats relatifs à l'activisme actionnarial et à son impact sur la gouvernance d'entreprise. En premier lieu, l'activisme actionnarial a été identifié comme un moteur de changement, incitant les entreprises à améliorer leur transparence et leur responsabilité. De plus, les études empiriques ont mis en évidence les bénéfices potentiels de l'activisme, bien que certaines limites et critiques aient également été soulevées. Ces résultats soulignent l'importance de poursuivre la recherche sur l'activisme actionnarial pour mieux comprendre ses implications.

Les implications de cette revue de littérature sont multiples pour la pratique et la recherche en gouvernance d'entreprise. D'une part, les entreprises doivent prendre en considération l'impact de l'activisme actionnarial sur leur gouvernance, et envisager des mesures pour améliorer leur transparence et leur responsabilité. D'autre part, les chercheurs sont encouragés à poursuivre l'étude de l'activisme actionnarial et à développer des cadres théoriques pour mieux comprendre ses implications. En fin de compte, cette revue de littérature met en évidence l'importance de l'activisme actionnarial comme vecteur de changement dans la gouvernance d'entreprise.

REFERENCES

- [1] ALBOUY M. (2003) « Décisions financières et Création de valeur », 2ème édition Economica.
- [2] Alchian, A. A., & Demsetz, H. (1972). Production, information costs, and economic organization. *American Economic Review*, 62 (5), 777-795.
- [3] Bebchuk, L. A., & Weisbach, M. S. (2007). The financial crisis and the failure of corporate governance reform. *University of Chicago Law Review*, 74 (3), 783-843.
- [4] Becht, M., Bolton, P., & Röell, A. (2003). The impact of activist investors on company performance. *The Journal of Finance*, 58 (6), 2111-2150.
- [5] BODIE Z., MERTON R. (2002), « Finance », Pearson Education.
- [6] BOGLIOLO F. (2001) « Créer de la valeur... C'est plus facile que vous ne croyez 1=2 », Organisation BREALEY R. et MYERS S. (2006) « Principes de gestion financière », 7ème édition Pearson Education.
- [7] CABY J., HIRIGOYEN G. (2001) « La création de valeur de l'entreprise », 2e édition Economica.
- [8] CHAKRAVARTHY B.S. (1986) « Measuring Strategic Performance », *Strategic management Journal*, Volume 7 CHARREAUX G. (1997) « Le gouvernement des entreprises », Economica.
- [9] CHARREAUX G. (2004) « Les théories de la gouvernance: de la gouvernance des entreprises à la gouvernance des systèmes nationaux » Université de Bourgogne.
- [10] Coase, R. H. (1937). The nature of the firm. *Economica*, 4 (16), 386-405.
- [11] Didier Van Caillie et Pierre-Yves Gomez, « Actionnaires Activistes en Europe: Stratégies et Pratiques ».
- [12] Enrique Schroth, Rui Albuquerque, Vyacheslav Fos « L'activisme actionnarial, un levier de création de valeur pour les entreprises » dans *The conversation Academic rigour, journalistic flair*, Publié en Juin 4, 2023.
- [13] Freeman, R. E. (1984). *Strategic management: A stakeholder approach*. Pitman Publishing.
- [14] FARGO - Centre de recherche en Finance, Architecture et Gouvernance des Organisations Cahier du FARGO, Janvier CHARREAUX G. (1997), « Le gouvernement des entreprises: théories et faits », Economica.
- [15] GUERY-STEVENOT A. (2006) « Conflits entre investisseurs et dirigeants, une analyse en terme de gouvernance cognitive », *Revue française de gestion*, n° 164, Mai.
- [16] HALL B., LIEBMAN J. (1998), « Are CEOs Really Paid like Bureaucrats? », *Quarterly Journal of Economics* 103.

- [17] HOARAU C. (2000), « Modèles d'évaluation stratégique et facteurs explicatifs de la création de valeur pour l'actionnaire », Paris.
- [18] Isabelle Cadet, Gouvernance: nouveaux mythes, nouvelles réalités Dans *Vie & sciences de l'entreprise* 2014/2 (N° 198), pages 17 à 28.
- [19] JENSEN M. et MECKLING W. (1976), « Theory of the firm: managerial behavior, agency cost, and ownership structure », *Journal of Financial Economic*.
- [20] Jensen, M. C., & Meckling, W. H. (1976). Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of Financial Economics*, 3 (4), 305-360.
- [21] Jean-Philippe Denis et Hugues Pirotte, «Les Fondamentaux de la Gouvernance d'Entreprise».
- [22] Jules Roger FEUDJO, Georges Kriyoss MFOUAPON, « La gouvernance stratégique: vers une nouvelle vision de l'organisation du pouvoir au sein des champions nationaux » dans revue *Scientific society*, Page 171.
- [23] Karen Moris, «Le rôle de la gouvernance d'entreprise dans les stratégies de diversification des entreprises: revues de la littérature et perspectives», *Finance Contrôle Stratégie* [Online], 17-4 | 2014, Online since 31 December 2014.
- [24] KOENIG G. (1993), « Les Théories de la firme », *Economica* MAATI Jérôme, 1999 « Le gouvernement d'entreprise », De Boeck Université.
- [25] Marc Lassagne et Corinne Verdier, «Gouvernance d'Entreprise et Activisme Actionnarial».
- [26] Michel M. Albouy, Clément Decante, Aurélien Mauro and Pauline Studer, «L'impact des actionnaires activistes sur les performances à court, moyen et long terme des entreprises européennes», *Finance Contrôle Stratégie* [Online], 20-1 | 2017, Online since 20 April 2017.
- [27] MOTTIS, N. et J.-P. PONSSARD (2000), « Création de valeur et rémunération des dirigeants: enjeux et pratiques », *Annales des Mines- Gérer et comprendre*.
- [28] Mourad Attarça, Hervé Chomienne, Les politiques publiques sous l'influence des entreprises, Un regard « gestionnaire » Dans *Revue française de gestion* 2014/8 (N° 245), pages 101 à 130.
- [29] Philippe Desbrières et Luc Renneboog, «Gouvernance d'Entreprise et Investissement Socialement Responsable».
- [30] PLIHON D. (2001), « Quel scénario pour la gouvernance d'entreprise ? Une hypothèse de double convergence », *Revue d'économie financière*, n° 63.
- [31] POULAIN-REHM T. (2003), « Stock-options, décisions financières des dirigeants et création de valeur de l'entreprise: le cas français » université Montesquieu Bordeaux.
- [32] REBERIOUX A. (2003), « Gouvernance d'entreprise et théorie de la firme », *Revue d'économie industrielle*, n° 104
- [33] REROLLE, J-F. (1998) « Financement de l'entreprise et création de valeur », *L'art de la finance*.
- [33] Shleifer, A., & Vishny, R. W. (1997). A survey of corporate governance. *Journal of Finance*, 52 (2), 737-783.
- [34] Williamson, O. E. (1975). *Markets and hierarchies: Analysis and antitrust implications*. Free Press.

Défis pour une Éducation Physique et Sportive Inclusive au Sénégal

[Challenges for an Inclusive Physical and Sports Education in Senegal]

Cheikh Tidiane Tine

Université Cheikh Anta Diop, Institut National Supérieur de l'Éducation Populaire et du Sport, BP. 3256, Dakar, Senegal

Copyright © 2024 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: Inclusive education is a challenge for modern societies and is part of the effort to consolidate the democratisation of education. It is a challenge to the transformation of educational establishments and teaching practices. The study of the issue of inclusion in physical and sports education is based on a methodology involving surveys of teachers and observation of educational practices. Individual semi-directive interviews were combined with the analysis of practices to give greater consistency to the results. The analysis reveals major challenges, including the need to transform the socio-cultural environment, train teachers in the culture of inclusive education and adapt teaching methods to take account of the educational needs of all. The presence of disability in schools may well provide an opportunity to promote innovations in teaching, especially in terms of content and methods. The configuration, operation and practices of educational institutions also need to be adapted to the inclusion paradigm. Schools have not yet capitalised on their experience in terms of singling out pupils and differentiating teaching to make a break with the past and start a real revolution.

KEYWORDS: physical education, teaching, disability, inclusion, challenge, Senegal.

RESUME: L'éducation inclusive est un enjeu des sociétés modernes et s'inscrit dans l'effort de consolidation du processus de démocratisation de l'enseignement. Elle est un défi à la transformation des établissements d'enseignement et des pratiques pédagogiques. La réflexion sur la problématique de l'inclusion en éducation physique et sportive s'appuie sur une méthodologie basée sur des enquêtes réalisées auprès des enseignants et sur l'observation des pratiques éducatives. Les entretiens individuels semi-directifs ont été associés à l'analyse des pratiques pour donner plus de consistance aux résultats. L'analyse révèle des défis majeurs dont celui de la transformation de l'environnement socioculturel, de la formation des enseignants à la culture de l'inclusion scolaire et de l'adaptation pédagogique pour prendre en compte les besoins éducatifs de tous. La présence du handicap à l'école peut bien constituer une occasion pour promouvoir des innovations dans l'enseignement surtout en termes de contenus et de méthodes. La configuration, le fonctionnement et les pratiques des institutions scolaires doivent aussi être modulés en fonction du paradigme d'inclusion. Les établissements n'ont pas encore capitalisé une expérience en matière de singularisation des élèves et de différenciation pédagogique pour consacrer une rupture et amorcer une véritable révolution.

MOTS-CLEFS: éducation physique, enseignement, handicap, inclusion, défi, Sénégal.

1 INTRODUCTION

L'éducation inclusive témoigne d'un idéal élevé de société et d'un effort de consolidation du processus de démocratisation de l'enseignement. L'éducation voulue par le Sénégal est nationale, démocratique et populaire comme on peut le lire dans l'exposé des motifs de la Loi N°91-22 du 16 février 1991, portant orientation de l'Éducation nationale, modifiée. L'éducation inclusive suppose que l'hétérogénéité ne soit pas un problème, mais un énorme défi à la transformation ou réinvention des

établissements d'enseignement, pour permettre à tous les apprenants, indépendamment de leurs caractéristiques individuelles, d'avancer dans les apprentissages. L'obligation faite au système éducatif est de garantir la réussite scolaire et l'inscription sociale de tout élève [1]. L'inclusion qui traduit une approche éducative globale avec toutes les transformations nécessaires que cela peut engendrer dans les façons de penser, de faire et d'agir implique non seulement un accès physique, mais aussi et surtout un accès aux apprentissages. Elle est une conception qui engage des orientations d'actions basées sur l'aménagement du fonctionnement pédagogique pour permettre les apprentissages de tous [2]. Nourrir et augmenter les capacités d'apprentissage de tous les citoyens est une obligation pour les sociétés actuelles. Le droit à l'éducation des personnes en situation de handicap, consacré par la convention internationale des Nations Unies relative aux droits des personnes handicapées adoptée par son assemblée générale du 13 décembre 2006, est reconnu par les États Parties dont le Sénégal. Cette convention, en son article 30, parle de la participation des personnes handicapées à la vie culturelle et récréative, aux loisirs et aux sports et repose sur la vision d'une société inclusive. Pour être en phase avec ses engagements internationaux, l'État du Sénégal adopte la loi d'orientation sociale n° 2010-15 du 6 juillet 2010 relative à la promotion et à la protection des droits des personnes handicapées, et « *garantit le droit à l'éducation, l'enseignement, la formation et l'emploi pour les personnes handicapées. Les enfants et adolescents handicapés ont droit à une éducation gratuite en milieu ordinaire autant que possible dans les établissements proches de leur domicile* » (Art. 15). Ladite loi, en son article premier, « *vise à garantir l'égalité des chances des personnes handicapées ainsi que la promotion et la protection de leurs droits contre toutes formes de discriminations* ».

En effet, les activités physiques et sportives sont généralement perçues comme des moyens d'inclusion sociale. Sous ce rapport, l'Éducation Physique et Sportive (EPS) peut donc être considérée comme une discipline de choix, la discipline de prédilection en matière d'inclusion. Aussi serions-nous tenté de concevoir l'EPS comme une discipline naturellement inclusive. Cette perception imposerait à l'EPS plus qu'autres disciplines scolaires une forte pression en matière d'inclusion [3]. Comment l'inclusion du handicap en EPS est-elle globalement perçue par les enseignants ? Quelles sont les formes de pratiques en cours ? Ou comment les élèves en situation de handicap sont-ils traités lors des cours d'EPS ? Quels sont les défis et quelles sont les perspectives ?

2 L'ÉDUCATION PHYSIQUE ET SPORTIVE À L'HEURE DU HANDICAP

L'Éducation Physique et Sportive (EPS) est une discipline d'enseignement souvent laissée en rade dans l'inclusion scolaire des élèves en situation de handicap. Les élèves en situation de handicap ne bénéficient pas toujours d'un enseignement de l'EPS équivalent à celui de leurs camarades « ordinaires », car nombre d'établissements scolaires accordent plus d'importance aux disciplines jugées fondamentales pour ce qui est de ces élèves [4]. Discipline à la fois complète et complexe, l'EPS permet pourtant de développer des capacités sur le plan cognitif, affectif, moteur et relationnel [5]. Les élèves en situation de handicap, lorsqu'ils sont intégrés ou inclus à l'école ordinaire, sont très souvent exclus des enseignements en EPS. Or, « *les enjeux moraux, sociaux et institutionnels veulent qu'aujourd'hui l'Éducation physique et sportive (EPS) soit une discipline scolaire inclusive* » [3]. L'inclusion est le fait de « *rendre tout accessible à tous* » [6]. Il est mentionné à l'article premier de la Charte internationale de l'éducation physique et du sport de l'UNESCO (1978) que « *la pratique de l'éducation physique et du sport est un droit fondamental pour tous* ». Chacun a le droit, pour le développement et l'épanouissement de sa personnalité, d'accéder à l'éducation physique et au sport aussi bien dans le système éducatif que dans les autres secteurs de la vie.

Faire pratiquer l'EPS aux élèves en situation de handicap, c'est refuser aussi cette peur de l'autre qui infiltre tout le champ social [7]. La participation de ces élèves aux cours d'EPS permet de passer d'une culture de la séparation à une culture commune et partagée [8]. Elle peut favoriser la transformation des représentations et l'expression des qualités de chacun. Cette participation représente un vecteur d'inclusion dans le système scolaire et contribue à l'enrichissement de tous. L'EPS « *constitue pour les élèves en situation de handicap une occasion de se trouver en groupe, de sortir de chez soi, d'interagir avec les autres et d'avoir un rôle précis au sein du groupe* » [9]. L'inclusion des élèves en situation de handicap au cours d'EPS nécessite de mettre le curseur sur les capacités plutôt que sur les incapacités. De ce fait, l'enseignant d'EPS est dans l'« obligation » de découvrir les capacités et de proposer des activités en rapport avec les préoccupations de l'élève. La mobilisation des capacités résiduelles dans l'accomplissement de conduites motrices permet à l'élève d'accepter son corps tel qu'il est [10].

Tout bien considéré, l'inclusion des élèves en situation de handicap est une tâche nécessaire mais très difficile surtout pour une discipline scolaire (EPS) où les phénomènes de concurrence et de comparaison sont persistants et les prestations des élèves exposées.

3 MÉTHODOLOGIE

Ce travail de recherche est le résultat d'une enquête de terrain menée dans le département de Dakar sur la problématique de l'inclusion en EPS. L'enquête qualitative qui est utilisée dans le cadre de cette investigation s'est matérialisée par l'administration du guide d'entretien et l'observation des pratiques en EPS. La technique de l'entretien semi-directif a permis de recueillir les discours des enseignants d'EPS ayant au moins 10 ans d'expérience professionnelle. L'autre critère de choix de ces enseignants, en sus de la disponibilité/collaboration affichée, est qu'ils ont accueilli au moins un élève en situation de handicap dans leurs cours. Ce qui leur permet de vivre la réalité du handicap dans l'exercice de leur pratique enseignante et de pouvoir discuter d'un sujet connu. Les entretiens individuels semi-directifs ont été associés à l'analyse des pratiques observées pour donner plus de consistance à l'exposé des résultats. Les 15 entretiens réalisés ont fait l'objet de transcription et d'analyse de contenu. Des fragments de discours des acteurs sont repris dans le texte pour mieux étayer le raisonnement.

4 POUR UNE ÉDUCATION PHYSIQUE ET SPORTIVE INCLUSIVE

Dans un espace scolaire de plus en plus hétérogène, l'EPS, comme les autres disciplines scolaires, se doit d'accueillir tous les élèves au sein de cours ouverts notamment à ceux qui sont dits "autrement capables". Selon un de nos interviewés :

« C'est une bonne chose d'introduire les élèves en situation de handicap dans les cours d'EPS parce que ce sont des humains qui ont certainement des manquements, mais cela ne doit pas influencer leur apprentissage. Ils ont le droit à l'éducation comme toute autre personne et si on les écarte des cours d'éducation physique et sportive ils seront faibles et vulnérables. En plus ils se sentiront écartés de la société. Si on les inclut dans les cours d'EPS, ils vont se sentir concernés et peuvent même masquer leur handicap. »

L'EPS peut-elle devenir une discipline scolaire inclusive dans le contexte sénégalais? En a-t-elle les moyens? Quels sont les obstacles, les défis à relever pour faire de l'éducation physique et sportive inclusive une réalité dans les écoles sénégalaises ?

4.1 LE DÉFI SOCIOCULTUREL

La figure du handicap à travers les époques et les aires culturelles est une figure qui balance entre rejet et acceptation, entre exclusion et inclusion au sein de la société. Assimilé généralement à l'anormalité dans l'imaginaire social, le handicap a toujours fait l'objet de représentations positives ou négatives en fonction du temps et de l'espace. La société produit un ensemble de discours que Patrick Fougeyrollas [11] appelle « *la matrice normative* ». Cette matrice, en établissant un cadre normatif auquel se réfèrent les individus, crée en même temps des modèles d'anormalité, de différence et de déviance. Par conséquent, la charge significative donnée aux corps différents détermine leur inclusion. Pour le Sénégal, un contexte socioculturel encore très chargé (le poids de la tradition, des perceptions et représentations) limite l'accès à la pratique de l'activité physique et, partant, de l'éducation physique des élèves en situation de handicap. Sous ce rapport, un enquêté nous dit: « *je suggère la sensibilisation lors des premières séances de cours. Elle peut déconstruire l'image et la représentation que la société et les élèves ont envers leurs camarades en situation de handicap. Il faut aussi associer les parents d'élèves dans la sensibilisation pour faire comprendre à leurs enfants qu'il n'y a pas de handicap qui empêche de venir faire les cours d'EPS. Personne n'est supérieur ou inférieur et que tout le monde peut réussir avec l'aide du professeur.* » L'environnement socioculturel n'est pas souvent de nature à encourager la pratique de l'EPS par les élèves avec handicap car on peine encore à croire à leurs aptitudes. De l'avis d'un des interviewés: « *un handicapé est quelqu'un qui est diminué physiquement, mentalement, voire visuellement. La personne est handicapée lorsqu'elle est incapable ou bien qu'elle a des difficultés à exécuter une tâche bien déterminée. Cette incapacité peut être d'ordre moteur, sensoriel, visuel, etc.* ». Le poids des représentations sociales du handicap (*incapacité, manque, difficulté, limitation, etc.*) constitue un obstacle à l'éducation physique inclusive et cette barrière socioculturelle doit être démolie en créant des cadres de pratiques partagées. Sous ce rapport, un enseignant affirme sans ambages que: « *les structures spécialisées ne sont pas la bonne solution car elles créent un monde dans un autre monde alors que la place des élèves handicapés est dans les écoles publiques ordinaires pour partager les mêmes espaces et les mêmes activités avec les autres élèves. Regrouper les élèves handicapés pour leur dispenser un enseignement à part revient à les écartés volontairement.* »

Il est aujourd'hui nécessaire de changer le regard socioculturel que l'on porte sur le handicap en général et les élèves en situation de handicap en particulier pour passer d'une vision des « creux » à une vision des « reliefs » [5]. Les réaménagements que l'enseignant apporte aux activités ou situations d'apprentissage résulteraient directement de ses représentations de l'élève et de sa situation de handicap. Les représentations agissent sur la décision de l'enseignant de spécifier ou non l'activité de l'élève à besoins éducatifs particuliers. L'inclusion scolaire et sa philosophie de la réussite éducative pour tous incitent à d'autres formes de « regard » de l'autre, à d'autres mentalités et pratiques socio-éducatives. Une révolution culturelle [12],

celle de la « pensée et de l'action » s'avère ainsi indispensable pour ouvrir au mieux l'école aux élèves en situation de handicap. Le pari de la transformation des mentalités afin de faire disparaître les résistances sociales reste également tributaire de la pratique de l'EPS par les élèves en situation de handicap dans l'espace scolaire ordinaire. Changer les représentations sociales liées aux élèves en situation de handicap est un des facteurs clés pour la création de situations d'apprentissage stimulantes et provocatrices de succès pour tous les élèves. Les représentations sociales jouent un rôle important dans les actes quotidiens que posent les hommes.

4.2 LE DÉFI PÉDAGOGIQUE

L'avènement d'une éducation physique et sportive inclusive n'est pas un problème mais un énorme défi au changement de mentalités et de pratiques éducatives. L'article 2 de la Loi N°91-22 du 16 février 1991, portant orientation de l'Education nationale, stipule que l'éducation aide chacun à épanouir ses potentialités en adaptant ses contenus, objectifs et méthodes aux besoins spécifiques des enseignés. L'enseignant, dans son approche didactique, doit apprendre à travailler sur les aptitudes des élèves en situation de handicap pour construire leurs apprentissages. La prise en compte des besoins éducatifs particuliers rend inéluctable la notion de pédagogie différenciée. Une différenciation pédagogique permet de répondre aux besoins éducatifs particuliers des élèves qui ont des difficultés dans les apprentissages. Mieux encore, la différenciation pédagogique répond à une préoccupation majeure qui est d'adapter l'enseignement à la diversité des élèves. Cet interviewé estime que: « *Pour éviter toute distribution entre les élèves handicapés et les élèves normaux, il faut tout d'abord recenser les élèves handicapés afin de gérer leurs inaptitudes surtout physiques puisqu'on ne peut pas les séparer définitivement des autres élèves. C'est ce que la législation a prédit en incluant la visite médicale afin de les différencier.* » Selon Perrenoud [13], différencier c'est rompre avec la pédagogie frontale - la même leçon, les mêmes exercices pour tous - mais c'est surtout mettre en place une organisation du travail et des dispositifs didactiques qui placent chacun dans une situation optimale. La différenciation pédagogique n'est pas une méthode mais une façon de penser l'enseignement et l'apprentissage. D'après Bolduc et Van Neste [14], la différenciation est une philosophie pédagogique. L'art d'enseigner prend tout son sens quand on exige d'un sujet de faire ce dont il est réellement capable et de lui faire comprendre ses limites, fussent-elles provisoires. Sous cet angle, les mots suivants d'un interlocuteur semblent avoir du sens: « *un élève par exemple en fauteuil roulant, on peut lui demander au lancer de poids de lancer à partir de son fauteuil ou en position assise, mais aux cycles de sauts, quelle que soit notre volonté de le faire participer, on est obligé de l'écartier car il a des limites objectives.* » Les élèves à besoins éducatifs spécifiques ont besoin de construire une image positive de leurs possibles. Par voie de conséquence, il est possible de dire que l'inclusion commence à partir du moment où les élèves sont capables de faire.

Le défi est de produire des pratiques partagées innovantes dans une situation d'apprentissage mixte entre élèves en situation de handicap et élèves dits « valides ». L'inclusion en EPS offre un contexte qu'il faut saisir pour inventer sur le plan pédagogique-didactique. Les enseignants d'EPS doivent davantage « faire preuve de pédagogie » qui est l'aptitude à enseigner et à transmettre à un individu ou un groupe d'individus des connaissances au moyen de méthodes adaptées à leur condition. Un des enquêtés soutient que: « *même si notre formation ne tient pas en compte la question du handicap, elle nous a suffisamment dotés de compétences pour pouvoir dans une certaine mesure adapter nos enseignements en fonction des besoins de l'élève handicapé.* » L'enseignant, dans une logique d'adaptation pédagogique, peut par exemple travailler sur un terrain plus petit, une distance plus courte, un temps supplémentaire pour agir ou récupérer d'un effort, un matériel plus ergonomique, un aménagement des règles, etc [15]. La référence [5] a identifié quelques variables pour adapter les situations d'EPS: adapter l'environnement, adapter le matériel, adapter les rôles et des règles, adapter la durée de l'activité, la médiation humaine, etc. Force est de souligner qu'il n'y a pas de « recette », de panacée, de formule idéale ou de solution toute faite ou « clé en main » en pédagogie. Il faut déconstruire les évidences et les certitudes en matière d'éducation et passer d'une « pédagogie statique » à une « pédagogie dynamique et évolutive », une « pédagogie des situations quotidiennes » ou « pédagogie du monde scolaire contemporain ».

L'enseignement devient un processus de construction/déconstruction/reconstruction au gré des situations rencontrées. Le défi de l'inclusion ne peut être relevé sans un esprit d'imagination, d'ingéniosité et de créativité de la part des enseignants. La nécessité de réviser les pratiques éducatives ordinaires s'impose comme une condition sine qua non à la réalisation de l'inclusion scolaire.

Somme toute, les pratiques professionnelles dans le champ de l'enseignement et plus spécifiquement dans celui de l'éducation physique doivent être interrogées dans la perspective de l'inclusion des élèves à besoins éducatifs particuliers en EPS. La notion de « *Besoins Educatifs Particuliers* » constitue un enjeu pour la prise en compte des différences et le renouvellement des pratiques quotidiennes des intervenants. Selon un de nos interviewés: « *l'enseignant doit identifier les besoins des élèves handicapés et les prendre en compte dans le groupe.* » Une « révolution » en EPS passerait aussi par la capacité de la discipline à se mettre à niveau pour tenir compte des spécificités de chacun. L'innovation éducative est la clé de

la prise en compte des besoins de tous. Suivant l'ONU [16], le principe de l'égalité des chances implique que « *les besoins de tous ont une importance égale* » et que « *c'est en fonction de ces besoins que les sociétés doivent être planifiées* ». L'UNESCO [17] invite même les pays à créer des conditions spécifiques « *afin de permettre le développement intégral de leur personnalité grâce à des programmes d'éducation physique et de sport adaptés à leurs besoins* ».

4.3 LE DÉFI DE LA FORMATION

Dans la catégorie des professionnels dont le travail quotidien s'adosse aux activités physiques et sportives, se trouvent spécialement les enseignants d'EPS. Le Breton [18] constate que « *les APS ne sont que des outils entre les mains des animateurs, elles n'ont aucune vertu intrinsèque conférant à leur prescription une efficacité incontestable. L'outil ne dit rien de l'artisan* »; d'où la question de la formation de l'artisan ou de l'acteur qui doit manipuler l'outil. L'analyse de la réalité du terrain révèle une absence de formation des enseignants sur les thèmes du handicap et de son inclusion scolaire, c'est-à-dire qu'ils n'ont pas reçu de formation en éducation inclusive. En d'autres termes, le manque de formation des enseignants d'EPS sur la prise en compte pédagogique des élèves en situation de handicap constitue une épineuse équation. Un enseignant relève que: « *les enseignants ne se sentent pas suffisamment compétents à prendre en compte au sein de leur enseignement les élèves en situation de handicap en raison du manque de formation.* » A défaut de préparation à l'inclusion scolaire des élèves en situation de handicap, beaucoup d'enseignants préfèrent, par mesure de sécurité ou de confort, les mettre à l'écart tandis que d'autres tentent de leur apporter des aides pour leur permettre de suivre l'enseignement tel qu'il existe. De l'avis d'un enseignant enquêté: « *les difficultés qui freinent l'inclusion des élèves en situation de handicap, c'est le manque de programmes adaptés car on est obligé de se conformer à la législation scolaire. Et si toutefois il n'y a pas un programme qui est dévolu à ces élèves, il est difficile de les inclure.* » Pour construire une école inclusive, il faut des programmes et des services adaptés. Ces propos d'un interviewé sont assez alarmants: « *le programme d'EPS au Sénégal n'est pas fait pour les élèves avec handicap car même si nous adaptons le contenu de notre enseignement de sorte à les permettre de participer, il n'existe pas de barème spécifique codifié pour mesurer leur prestation* ». Une évaluation différenciée ou adaptée est nécessaire de manière à éviter les inaptitudes aux cours d'EPS. L'inclusion des élèves en situation de handicap dépend fortement aussi de la manière dont les enseignants appréhendent les différences en classe et de leur volonté à y répondre efficacement. Elle se veut un processus par lequel les personnes incluses ont les mêmes chances que les autres.

Toutefois, les enseignants semblent rechigner à s'engager dans la voie de l'inclusion en raison du manque de formation et de connaissance des caractéristiques des élèves à besoins éducatifs spéciaux. Un enseignant sans formation issu du recrutement spécial de 2022 du gouvernement pour combler le déficit d'enseignants dans les écoles se confie en ces termes: « *je demande aux élèves handicapés de chercher un certificat d'exemption car c'est plus prudent et en plus cela pourrait m'éviter des ennuis.* » « *Il faut un minimum de formation pour éviter certaines maladroites car s'occuper d'élèves avec handicap ne s'improvise pas* » souligne un enseignant devenu administrateur scolaire. La formation dans le domaine du handicap permet de disposer des connaissances nécessaires à l'action éducative inclusive. La prise en compte des besoins éducatifs spéciaux passe par l'intégration dans les programmes de formation des futures générations d'enseignants de modules théoriques et pratiques sur le handicap à l'école et ses implications pédagogiques.

Le défi est de former les enseignants à la culture de l'inclusion scolaire et leur donner les outils pour répondre à la spécificité des besoins éducatifs spéciaux. La formation favorise une adaptation de la pédagogie aux capacités des élèves. Pour construire l'inclusion, « *il faut faire une formation adaptée pour les enseignants et trouver une évaluation spécifique pour les élèves handicapés* » estime un des enseignants enquêtés. De réels efforts restent à consentir dans la formation (initiale et continue) des enseignants pour espérer tendre vers une éducation physique et sportive inclusive au Sénégal. Les établissements de formation surtout à l'enseignement de l'EPS (l'Institut National Supérieur de l'Éducation Populaire et du Sport de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar, le Centre National d'Éducation Populaire et Sportive de Thiès et la section Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives de l'Unité de Formation et de Recherche des Sciences de l'Éducation de la Formation et du Sport de l'Université Gaston Berger de Saint-Louis) s'emploient à des degrés variables à répondre aux exigences de l'éducation inclusive soit par l'ouverture de filières spécifiques soit par la création d'unités d'enseignement spéciales. A en croire un enseignant formé à l'université Gaston Berger, « *les étudiants sortent avec le diplôme professionnel appelé Certificat d'Aptitude à l'Enseignement Secondaire – option EPS. Malheureusement, c'est seulement qu'en deuxième année à travers un module dénommé sport et handicap que le sujet est abordé* ». La formation en rapport avec le handicap est un aspect important dans l'évolution des représentations et des pratiques. En d'autres termes, elle joue un grand rôle dans la révolution de la pensée et de l'action. Ces propos de John G. Hibben retrouvent ici toute leur pertinence: « *éduquer un homme, c'est le mettre en état de faire face à toutes les situations* ». Par conséquent, la formation est un défi et un enjeu de taille dans le processus de construction de l'inclusion scolaire.

Les résistances à la construction d'une école inclusive s'expliquent en bonne partie par le déficit de moyens, d'information et de formation du corps enseignant. Les questions de formation à l'inclusion du handicap en EPS doivent logiquement être prises en compte dans les maquettes actuelles ou à venir des établissements dédiés à la formation des enseignants de la discipline et débattues au sein de la formation continue et de la formation initiale.

4.4 LE DÉFI INSTITUTIONNEL

Les institutions scolaires doivent travailler au passage de la notion d'« *incapacité* », généralement consacrée par la dispense d'EPS ou les certificats médicaux d'inaptitude à la pratique, vers une notion d'inaptitude partielle assez voisine de la notion de capacités fonctionnelles [19]. Toutefois, force est de constater que dans la plupart des établissements scolaires, des certificats d'inaptitude à la pratique de l'EPS sont délivrés aux élèves en situation de handicap. Selon cet enseignant, « *le manque de formation, les effectifs de classes pléthoriques ou la difficulté de mettre en place un programme individuel sans négliger l'ensemble de la classe font que certains collègues préfèrent tout simplement les demander de chercher un certificat d'exemption* ». La délivrance d'un certificat médical d'exemption demeure un facteur d'exclusion de ces élèves. Sous ce rapport, les propos suivants de cet enseignant sont assez éloquentes: « *ce qui freine l'inclusion des élèves en situation de handicap dans les cours d'EPS, c'est le certificat d'inaptitude délivré par les médecins. Pour moi, cela constitue le premier obstacle majeur à l'inclusion des élèves en situation de handicap dans les cours d'EPS.* » Si on devait donner un certificat d'exemption à chaque élève parce qu'il est limité à faire une chose, il n'y aurait presque personne pour suivre certaines disciplines. Quelle que soit la capacité de la personne, elle peut pratiquer l'EPS dès lors que l'activité est adaptée au type et au degré du handicap.

Le défi, c'est de faire assister tous les élèves aux cours d'EPS, quels que soient la nature et le degré du handicap en mettant l'accent sur les capacités résiduelles. Cet enseignant interviewé aborde la question de la participation des élèves en situation de handicap aux cours d'EPS en ces termes:

« J'avais dans ma classe deux élèves handicapés: l'un ne pouvait pas courir 4 mètres; au-delà des 4 mètres il tombe à cause d'un handicap au niveau des os. On m'avait demandé une exemption et j'ai refusé. Je l'avais de la sixième à la troisième et pratiquement il a eu la meilleure note surtout en triple saut. L'autre, elle, avait un handicap au niveau de la main et quand j'ai vu ses notes en gymnastique au BFEM, elle avait 16. Avec mes encouragements, elle ne se laissait pas faire et exceller en EPS et au finish elle faisait partie des meilleurs élèves de ma classe. »

Ce que les élèves dits « valides » peuvent faire, l'élève en situation de handicap peut le réussir avec les adaptations nécessaires. La capacité d'adaptation des établissements scolaires aux spécificités des élèves doit être mise à rude épreuve. Dans la perspective de l'inclusion, on estime que c'est d'abord à l'école de s'adapter pour prendre en considération l'hétérogénéité des élèves, c'est-à-dire de s'engager dans un changement des pratiques d'accueil et d'enseignement afin de permettre à tous d'apprendre [20]. Il est possible d'aménager le milieu pour faire disparaître les obstacles à la mobilisation et à l'expression des compétences de chaque sujet.

La pratique de l'EPS doit être accessible à toutes les personnes, quelles que soient leurs caractéristiques individuelles. « *Tout être humain a le droit fondamental d'avoir accès à l'éducation physique et au sport qui sont indispensables à l'épanouissement de sa personnalité* » [17]. En tant que facteur d'intégration et d'inclusion, de participation sociale, de respect des règles, de reconnaissance/acceptation des différences, l'éducation physique et le sport peuvent constituer un outil pour réduire la marginalisation associée au handicap. Pour ce faire, l'institution scolaire à travers une politique éducative inclusive définie par les autorités compétentes se doit de mobiliser les ressources matérielles et humaines appropriées avec le concours des organismes publics et privés. Le soutien de ces derniers aiderait à avoir des infrastructures ou lieux de pratique répondant à l'idée du *Universal design* (conception universelle ou environnement accessible à tous) avec des équipements spécifiques. Les dires de cet enseignant sont assez inquiétants sur la situation des infrastructures et du matériel didactique pour l'enseignement de l'EPS dans les écoles:

« J'ai deux élèves en situation de handicap moteur au niveau des membres inférieurs. L'un n'a qu'un seul bras et au saut en hauteur la réception peut être difficile pour lui. Maintenant je voudrais que l'administration fasse un geste pour nous chercher des mousses afin de faciliter la réception. Au Sénégal, le problème est qu'on n'a pas assez de matériel pédagogique pour prendre en charge les besoins spécifiques de certains élèves. Lorsque par exemple l'élève est assis sur un fauteuil roulant, les cours se passent sur des terrains sablonneux. On n'a pas de terrains multifonctionnels et on ne peut pas isoler l'élève handicapé. Généralement dans nos établissements on ne prend pas en compte le problème des infrastructures sportives. »

Tous les hommes ont les mêmes besoins et les pratiques architecturales actuelles doivent prendre en compte le caractère pluriel de l'humain. « *L'inclusion commence d'abord par les installations. Il faut des installations et matériels diversifiés et adaptés. Beaucoup d'établissements n'ont pas prévu des aménagements pour faciliter l'accès aux élèves handicapés* »

renseigne cet enquêté, responsable d'établissement. L'équipement des établissements en matériel et installations spécifiques adaptés demeure à la fois un défi à relever dans le contexte sénégalais pour créer les conditions d'une inclusion des élèves en situation de handicap surtout aux cours d'EPS. L'école doit opérer un changement pour s'adapter aux spécificités des élèves et non le contraire, c'est-à-dire leur adaptation à l'école à travers la logique d'assimilation qui consiste à rendre semblable celui qui est différent.

L'institutionnalisation d'épreuves physiques adaptées dans le cadre des examens (Certificat de Fin d'Etudes Élémentaires, Brevet de Fin d'Etudes Moyennes et Baccalauréat) permettrait de promouvoir l'EPS des élèves à besoins éducatifs spéciaux en général et ceux en situation de handicap en particulier. Ce défi institutionnel incombe non seulement aux enseignants et autre personnel de l'école, mais aussi aux parents, aux gouvernants, aux professionnels spécialisés et à tout autre acteur ouvert au changement dans le respect de la diversité humaine. In fine, l'institution scolaire doit vivre l'expérience des élèves à besoins éducatifs spéciaux à tous les niveaux. Dans le même ordre d'idées, un enseignant détaché dans une inspection d'académie régionale souligne que: « *la prise en charge des élèves handicapés doit se faire à tous les niveaux, de l'élémentaire en passant par le moyen jusqu'au secondaire. On ne doit pas attendre jusqu'au lycée pour commencer la prise en charge de ces élèves lors des cours d'EPS.* »

5 CONCLUSION

Un regard sur le handicap à l'école permet de constater que dans les salles de classes ou les cours d'EPS la construction de l'inclusion scolaire demeure problématique en raison d'un certain nombre de verrous à faire sauter. L'inclusion requiert le passage d'une logique du « prêt-à-porter » à une logique du « sur-mesure ». Avec ou sans besoins spéciaux, chacun peut trouver de la satisfaction dans une pratique à sa mesure et en tirer des bénéfices.

Au niveau des écoles devant accueillir des élèves en situation de handicap, la désignation d'enseignants référents responsables de leur suivi pédagogique est nécessaire. Ces enseignants seront chargés d'assurer officiellement la coordination des diverses actions en faveur des élèves en situation de handicap et d'être leur interlocuteur privilégié pour la facilitation de leur parcours. L'éducation à la diversité humaine et au « vivre ensemble » a toute sa pertinence dans un contexte marqué par les replis identitaires, les sectes, les extrémismes religieux, l'exclusion des minorités, la peur de l'inattendu et du rejet de la différence, etc. L'EPS est un moyen « *d'extraire le handicap de la marge, de le désinsulariser* » [20] et de construire les conditions d'une société réceptive aux différences et capable de voir la diversité comme une source de bien-être social. L'institution scolaire n'a pas encore capitalisé une expérience en matière de singularisation des élèves et de différenciation pédagogique pour consacrer une rupture et amorcer une véritable révolution. La présence du handicap à l'école peut bien constituer une occasion pour promouvoir des innovations dans l'enseignement surtout en termes de contenus et de méthodes.

REFERENCES

- [1] S. Ebersold, « Autour du mot inclusion », *Recherche et Formation*, no. 61, pp. 71-83, 2009.
- [2] Armstrong, F., et Barton, L., *Besoins éducatifs particuliers et inclusive éducation*, In: B. Belmont, et A. Vérillon (sous la dir.), *Diversité et handicap à l'école. Quelles pratiques éducatives pour tous ?*, Paris, CTNERHI-INRP, pp. 85- 99,2003.
- [3] M. Meziani, et D. Séguillon, « Éducation physique et sportive et besoins éducatifs particuliers des élèves », *La nouvelle revue – Education et société inclusives* n°18, pp. 10-15, 2018. <https://doi.org/10.3917/nresi.081.0005>.
- [4] J. P. Garel, « EPS et élèves en situation de handicap: l'émancipation de la didactique », *La nouvelle revue de l'adaptation et de la scolarisation*, Éditions de l'INSHEA, n°33, pp.49-62, 2006. <https://doi.org/10.3917/nresi.081.0081>.
- [5] F. Meynaud, « Vers une éducation physique et sportive inclusive », *Reliance* n°24, Toulouse, Editions èrès, pp. 92-97, 2007. <https://doi.org/10.3917/reli.024.0092>.
- [6] F. Armstrong, « Intégration ou inclusion? L'évolution de l'éducation spéciale en Angleterre. Une étude de cas », *Revue française de pédagogie*, n°134, pp. 87-96, 2001.
- [7] M. R. Moro, « Refuser cette peur de l'autre qui infiltre les cours d'école comme elle habite le champ social », *Reliance: revue des situations de handicap, de l'éducation et des sociétés*, n°27, Faire culture commune, Toulouse, Editions èrès, pp. 18-22, 2008.
- [8] M. Chauvière, et E. Plaisance, « Les conditions d'une culture partagée », *Reliance: revue des situations de handicap, de l'éducation et des sociétés*, n°27, Faire culture commune, Toulouse, Editions èrès, pp. 31-44, 2008.
- [9] Tine, C. T., *La pratique de l'éducation physique et sportive par les élèves en situation de handicap moteur au Sénégal*, In: S. Popović, B. Antala, D. Bjelica, et J. Gardašević (sous la dir.), *Physical Education in Secondary School: Researches – Best Practices – Faculty of Sport and Physical Education of University of Montenegro, Montenegrin Sports Academy and FIEP*, pp. 357-363, 2018.

- [10] G. Bui-Xuân, et J. Mikulovic, « Les élèves à besoins éducatifs particuliers n'ont pas besoin d'une pédagogie particulière en EPS », *Reliance* n°24, Toulouse, Editions érès, pp. 98-106, 2007. <https://doi.org/10.3917/reli.024.0098>.
- [11] P. Fougeyrollas, « Normalité et corps différents: regard sur l'intégration sociale des personnes handicapées physiques », *Anthropologie et sociétés*, vol. n°2, pp. 51-71, 1978. <https://doi.org/10.7202/000884ar>.
- [12] Gardou, C., *Face au dédale des significations conférées au handicap*, In: C. Gardou et des chercheurs des 5 continents, Le handicap au risque des cultures. Variations anthropologiques, Toulouse, érès, pp. 405-412, 2010.
- [13] P. Perrenoud, *Pédagogie différenciée: des intentions à l'action*. Paris, ESF, 2008.
- [14] G. Bolduc, et M. Van Neste, « La différenciation pédagogique: travailler avec des jeunes à la fois semblables et uniques », *Vie pédagogique*, n°123, Education, Loisir et Sport, Québec, 2002.
- [15] P. Bernard, et G. Ninot, « Les déficiences motrices (sport de haut niveau, éducation physique, réhabilitation par les APS) », *revue EPS*, Paris, 2002.
- [16] Organisation des nations Unies, *Règles pour l'égalisation des chances des handicapés*, 1993.
- [17] UNESCO, *charte internationale de l'éducation physique et du sport*, 1978.
- [18] D. Le Breton, « Activités physiques et sportives et intégration: aspects anthropologiques », *Revue Empan*, n°51, Toulouse, érès, pp. 58-64, 2003.
- [19] A. Marcellini, « Un sport de haut niveau accessible ? Jeux séparés, jeux parallèles et jeux à handicap », *Reliance* n°15, Toulouse, érès, pp. 48-54, 2005.
- [20] C. Gardou, *Fragments sur le handicap et la vulnérabilité. Pour une révolution de la pensée et de l'action* (1^{re} édition 2005), Toulouse, Érès, 2009.

Pour une paix durable entre agriculteurs et éleveurs au Bénin: Leçons tirées de la gouvernance des infrastructures et ressources agropastorales dans la Commune de Banikoara

[For sustainable peace between farmers and breeders in Benin: Lessons learned from the governance of agropastoral infrastructures and resources in the Commune of Banikoara]

Nestor Alokpaï¹, Rahamatou Yacoubou Djibrila², Tagnon Gontrand Rodrigue Tchekli¹, Emmanuel Sambien², and Roch Lambert Mongbo³

¹Ecole de Sociologie Rurale et de Vulgarisation agricole, Université Nationale d'Agriculture, Benin

²Département de Socio-anthropologie, Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines, Université de Parakou, Benin

³Ecole d'Economie, de Socio-anthropologie et Communication, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Benin

Copyright © 2024 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: Agriculture and livestock farming are very important in the development of African countries. Cohabitation between farmers and breeders as well as the governance of agropastoral resources and infrastructure remain at the heart of political concerns. However, the numerous actions carried out and the measures taken by the actors have not yet made it possible to definitively put an end to the various conflicts. This research aims to provide an overview of the conflicts and analyze but also and above all to analyze the establishment and management of agropastoral resources and infrastructures present in the commune of Banikoara. It was conducted following a socio-anthropological approach using qualitative research methods and tools. To this end, 178 people were surveyed through individual interviews and focus groups. The results made it possible to highlight the marked and georeferenced passage corridors, the grazing areas, the developed baffles and the livestock markets as the main infrastructures and shared resources which have had a positive impact on the reduction of conflicts. However, several modes of governance of these resources and infrastructures have been noted, the most appreciated of which seems to be community governance, followed by mixed governance and delegated governance depending on the case. These infrastructures as well as their governance strengthen cohesion between the different actors involved in use and management, but at the same time constitute factors of conflict.

KEYWORDS: agriculture, transhumance, governance, conflicts, agropastoral infrastructure, agropastoral resources, Banikoara, Benin.

RESUME: L'agriculture et l'élevage revêtent un caractère très important dans le développement des pays africains. La cohabitation entre agriculteurs et éleveurs ainsi que la gouvernance des ressources et infrastructures agropastorales restent au cœur des préoccupations politiques. Les nombreuses actions menées et les mesures prises par les acteurs n'ont cependant pas encore permis de mettre définitivement fin aux différents conflits. Cette recherche vise à faire un aperçu des conflits et analyser mais aussi et surtout d'analyser la mise en place et la gestion des ressources et infrastructures agropastorales présentes dans la commune de Banikoara. Elle a été conduite suivant une approche socio-anthropologique mobilisant des méthodes et outils de recherche qualitative. A cet effet, 178 personnes ont été enquêtées à travers la réalisation d'entretiens individuels et de focus group. Les résultats ont permis de ressortir les couloirs de passage balisés et géoréférencés, les aires de pâturages, les baffons aménagés et les marchés de bétails comme principales infrastructures et ressources partagées qui ont eu un impact positif sur la réduction des conflits. Cependant, plusieurs modes de gouvernance de ces ressources et infrastructures ont été relevés dont la plus appréciée semble être la gouvernance communautaire, suivie de la gouvernance mixte et celle déléguée selon les cas. Ces infrastructures ainsi que leur gouvernance renforcent la cohésion entre les différents acteurs impliqués dans l'utilisation et la gestion, mais constitue en même temps des facteurs de conflits.

MOTS-CLEFS: agriculture, transhumance, gouvernance, conflits, infrastructures agropastorales, ressources agropastorales, Banikoara, Bénin.

1 INTRODUCTION

L'agriculture et l'élevage, porteurs d'enjeux humains, socio-économiques et environnementaux, sont vitaux en Afrique [1]. La vulnérabilité des éleveurs face aux mutations foncières demeure une préoccupation majeure en Afrique Subsaharienne. Il est établi que jusqu'à présent les

réformes institutionnelles et politiques d'élevage de gestion et l'accès aux droits n'ont pas abouti à la sécurisation des espaces de production agropastoraux [2]. Cependant, de profondes mutations naissent dans les relations sociales, notamment entre agriculteurs et éleveurs à la suite du brassage des deux entités. Les relations entre les agriculteurs et les éleveurs, précédemment marquées par un certain équilibre reposant sur la complémentarité, sont devenues désormais conflictuelles et concurrentielles [3]. Cette dernière décennie, il y a eu une recrudescence des heurts sur le continent. Dans certaines zones, l'accueil est belliqueux, le « vivre ensemble » est rejeté, la paix et la cohésion sociales sont troublées [1]. Ces conflits donnent lieu à des affrontements réguliers, parfois sanglants voire meurtriers entre agriculteurs et éleveurs. Les références aux conflits agriculteurs-éleveurs en Afrique subsaharienne n'ont cessé de se multiplier dans les médias, les sphères d'élaboration de politiques et les études scientifiques [4]. Selon ces derniers, il y a une augmentation généralisée du niveau de violence au cours des dix dernières années en particulier dans certains pays d'Afrique centrale et occidentale, sans que les données étudiées permettent d'affirmer une tendance spécifique, plus soutenue, de croissance des épisodes violents associés à la pratique de l'agriculture et du pastoralisme. Ainsi, les conflits entre agriculteurs et éleveurs représentent un phénomène préoccupant à travers l'Afrique de l'Ouest, engendrant des tensions considérables dans plusieurs régions rurales. Ce type de conflit, souvent alimenté par des disputes concernant l'accès aux ressources naturelles comme la terre, est exacerbée par des facteurs socio-culturels et environnementaux [5]. Ainsi, les conflits entre éleveurs et agriculteurs constituent une autre dimension de l'insécurité en Afrique de l'Ouest [6], car les relations conflictuelles entraînent parfois non seulement des pertes en vie humaine et des pertes considérables de récoltes et de bétail, mais également des bouleversements sociaux en particulier des déplacements et des perturbations des moyens de subsistance des populations et l'exacerbation de la pauvreté [7], [8]. Les expériences d'ici et d'ailleurs ont révélé que la coexistence des systèmes d'agriculture itinérante et d'élevage extensifs est source de divers problèmes d'ordre socio-environnemental. Cette cohabitation crée une forte concurrence dans l'usage des ressources naturelles avec pour conséquence les conflits entre éleveurs et agriculteurs; la dégradation des essences végétales et la mise en culture des espaces réservés aux activités pastorales, réduisant ainsi les performances productives des deux secteurs d'activités [9]. La république du Bénin n'échappe pas à cette réalité.

Au Bénin, les conflits liés à la gestion des ressources naturelles continuent d'impacter la paix sociale et le développement durable des territoires du département de l'Alibori [10] et même dans la plupart des Communes du pays. Toujours au nord Bénin, le département du Borgou aussi regorge d'un véritable potentiel en infrastructures pastorales et agropastorales. Il y a été identifié, les infrastructures de conduites (couloirs de passage et aires de pâturage); hydrauliques (barrages, retenues d'eau naturelle aménagées et puits pastoraux); marchandes (marchés à bétail) et sanitaires (aires de vaccination) [11]. Selon [12], les réalisations concrètes faites avec ces ressources sont remarquables en matière d'infrastructures de soutien à la production et à la valorisation des activités des agriculteurs, éleveurs et artisans dans le Nord du Bénin. Il en est ainsi dans la Commune de Banikoara. Cependant, depuis plusieurs années, il y a aussi une recrudescence des conflits entre agriculteurs et éleveurs dans d'autres Communes du Sud et du Centre du pays. Par exemple, [13] a conclu que de que de pernicieuses violences sont observées entre éleveurs et agriculteurs dans la Commune de Djidja située au centre-sud du pays. Au regard de la recrudescence des conflits violents et parfois meurtriers et sanglants dans plusieurs Communes du pays, le Gouvernement a pris en 2018, une loi pour réguler la transhumance des animaux et instituer la sédentarisation des troupeaux d'élevage. Il s'agit de la loi n° 2018-20 du 23 avril 2019 portant code pastoral en République du Bénin. Le décret de son application n°2023-303 du 07 juin 2023 portant modalités d'exercice de la veille pastorale fixe les modalités d'exercice de la veille pastorale (ce sont toutes les mesures prises par les pouvoirs publics, en lien avec les acteurs, pour garantir l'alimentation, la santé du bétail, la sécurité et la quiétude des communautés pastorales et agricoles. Ce texte interdit la transhumance nationale et encourage la sédentarisation des ruminants. Toutefois, le déplacement en troupeaux de ruminants entre communes ne peut s'effectuer que de façon exceptionnelle et organisée par décision concertée des maires des communes concernées, après approbation du préfet ou des préfets territorialement compétents. L'article 3 du décret stipule ce qui suit: « *Chaque maire prend ou fait prendre sur son territoire de compétence, des mesures pour: délimiter et sécuriser les espaces et couloirs pastoraux, dans le cadre des plans d'aménagement de son territoire de compétence; garantir le libre accès aux plans d'eau naturels; procéder à un zonage pour l'accès aux ressources pastorales en fonction des usages courants; délimiter, de concert avec les divers usagers, les voies d'accès appropriées aux plans d'eau et les zones d'attente près des points d'eau où les animaux en attente seront parqués afin d'éviter la dégradation des alentours; assurer ou promouvoir les cultures fourragères dans les espaces pastoraux, en vue de rendre disponible le fourrage pour les ruminants; interdire tout défrichement ou installation de cultures dans les zones délimitées autour des pâturages naturels, des couloirs de passage, des points d'abreuvement du bétail et, à l'intérieur des limites des zones d'attente, des aires de repos, des marchés à bétail et des points de rassemblement du bétail; et interdire toute autre activité non pastorale dans les espaces pastoraux* ».

Cependant, ce décret bien que novateur, est récent et dans plusieurs Communes et les autorités communales peinent à mettre en place les mesures recommandées. Ce que montre aussi l'inventaire des connaissances, c'est que la gestion durable des espaces pastoraux nécessite la prise en compte de la pluralité des acteurs, de leurs stratégies et de leurs capacités d'adaptation des systèmes aux contextes institutionnel et écologique changeants [2] Ainsi, il importe de tirer des leçons des expériences éprouvées de mise en place et de gouvernance des infrastructures et ressources agropastorales dans les Communes telles que celle de Banikoara pour les capitaliser dans les autres Communes qui sont en mal d'alternatives face au phénomène grandissant de conflits entre agriculteurs et éleveurs malgré les dispositions de la loi de 2018. Par ailleurs, après plusieurs années d'utilisation des infrastructures agropastorales et ressources partagées dans la Commune de Banikoara, il s'est avéré crucial de procéder à leur analyse en termes de gouvernance, d'effets/impacts engendrés de durabilité afin de mettre dans un premier temps à la disposition des décideurs étatiques et des autorités des autres Communes du pays, des éléments nécessaires à la prise de bonnes décisions pour l'aménagement réussi des ressources et infrastructures agropastorales. Dans un second temps, elle contribuera à l'animation des débats scientifiques sur les infrastructures pastorales et agropastorales au Bénin. C'est ce qui justifie la présente étude qui vise à faire un état des lieux

des conflits entre agriculteurs et éleveurs et de tirer leçons des expériences de gouvernance des infrastructures et ressources agropastorales dans la Commune de Banikoara.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 PRESENTATION DE LA COMMUNE DE BANIKOARA

Banikoara est l'une des soixante-dix-sept communes du Bénin. Elle est située dans le département de l'Alibori et est subdivisée en dix (10) arrondissements que sont: Banikoara, Founougo, Gomparou, Goumori, Kokey, Kokiborou, Ounet, Sompérékou, Soroko et Toura, pour un total de 53 villages et 11 districts urbains (voir Figure 1). On y retrouve essentiellement des Baatonou, des Peuhls et de beaucoup d'autres ethnies venues du Niger (Djerma et Haoussa) du Burkina (Gourmantché) du Nigeria (Yoruba et Ibo). Lors du recensement de 2013 (RGPH-4), la Commune comptait 246 575 habitants.

Deux activités sont principalement menées par les populations. Il s'agit de l'agriculture et de l'élevage. La Commune de Banikoara est la première commune productrice de coton au Bénin. Cependant, cette position n'empêche pas la production céréalière et d'autres légumineuses. Dans le domaine de l'élevage, cette Commune occupe le premier rang en têtes de bovins. On y rencontre également l'élevage de petits ruminants (caprins et ovins) sans oublier les volailles.

2.2 QUESTIONS DE RECHERCHE

Pour y parvenir, des questions de recherches suivantes ont été formulées. La principale question est la suivante: Quelles sont les ressources et infrastructures agropastorales et leurs modes de gouvernance dans la Commune de Banikoara ? De façon spécifique, elle a tenté de répondre aux sous-questions ci-après:

- 1) Quelles sont les ressources et infrastructures agropastorales dans la Commune de Banikoara ?
- 2) Quels sont les modes de gouvernance des ressources et infrastructures agropastorales disponibles dans la Commune de Banikoara ?
- 3) Quels sont les modes de gouvernance recommandables dans la gestion des ressources et infrastructures agropastorales ?

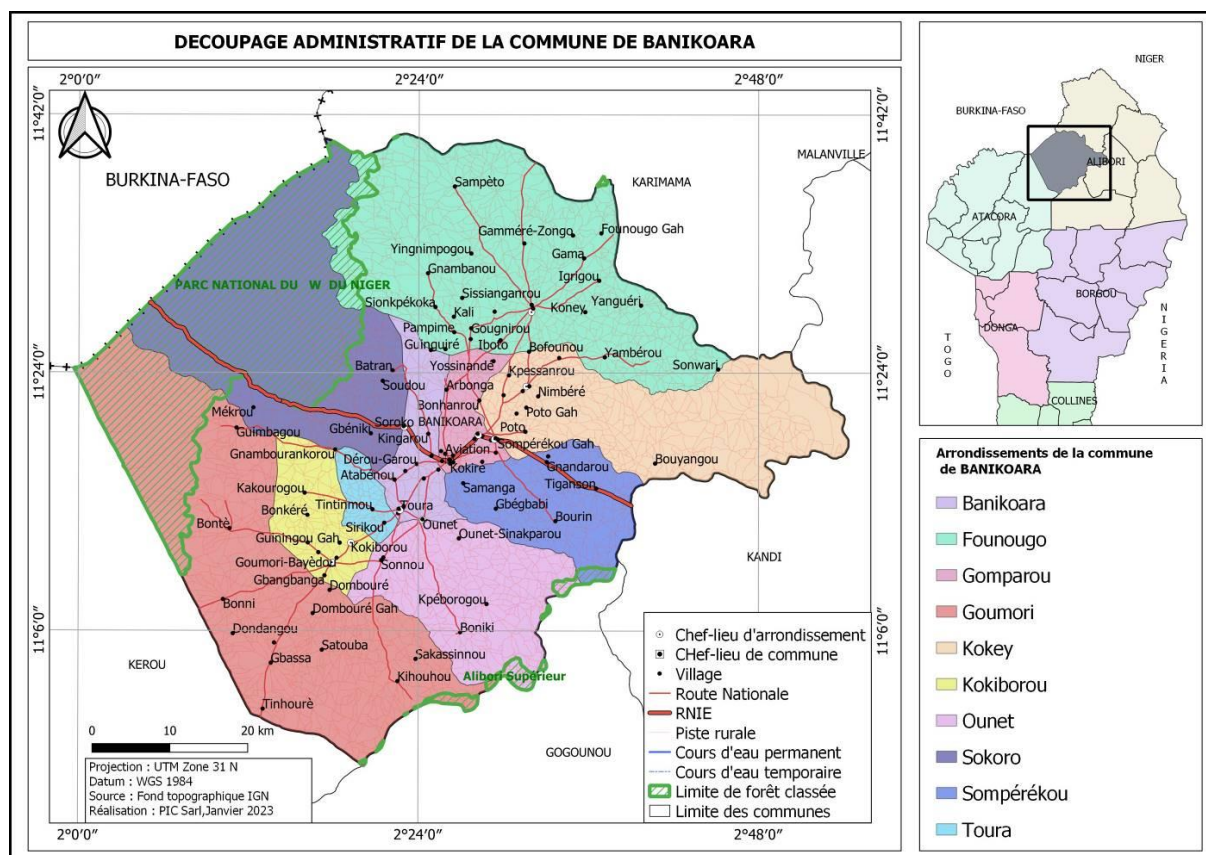


Fig. 1. Carte de la commune de Banikoara

Source: Mairie de Banikoara, 2021

2.3 ECHANTILLONNAGE

L'échantillonnage lors de cette étude a été faite suivant une approche non-probabiliste avec la méthode de boule de neige. Elle a permis de constituer un échantillon de 178 personnes de différents types d'acteurs impliqués dans la mise en place et la gouvernance des infrastructures et ressources agropastorales, tel que présenté dans le tableau 1. Le processus d'échantillonnage a démarré par une phase exploratoire au cours de laquelle nous avons réalisé un état des lieux des infrastructures et ressources agropastorales dans la Commune avec l'aide de 15 agents du service des affaires domaniales de la Mairie (05) et de la Cellule Communale de l'Agence Territoriales pour le Développement Agricole (CeC/ATDA) (7) et des personnes ressources (03). Cette étape a été suivie d'une cartographie participative des acteurs impliqués dans la mise en place et la gestion de ces infrastructures et ressources agropastorales et des conflits y afférents. A l'issue de cette cartographie des acteurs, nous avons retenu avec les participants en moyenne 20 personnes par catégorie à interviewer, étant donné que l'étude couvre toute la Commune et que le nombre d'acteurs estimés par catégorie est supérieur à 20. Au sein de chaque catégorie d'acteurs, une liste a été constituée et une sélection des informateurs clés a été faite suivant la méthode de boule de neige. Cependant, les réalités de terrain nous ont amenés à ne pouvoir toucher que les acteurs qui étaient disponibles et accessibles pour les entretiens tel que présenté dans le tableau1.

Tableau 1. Les catégories d'acteurs impliqués dans la gouvernance des infrastructures et ressources agropastorales

Catégorie d'acteurs	Effectifs
Représentants d'institutions publiques (Mairie ; Cellule Communale de l'Agence Territoriale pour le Développement Agricole (CeC/ATDA) ; Tribunal de Conciliation, Commissariat)	28
Membres d'ONG d'appui	20
Membres d'organisations de producteurs	26
Membres d'organisations d'éleveurs	24
Membres de Commission/comité de gestion	40
Autres personnes ressources impliquées dans la gestion	20
Autres utilisateurs des ressources et infrastructures partagées (femmes maraîchères, pêcheurs, etc.)	20
Total	178

Source: Données de terrain 2022 et 2023

2.4 LA COLLECTE DE DONNÉES

Comme mentionnée plus haut, la présente étude a été conduite suivant une approche purement qualitative. Elle est de nature analytique et compréhensive. La collecte de donnée a démarré par la revue documentaire. Cette phase a consisté à préparer l'organisation de la phase de terrain. Elle a permis d'avoir une idée claire du milieu d'étude (exploitation des données de monographie, du PDC, du SDAC ainsi que des données et statistiques de production agricole de Banikoara et). Par la suite des entretiens individuels ont été réalisés à l'aide de guide d'entretiens avec 130 personnes sélectionnées et 48 personnes ont été mobilisées pour les entretiens de groupes. Les données d'entretiens nous ont permis de recueillir des données sur les sources et modes de règlement des conflits entre leurs utilisateurs, les infrastructures et ressources aménagées et disponibles dans les arrondissements et villages de la Commune, les acteurs impliqués dans leur utilisation, leurs modes de gestion, les perceptions des acteurs sur les modes de gestion. Ces données ont été complétées par celles issues de l'observation. Les données ont été collectées sur la période 2021 à 2023 autour de trois thématiques principales à savoir: les réalités liées à la mobilité pastorale, la gouvernance foncière et la mise en place et la gestion des infrastructures agropastorales dans la Commune.

2.5 L'ANALYSE DES DONNÉES

Pour l'analyse des données collectées, nous avons utilisé la méthode d'analyse de contenu. Elle a permis de regrouper en catégories ou en thèmes tous les énoncés qui se rejoignent par le sens, vu que nos intentions sont orientées beaucoup plus vers la compréhension du phénomène plutôt que son explication théorique ou encore sur les façons de faire. Nous avons donc après dépouillement et transcriptions manuelles des données, procédées à un tri thématique et à l'analyse du contenu. En outre, nous avons utilisé des statistiques descriptives pour calculer les moyennes et des pourcentages pour la réalisation des tableaux et graphiques.

3 RESULTATS

3.1 APERÇU SUR LES CONFLITS ENTRE AGRICULTEURS ET ÉLEVEURS DANS LA COMMUNE DE BANIKOARA

La mobilité pastorale engendre des conflits qui se manifestent diversement. Pour mieux appréhender ses manifestations, nous nous sommes intéressés à leurs sources. Ainsi, de façon succincte, les résultats d'enquête révèlent que les agriculteurs évoquent plus les dégâts sur

les champs et la divagation des animaux comme sources principales des conflits tandis que les éleveurs évoquent prioritairement les blessures sur eux et sur leurs animaux puis la dispersion des champs. En voici les détails dans les figures 2 et 3 suivantes.

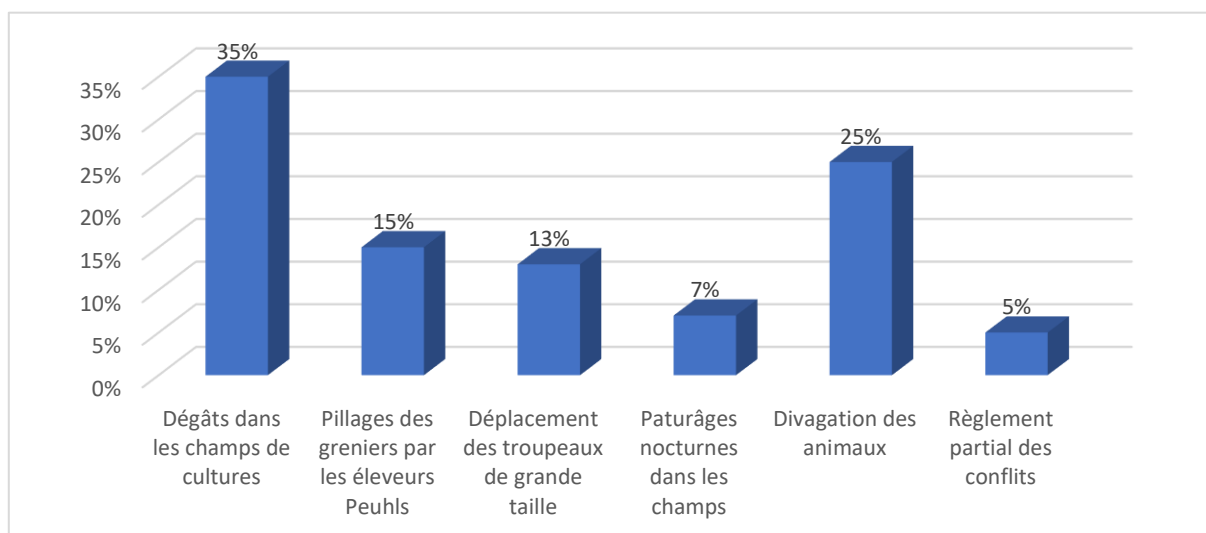


Fig. 2. Sources des conflits selon les agriculteurs et les agropasteurs

Source: Résultats d'enquête de terrain, 2021

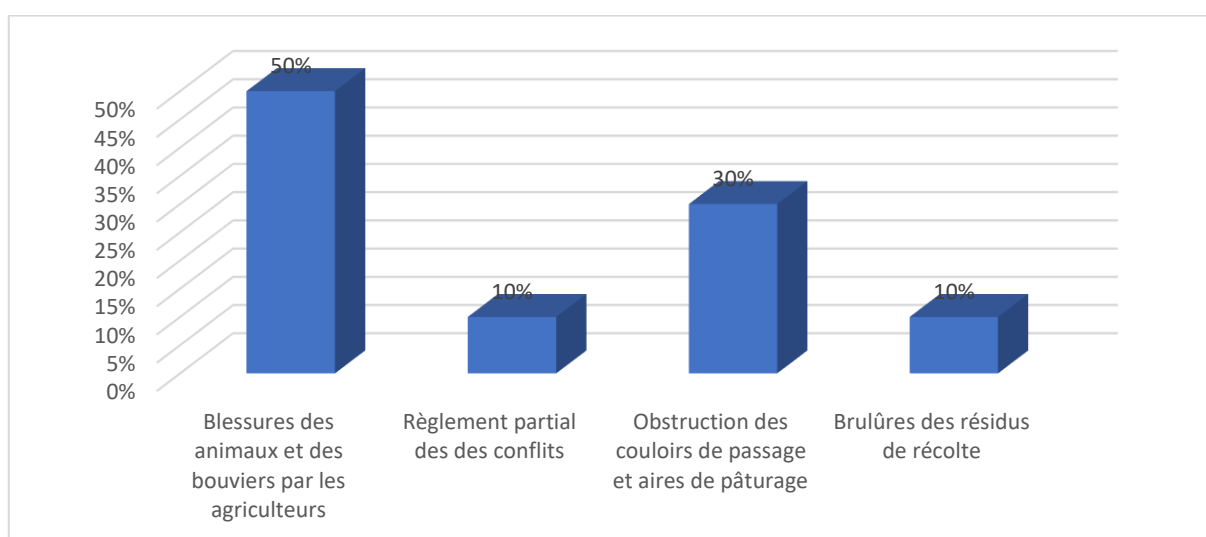


Fig. 3. Sources des conflits selon les éleveurs

Source: Résultats d'enquête de terrain, 2021

Nous retenons de tout ce qui est mentionné dans les sources de conflits que ces derniers émergent généralement suite à des actes variés posés intentionnellement ou non par l'un ou l'autre des parties impliquées. Par ailleurs, la récurrence des conflits entre éleveurs et agriculteurs pourrait aussi s'expliquer par le type de propriété des animaux: certains administrateurs et hauts gradés de l'armée disposent des troupeaux qu'ils confient aux éleveurs (gardiens des animaux). Dans ce cas d'espèce, les gardiens violent allègrement les règles de gestion de l'espace pastorale alimentant ainsi le conflit. Dans tous ces cas, les conflits peuvent être rapidement contenus par une gestion à l'amiable ou dégénérer en conflits violents. Les conséquences vont donc des simples dégâts sur les cultures passant par les animaux jusqu'aux morts d'hommes dans le pire des cas.

3.2 LES CONTRAINTES LIÉES À LA GESTION DE LA MOBILITÉ PASTORALE COMME VÉRITABLES VECTEURS DES CONFLITS ENTRE AGRICULTEURS ET ÉLEVEURS

En se focalisant sur les facteurs des conflits évoqués par les enquêtés, un approfondissement des échanges avec ceux-ci a permis d'énumérer quelques contraintes liées à leurs réalités. Ces contraintes ont également été hiérarchisées et en voici, la description par ordre de priorité.

3.2.1 LA DIFFICULTÉ D'ACCÈS AUX RESSOURCES PASTORALES

Les ressources pastorales existantes sont difficiles d'accès car certaines qui étaient à proximité ont été dégradées et/ou affectées à d'autres usages (cas d'un domaine à Orou-Gnonrou qui servait de pâturage avant d'être retenu en vue de l'élargissement de leur école primaire centre et abrite aujourd'hui, quelques salles de classes et aires de jeu). Par conséquent, pour accéder à d'autres aires de pâturage, les éleveurs conduisent les animaux sur de longue distance matin et soir, tout en courant le risque de causer des dégâts sur les champs installés çà et là sur leur parcours.

3.2.2 LA FORTE PRESSION SUR LES RESSOURCES PASTORALES

Avec l'évolution de la population, les demandes en bétails évoluent et beaucoup d'éleveurs émergent, ce qui occasionne une forte pression sur les aires de pâturage et points d'eau existant.

3.2.3 L'ÉVOLUTION DES EMBLAURES AGRICOLES DE CES DERNIÈRES ANNÉES

La Commune de Banikoara est la première en matière de production cotonnière et constitue un véritable grenier de production de maïs. Ainsi, les emblavures agricoles ont nettement accru dans la dernière décennie, ce qui a occasionné l'affectation aux activités agricoles de nombreuses surfaces servant, jadis d'aires de pâturage aux animaux.

3.2.4 LES CONSÉQUENCES DES VARIATIONS CLIMATIQUES

Les variations climatiques observées de façon plus prononcée ces dernières années occasionnent la précocité des temps secs où les fourrages sont rares ainsi que la concentration des précipitations sur une courte durée, dégradant encore les terres. C'est le cas à Ounet où l'eau stagne et fait progressivement d'un bas-fond une aire de pâturage.

3.2.5 LES PERCEPTIONS DIVERSES DES AUTOCHTONES SUR LES ÉLEVEURS PEUHLS

Il s'agit ici d'un des défis quotidiens auxquels fait face la communauté des éleveurs Peuhls continuellement. Le problème tire sa source du mode de vie de la communauté des Peuhls qui demeure une communauté d'éleveurs par excellence. Cette activité qui définit quasiment leur existence, leur a attribué une telle proximité avec les animaux qu'ils ont le nomadisme et la vie en brousse en mode de vie traditionnel. Ces traits de caractères leur valent le qualificatif d'êtres non sociables. Beaucoup de communautés leur attribuent un degré d'animosité poussé, ce qui fait qu'on les perçoit, à priori comme dangereux et agressif. Le Chef de la communauté Peuhl de Banikoara (communément appelé ROUGA) confirme ces réalités quand il dit ceci: « *Tant que la population prendra le peuhl pour l'intrus; celui qui porte toujours le premier coup ou encore celui qui est plus agressif, la résolution à l'amiable restera compliquée alors que nous devons cohabiter quoiqu'il se passe. Nous avons fait beaucoup de progrès au Nord ici mais la situation reste toujours critique en descendant vers le Sud du pays* ». Ceci montre également que dans d'autres localités, cette contrainte aurait été en tête mais l'acceptabilité sociale des Peuhls dans la commune de Banikoara est telle que les rapports sont plus ou moins apaisés.

3.3 PRÉSENTATION DU MÉCANISME DE GESTION DES CONFLITS LIÉS À LA MOBILITÉ PASTORALE ET LEUR IMPACT SOCIO-ÉCONOMIQUE ET CULTUREL

3.3.1 MÉCANISME DE GESTION DES CONFLITS

Face aux conflits liés à la mobilité pastorale, les démarches ou niveaux de résolution sont diverses. Nous allons décrire à travers la figure 4 ci-après le système de gestion des conflits en lien avec la mobilité pastorale dans la commune de Banikoara.

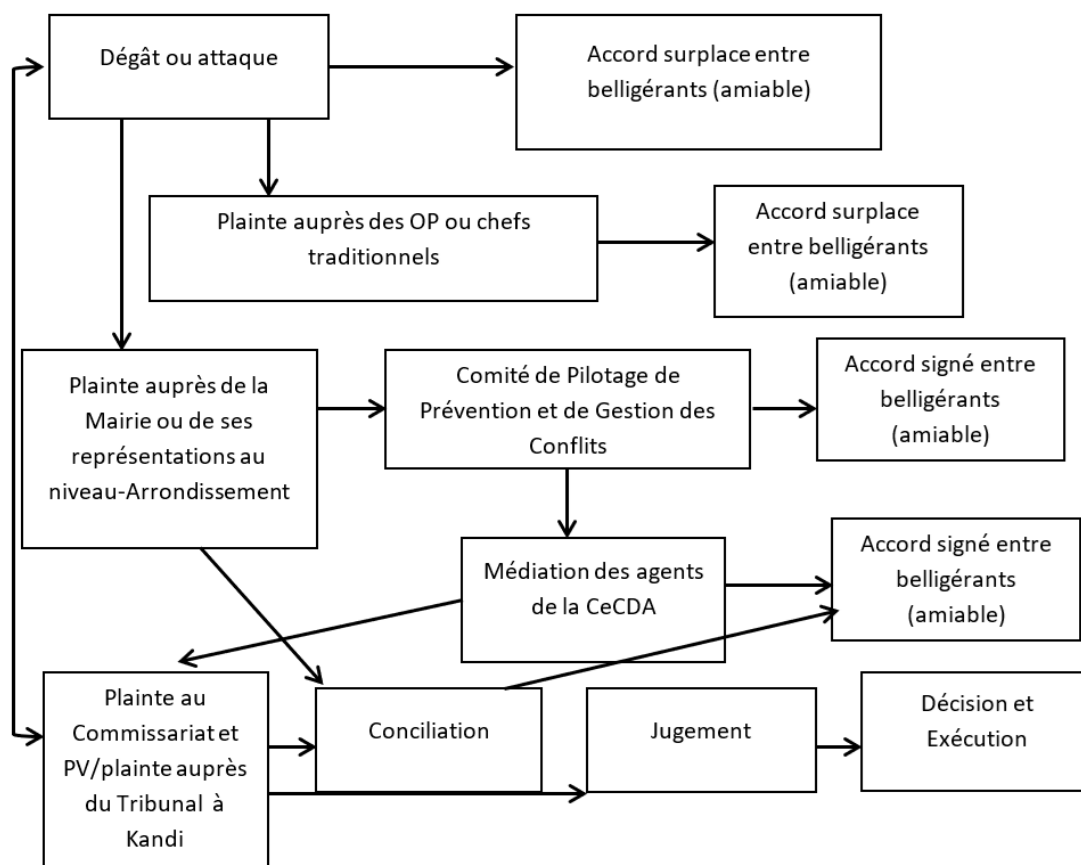


Fig. 4. Mécanisme de résolution des conflits liés à la mobilité pastorale

Source: Conception personnelle, 2021

L'analyse de la figure 4 ci-dessus, présente le mécanisme en place de gestion des conflits en lien avec la mobilité pastorale. On y voit qu'à divers niveaux, il y a possibilité d'aboutir à un accord à l'amiable. Ainsi, du lieu de dégât jusqu'à la médiation du Comité Communal de Pilotage, de Prévention et de Gestion des Conflits (CCPPGC), tant qu'il n'y a pas de coups et blessures, les dégâts pourront être évalués et réglés. Mais quand des coups surviennent ou un des belligérants va saisir les autorités juridiques compétentes, la résolution devient par arbitrage ou bien des condamnations peuvent être prononcées et leur est aussitôt annoncées puis la décision qui en découle s'impose à tous les acteurs concernés. Le tableau 1 ci-dessous présente les acteurs impliqués dans la prévention et la résolution des conflits.

3.3.2 IMPACT SOCIO-ÉCONOMIQUE ET CULTUREL DES CONFLITS

Les résultats ont montré que la plupart des conflits sont résolus à l'amiable avec l'intervention des élus locaux ou des chefs traditionnels. Ce constat est d'ailleurs témoigné par le Point Focal de la Transhumance au niveau de la Mairie qui en témoignait en ses termes: « A chaque fois que nous allons intervenir dans un conflit, de façon coordonnée, nous sollicitons non seulement, les élus locaux mais aussi les chefs traditionnels dont la présence apaise les échanges ». Ainsi, des rapports socio-culturels sont mis à profit dans la gestion des conflits à bien de niveaux, depuis la sensibilisation passant par le contrôle jusqu'à la mobilisation pour la résolution des conflits. Cependant, ces mêmes rapports plutôt bienveillants, créent parfois de polémiques. Il s'agit de quand ils sont utilisés pour favoriser l'une ou l'autre des parties ou porter des sanctions légères qui aboutissent à des discordes. C'est le cas des arrangements plutôt favorables aux producteurs que dénoncent parfois les éleveurs ou des actes de corruption des élus ou des chefs par les éleveurs, dénoncés par les agriculteurs. Par ailleurs, les mécanismes de gestion des conflits agropastoraux détériorent parfois les relations et provoquent des répercussions sur la vie socio-culturelle. Il s'agit des cas où, de vieilles querelles notamment les résolutions jugées partielles par une communauté (les éleveurs le plus souvent) sont utilisées par des belligérants qui prennent des positions campées. Ces cas de gestion finissent devant les instances juridiques compétentes et la délibération bien qu'acceptée, sème de nouveaux gènes de querelles inavouées qui peuvent se dissiper progressivement ou ressurgir. Les résultats révèlent que ces cas extrêmes sont rares et qu'il y a plus de points positifs dans l'usage des rapports socio-culturels dans la gestion des conflits. Nous avons également constaté quelques aspects socio-culturels déterminants évidents dans les mécanismes de gestion. Par exemple, selon les interviewés, l'appartenance à une même ethnie facilite considérablement la résolution des conflits. Ainsi les conflits impliquant agriculteurs et/ou éleveurs de la même ethnie (Bariba par exemple qui sont majoritaires) ont généralement des dénouements plus apaisés. Ce n'est souvent pas le cas dans la plus grande

majorité car l'évidence est que le pastoralisme est quasiment un attribut socio-culturel des Peuhls et les conflits y afférents les opposent généralement aux producteurs autochtones (Bariba).

Tableau 2. Acteurs impliqués dans la résolution ou la prévention des conflits entre agriculteurs et éleveurs dans la Commune de Banikoara

Partenaires	Rôles et appuis apportés	Nature de l'appui
Mairie	Information et formation des membres ; tracé des couloirs de passage ; délimitation des points d'abreuvement ; tracé des zones de pâturage et de transhumances ; surveillance des couloirs de passage, des points d'eau et zone de pâturage ; prise de texte et financement du comité	Technique et Financier
Cellule Communale pour le Développement Agricole (CeCDA)	Appuis conseils ; appui technique à la gestion des marchés à bétails, information et formation des membres du comité. Assistance aux règlements à l'amiable des contentieux ; assistance au tracé des couloirs de passage, des points d'eau, et zone de pâturage	Technique
Direction Départementale de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche (DDAEP)	Contrôle et appuis aux règlements à l'amiable des contentieux ; assistance au tracé des couloirs de passage, des points d'eau, et zone de pâturage.	Technique
Les agents des eaux et forêts	Appui technique à la gestion des ressources pastorales ; assistance au tracé des couloirs de passage, des points d'eau, et zone de pâturage	Technique
Organisation Professionnelle (OP) des éleveurs (UCOPER) et des producteurs (UCPC, etc.)	Identification des couloirs de passage ; identification des points d'abreuvement ; identification des aires de pâturage ; appui financier et identification des zones de transhumances.	Technique et Financier
SNV (ONG Néerlandaise), Prosol (GIZ) et autres ONG et projets	Information et formation des acteurs ; appui à la construction des infrastructures (marché de bétail) ; appui au tracé des couloirs de passage, des points d'eau et zone de pâturage.	Technique et Financier
Coopération Suisse	Appui à la construction des infrastructures ; appui au tracé des couloirs de passage, des points d'eau et zone de pâturage.	Technique et Financier
Police Républicaine de Banikoara	Intervient pour cas de blessure et coups volontaires ; mort d'hommes ; blessure et mort d'animaux ; dévastation des cultures, greniers etc., et fermeture de couloirs.	Arbitrage Coordonne la procédure au Tribunal
Tribunal de 1 ^{ère} Instance de Kandi	Intervient pour cas de blessure et coups volontaires ; mort d'hommes ; blessure et mort d'animaux ; dévastation des cultures, greniers etc., et fermeture de couloirs.	Arbitrage

Source: CCPPGC Banikoara, 2021

Les résultats ont aussi révélé que les conflits entraînent parfois des dégâts sur les cultures, donc un manque à gagner net voire une compromission totale des revenus liés au champ concerné. Pour l'éleveur, des coups et blessures sur les animaux engendrent une perte de valeur voire la mort d'un animal ou des animaux. Dans l'un et/ou l'autre des cas, les dégâts sont chiffrés et imputés au fautif. Sans avoir des chiffres précis, les données revues sur la récurrence et la nature des conflits laissent entrevoir des manques à gagner économiques tant au niveau des ménages, qu'au niveau de l'économie locale entière. Ensuite viennent les considérations de manques à gagner lorsque les conflits virent aux extrêmes avec de sérieuses victimes humaines (blessés et morts) qui débouchent sur des procès interminables avec des impacts économiques très déplorables pour les parties engagées et par ricochet pour l'économie locale. Nous retenons en fin de compte que les conflits liés à la mobilité pastorale entraînent des pertes de revenus conséquents aux parties engagées, ce qui détériore les conditions de vie servant de réceptacle pour la pauvreté, mettant à mal toute l'économie de leur milieu. Dans la Commune de Banikoara, les résultats révèlent que la situation économique influe moins sur les mécanismes de gestion mais que par contre les modes de gestion influent plus sur la situation économique. Ainsi, la gestion à l'amiable est donc beaucoup plus profitable économiquement pour les deux parties que les gestions par arbitrage, notamment au niveau du Tribunal ont révélé les résultats d'enquête.

Il ressort aussi des entretiens que les conflits entre éleveurs et producteurs ont un beaucoup diminué depuis l'installation des commissions de transhumance dans les communes et la mise en place du Haut-Commissariat pour la Sédentarisation au niveau national. Cette dernière, passant de commune en commune pour sensibiliser les parties impliquées. Il y a aussi l'instauration des couloirs de passage des animaux qui y a considérablement contribué. Cette tendance a été confirmée par les témoignages des agents du commissariat de l'arrondissement de Banikoara qui nous ont confié avoir enregistré moins de cas de conflits passant à moins de 5 en 2022.

3.4 ETATS DES LIEUX DES INFRASTRUCTURES ET RESSOURCES AGROPASTORALES DANS LA COMMUNE DE BANIKOARA

3.4.1 LES TYPES D'INFRASTRUCTURES ET RESSOURCES AGROPASTORALES RECENSEES

Plusieurs types d'infrastructures et ressources agropastorales ont été recensés dans la Commune de Banikoara. La figure 5 ci-dessous présente les différents types d'infrastructures et ressources agropastorales répertoriés lors de notre étude.

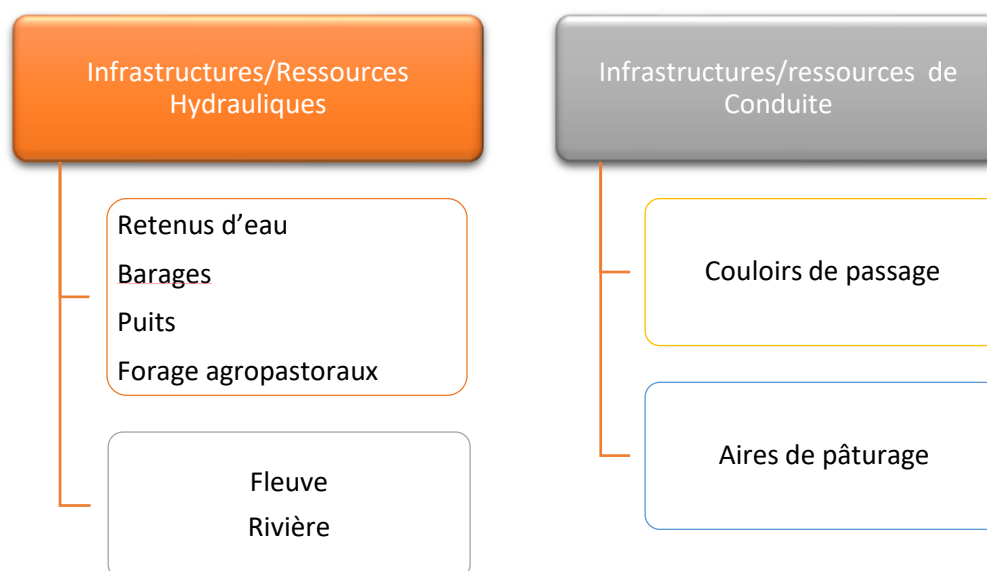


Fig. 5. Type des infrastructures agropastorales

Source: Donnée de terrain, 2023

3.4.2 RESSOURCES EN EAU D'ABREUUREMENT

Au cours de nos travaux, 21 retenues d'eau ont été identifiées dans la commune. Ces points d'eau aménagés pour l'abreuvement de bétail ne fonctionnent plus tous en plein régime. A des endroits on assiste au comblement des retenues d'eau occasionné par une activité intense de briqueterie (Goumori et Ounet) ou que, ce sont les périmètres maraîchers installés sur les berges de la retenue d'eau qui accélèrent sa dégradation.

3.4.3 PARCELLE FOURRAGERE, AIRE D'ABATTAGE ET BOUCHERIE

Avec l'appui du Projet de la réhabilitation de la fertilité des Sols (Prosol), la Commune de Banikoara a mis en place une parcelle fourragère au Lycée Technique Agricole et d'autres au niveau de 35 villages. Elles sont constituées de Muccuna et de Poids d'Angole. L'UCOPER a également développé des parcelles fourragères faites de Panicum. L'appui d'un autre partenaire a permis de réaliser 03 banques fourragères à raison d'un hectare. Par ailleurs, chacune des dix arrondissements que compte la commune dispose d'une boucherie. Signalons que seul l'arrondissement de Banikoara dispose d'une aire d'abattage.

3.4.4 AIRES DE PATURAGE ET COULOIRS DE PASSAGE

Les résultats ont montré que la Commune a développé une stratégie qui a permis d'effectuer le balisage des aires de pâturage et des couloirs de passage. Ces couloirs de passage sont des corridors officiellement définis qui visent à canaliser les déplacements des troupeaux dans les zones agropastorales de Banikoara, en reliant les pâturages, les points d'eau et les zones de pacage, que ce soit dans les zones des villages (couloirs internes) ou sur des terres d'accès ouvert (couloirs externes). En outre, ces couloirs sont bien balisés et géoréférencés pour leur meilleure gestion et un meilleur suivi, ce qui constitue une innovation importante dans la prévention et la gestion des conflits y afférents dans la Commune de Banikoara. Le choix de piste a été de nature à éviter les champs et à améliorer l'évolution de la végétation. L'utilisation des pistes balisées a entraîné une dynamique positive de la flore et de la végétation entre les périodes pré et post balisage. Les pistes balisées comprennent toutes des aires de pâturage et de stationnement ainsi que des points d'eau situés le long des couloirs. L'accès aux ressources pastorales et aux pistes de transhumance a été libre (sans modalités). L'objectif principal de ces couloirs est la prévention des conflits entre agriculteurs et éleveurs en

ce qui concerne l'utilisation des terres et des ressources en eau limitées. Au total 506 couloirs de passage et 114 aires de séchage ont été recensés et couvrant tous les arrondissements de la Commune tel que présenté dans le tableau 3 et les figures 4 et 5 ci-après.

Tableau 3. La répartition des couloirs de passage et aires de pâturage dans la Commune de Banikoara

ARRONDISSEMENTS	COULOIRS DE PASSAGE	AIRES DE PATURAGES
Banikoara	37	00
Founougo	86	14
Goumori	84	25
Gomparou	91	50
Kokey	19	08
Koiborou	24	04
Ounet	35	02
Sompérékou	63	07
Soroko	30	01
Toura	32	03
Total	506	114

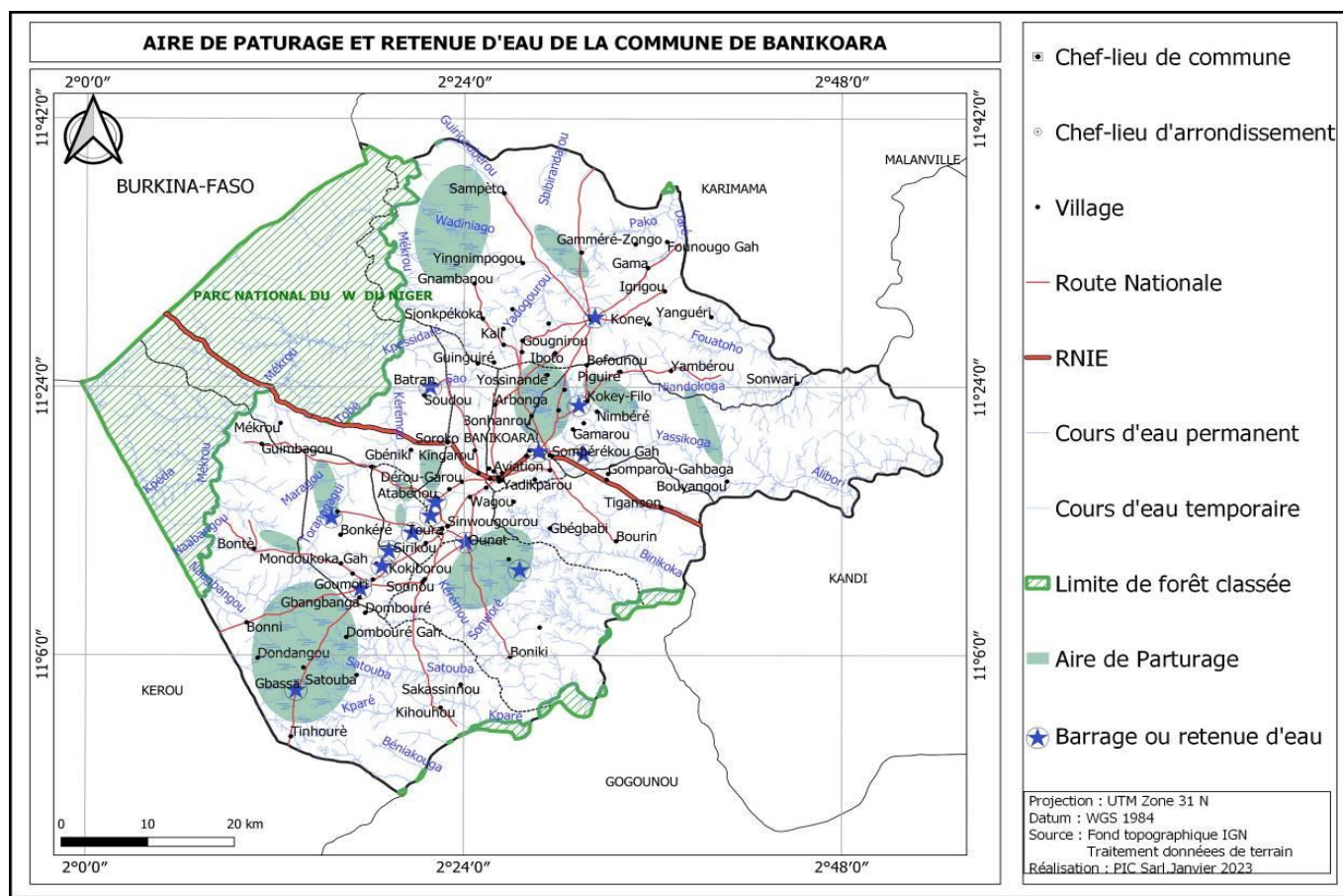


Fig. 6. Aires de pâturage et retenus d'eau de la commune de Banikoara

Source: Donnée de terrain, 2021

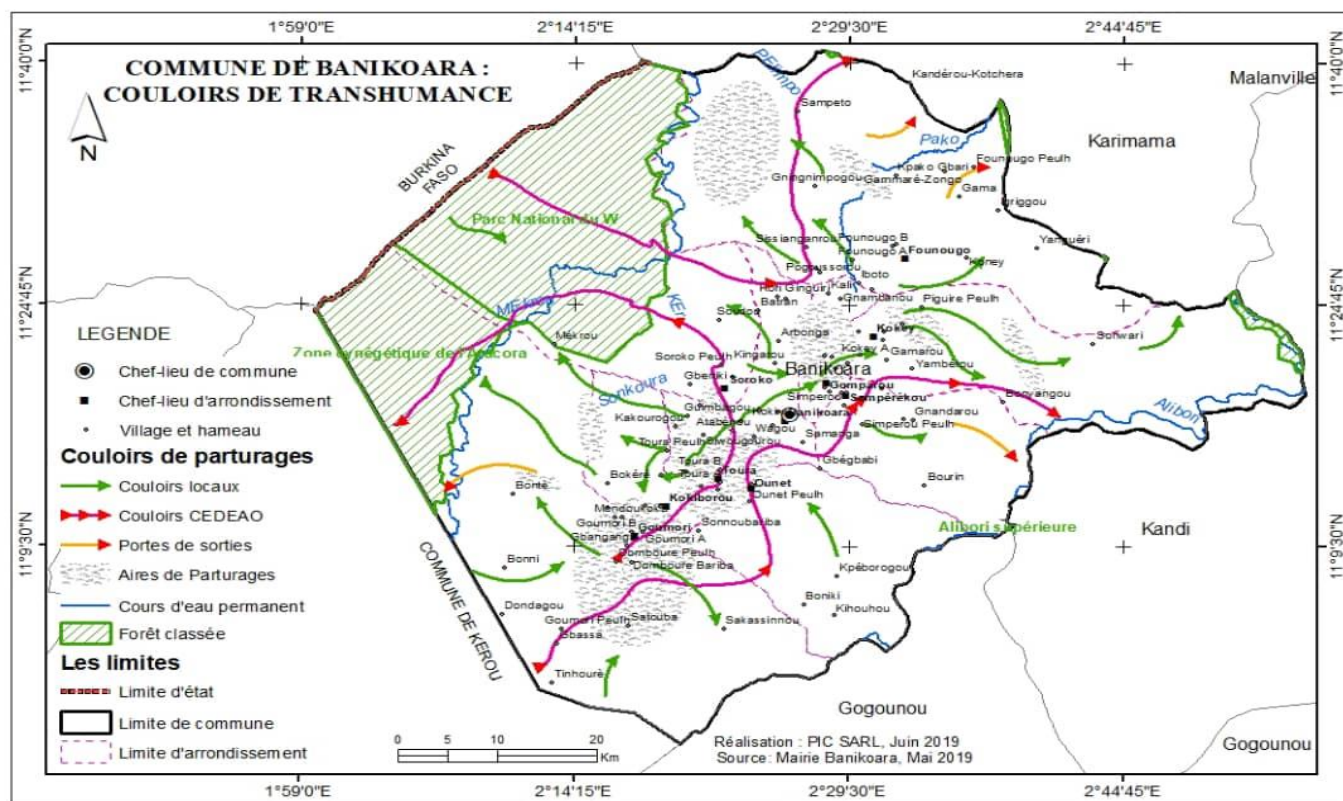


Fig. 7. Principaux Couloirs de transhumance à Banikoara

Source: Schéma Directeur d'Aménagement Communal, Banikoara 2022

3.4.5 MARCHÉS DE BÉTAIL

Pour l'écoulement des produits d'élevage, il existe dans la Commune plusieurs marchés à bétail dont les plus importants sont: le marché à bétail de Banikoara, le marché à bétail de Goumori et le marché à bétail de Founougo. Les animaux achetés sur ces marchés sont convoyés vers Parakou, le Sud-Bénin et le Nigéria. Une partie du cheptel part également de ces marchés à bétail vers ceux de Gogounou et Petit Paris qui fonctionnent comme des marchés régionaux de regroupement. Certains commerçants de bétail d'origine Burkinabè en route pour Gogounou, Parakou, le Sud-Bénin et marquent des escales sur les marchés à bétail de la Commune de Banikoara.

3.5 LES PRINCIPAUX ACTEURS ET LEURS ROLES DANS LA GOUVERNANCE DES ESPACES ET INFRASTRUCTURES AGROPASTORALES

3.5.1 LES ACTEURS IMPLIQUÉS DANS LA GOUVERNANCE

La figure 7 suivante montre que dans la Commune de Banikoara, cinq (05) principaux acteurs sont impliqués dans le fonctionnement des espaces et infrastructures agropastorales; il s'agit par ordre d'importance décroissant des élus locaux (32%), des associations professionnelles des éleveurs et producteurs (21%), des agriculteurs et éleveurs locaux (18%), des leaders d'opinions (09%) et des agents de sécurité (08%). Les autres acteurs sont représentés par les propriétaires terrains, les commerçants de bétail ou les bouchers, les femmes vendeuse, les agents des services de la justice, les agents de santé, la population etc.

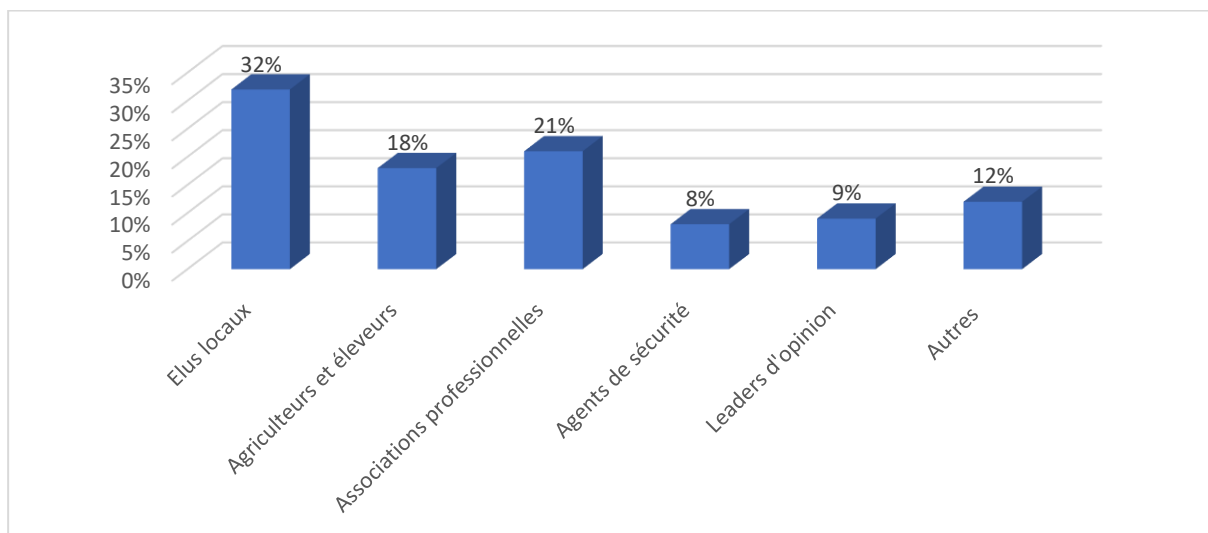


Fig. 8. Acteurs impliqués dans le fonctionnement des ressources et infrastructures agropastorales

Source: Donnée de Terrain, 2023

Il ressort de l'analyse de la figure 8 que les infrastructures et ressources agropastorales impliquent plusieurs acteurs de plusieurs niveaux, depuis la commune aux villages en passant par les arrondissements. Aux dires des enquêtés, la présence élevée des élus locaux (32%) dans les comités de gestion faciliterait les coordinations entre ces différents niveaux de gouvernance pour assurer une gestion efficace et cohérente de ces ressources. Ce nombre élevé des élus locaux au sein de ses comités de gestion s'expliquerait aussi par leurs expertises locales, leur compréhension des enjeux spécifiques liés à la gestion de ses infrastructures ont estimé les enquêtés. Leur participation aux comités de gestion permettrait de s'assurer que les décisions prises sont conformes à la voix des membres du comité. Les associations professionnelles (21%) quant à elles, encourageraient les bonnes pratiques agricoles durables qui minimisent les impacts négatifs sur les infrastructures et les ressources aménagées. Elles auraient pour rôles de travailler avec les autorités locales pour élaborer des règles appropriées concernant l'utilisation de ses infrastructures en veillant à la protection de l'environnement. Entre outre, elles seraient impliquées dans la sensibilisation des usagers aux enjeux environnementaux liés aux points d'abreuvement, aux aires de pâturage et aux couloirs de passage.

3.5.2 LES UTILISATEURS DES INFRASTRUCTURES AGROPASTORALES

On distingue cinq principaux usagers des infrastructures agropastorales dans le milieu d'étude tels que présentés sur la figure 6 ci-après.

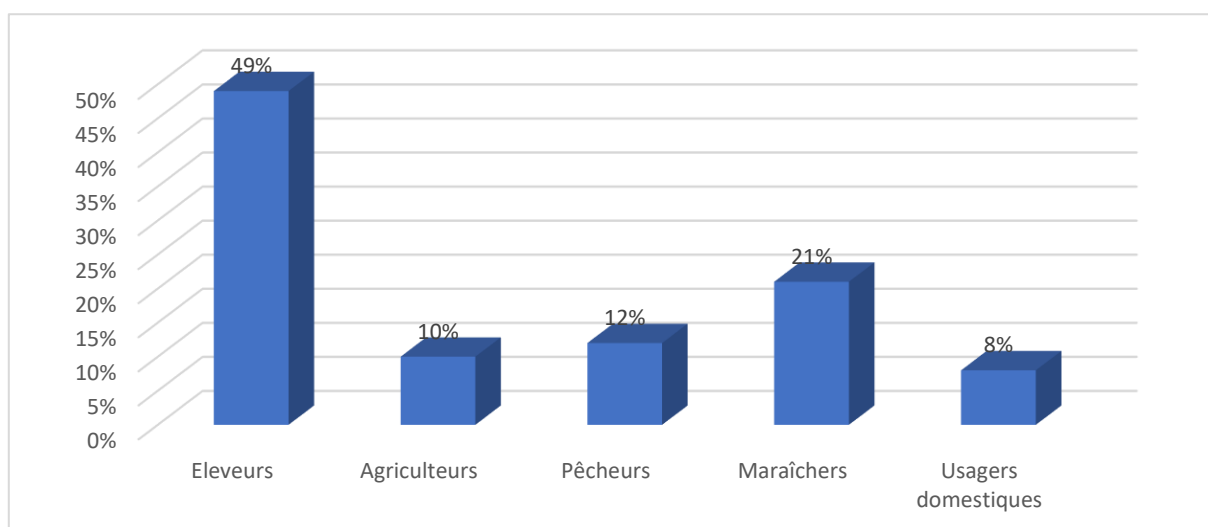


Fig. 9. Les utilisateurs d'infrastructures et ressources agropastorales dans la Commune de Banikoara

Source: Donnée de terrain, 2023

Il ressort de l'analyse de la figure 9, que les éleveurs (49%) sont les principaux utilisateurs des infrastructures et ressources agropastorales. En effet, les résultats ont montré que pour la gestion de leurs troupeaux, les éleveurs utilisent les couloirs de passage pour déplacer les animaux entre les différentes zones de l'exploitation, séparer les animaux en fonction des critères (âge, taille, santé et la destination), fournir des soins aux animaux. Ses couloirs permettent aux éleveurs de diriger les mouvements des animaux de manière ordonné, minimiser les risques de blessure lors du déplacement, économiser du temps en réduisant les efforts nécessaires pour se déplacer. Quant aux points d'abreuvement des bovins, ils permettent aux éleveurs d'abreuver leurs bétails. Ces points d'abreuvement servent de source d'eau essentielle pour répondre aux besoins en eau des animaux comme en témoigne l'un des enquêtés.

« Les points d'eau nous servent pour faire abreuver nos bœufs. Comme ils les ont aménagés, c'est mieux on connaît où ils se trouvent et on dirige nos bœufs là-bas. » Entretien avec Moussa, éleveur

Cependant, la présence des points d'abreuvements et des couloirs de passages a suscité dans de nombreux villages, l'essor spontané de production de cultures maraichères implantées sur les périphéries. Ces maraichers représentent 21% des usagers. C'est à ce que l'un des enquêtés atémoigné en ces termes:

« Comme on a l'eau qui est aménagé, maintenant là, on produit les carottes, salades, haricots verts à côté des points d'eau. On utilise l'eau là pour arroser les plantes. » Propos de Zénatou, maraîcher

L'émergence de ses cultures maraichères initialement pratiquées en saison pluvieuse, a été observé dans plusieurs villages du milieu d'étude. Cette activité est menée par les associations de femmes dans la plupart des villages. Les effets induits par l'exploitation de ses infrastructures sont de deux ordres: les retombées économiques et les transformations sociales. En effet, la vente des produits maraîchers aux dires des femmes enquêtées, génèreraient des revenus financiers qui participent à l'amélioration du niveau de vie, à leur réinsertion et à leur promotion.

Quant à la pêche (13%), elle est artisanale. En effet les outils utilisés sont des filets, et des pirogues. Elle se pratique sur des points d'eau aménagés du milieu d'étude. La pêche s'effectue dans peu de villages et aucun produit toxique n'est utilisé pour la pratique de la pêche dans la totalité du milieu d'étude. Cette activité est pratiquée essentiellement par les hommes. C'est ce que témoignent les propos ci-après:

« La rivière qui se trouve là, on va chercher les poissons dedans. Mais on ne met aucun médicament dans l'eau là. Les poissons qu'on trouvent, on donne à nos femmes pour préparer. » propos de Samba habitant à Batran, Commune de Banikoara

Par rapport aux usages domestiques (7%) des cas, les interviewés ont cité entre autres: la lessive; la vaisselle, l'eau de boisson. Cette utilisation peut se faire sur place au bord de l'infrastructure ou la population vient prélever l'eau et l'utiliser à la maison pour ses différents usages

3.5.3 LES INSTANCES DE GESTION DES COULOIRS DE PASSAGE, AIRES DE PATURAGES ET POINTS D'EAUX

Les résultats de nos travaux ont révélé qu'il existe 03 niveaux de gestion des ressources agropastorales dans la commune de Banikoara (voir figure 7). Il s'agit en premier lieu des comités de gestion à trois niveaux (communal, arrondissement et village). Chacun de ces comités est composé de plusieurs membres qui veillent à une gestion efficace des ressources agropastorales citées. Après eux, s'en suit les Cadres de Concertation de gouvernance foncière. Il existe officiellement 02 cadres de concertation de gouvernance foncière dans la Commune de Banikoara. Nous avons la Section Villageoise de Gestion Foncière (SVGF) et la Commission Communale de Gestion Foncière (CCGF). Enfin, nous avons le tribunal de conciliation qui sert de recours de résolution pacifique des conflits autour des ressources agropastorales et le Tribunal de 2^{ème} Instance de Kandi qui fait une résolution juridique des conflits agropastoraux.

3.6 MODE DE GOUVERNANCE DES COULOIRS DE PASSAGE, DES AIRES DE PATURAGE ET DES POINTS D'ABREUUREMENT

3.6.1 ANALYSE DES MODES DE GOUVERNANCE

Pour la gestion de ces infrastructures et ressources agropastorales, des comités sont installés aux niveaux village, arrondissement et de la commune; sous la supervision de la Mairie. La forme organisationnelle adoptée intègre les principaux usagers concernés à savoir les agriculteurs, les éleveurs, les femmes et les propriétaires terriens. Chaque comité de proximité est composé de huit (08) membres. Ils ont été mis en place suite à un arrêté du Maire qui définit leur mode de fonctionnement. Les comités au niveau village participent aux activités liées au fonctionnement des cours d'eaux, des aires de pâturage et couloirs de passage dans leurs localités respectives. Ils sont dirigés par les chefs de villages en synergie avec les autres membres du comité. Les autres membres du comité sont élus par les associations villageoises d'éleveurs et d'agriculteurs et au besoin des groupements de femmes. Ces comités sont chargés de l'élaboration des protocoles d'utilisation ressources et infrastructures installées ou aménagées, de l'établissement de directives de sécurité pour les agriculteurs et les éleveurs, de l'examen de leur état et de proposer des améliorations nécessaires et de leur gestion.

En ce qui concerne la gouvernance des ressources et infrastructures agropastorales, les résultats ont révélé 03 types de mode de gestion dans le milieu d'étude. Il s'agit de: la gestion communautaire, la gestion délégataire et la gestion mixte. Il ressort des résultats d'enquête, que la gestion communautaire (57%) est le mode de gestion le plus utilisé dans les comités de gestion des infrastructures suivi de la gestion délégataire (26%) et la gestion mixte (17%). La gestion communautaire est caractérisée par des conventions locales basées sur des pratiques traditionnelles

et ou les responsables coutumiers jouent un rôle prépondérant dans la garantie de leurs fonctionnements. Aux dires des enquêtés, les infrastructures et ressources gérées par ce mode communautaire sont mieux entretenues dans la plupart des villages. Les activités d'entretien sont périodiquement organisées au moins deux fois par an. L'application des règles d'usage des infrastructures et ressources est observée par la majorité des usagers et des consensus sont trouvés en cas de défaillance. Cet état de chose à plusieurs effets appréciables selon les témoignages. Aux dires des enquêtés, les ressources et infrastructures gérées par le **mode délégataire**, s'apparentent à la gestion communautaire et ces infrastructures sont aussi mieux entretenues par rapport à ceux qui bénéficient d'une gestion mixte suivant nos observations et les résultats d'enquête. Quant à la **gestion mixte**, dans ce cas les infrastructures sont gérées par une commission composée des autorités locales et les acteurs à la base. On rencontre ce type de gestion au niveau de l'infrastructure hydraulique aménagée. Ces comités se sont vus confiés les charges inhérentes à l'entretien et à la conservation des aménagements. Ils ont pour rôle la réparation, l'entretien de l'ouvrage et la réglementation de l'usage de ses infrastructures. La majorité de ces comités est gérée par les représentants des élus locaux. Cependant, la plupart des usagers enquêtés jugent inefficace la gestion faite par les comités de gestion mise en place. L'analyse du fonctionnement de ces comités révèle les problèmes tels que: l'irrégularité des réunions, la méconnaissance des statuts et donc ne sont pas respectés, l'absence de rapport de séance, le manque de formation des membres. Tous ces problèmes constitueraient un frein à la bonne gestion de ses infrastructures et ressources agropastorales selon les enquêtés.

Nos résultats ont aussi révélé que certains plusieurs autres problèmes entravent le bon fonctionnement des ressources et infrastructures et rendent difficile le travail des comités. En effet, les enquêtés ont révélé que les maraichers installent anarchiquement les champs de cultures au travers des couloirs de passage des bovins ou pour obstruer les sources et points d'abreuvement. Ce problème contribue également à l'accentuation des difficultés d'abreuvement des troupeaux de bovins déjà problématiques à cause de leurs disponibilités dans le temps et dans l'espace. Les différents usages surtout le mûchage et les abreuvements des troupeaux de grande taille entraînent aussi une pollution des eaux et l'ensablement des infrastructures dus à la surcharge animale. En outre, une autre source de pollution constitue les intrants utilisés par les agriculteurs du fait des eaux de ruissellement qui dans leurs déplacements les transportent. Cela crée également l'enrichissement de la terre qui a pour conséquence le développement des plants envahissants au niveau des ressources ou du fait du manque d'entretien des alentours immédiat et du fait que les populations se baignent et défèquent dans les alentours et même parfois juste au bord de l'eau.

3.6.2 QUELQUES ÉLÉMENTS CLÉS POUR UNE GOUVERNANCE RÉUSSIE ET DURABLE DES RESSOURCES ET INFRASTRUCTURES AGROPASTORALES

Au cours des entretiens avec les acteurs clés impliqués dans la gouvernance des ressources et infrastructures agropastorales, nous avons relevé quelques éléments importants à considérer pour une gouvernance réussie et durable de ces ressources pouvant aider à maintenir des relations harmonieuses entre les communautés locales. Il s'agit de:

La propriété et l'accès aux terres et pâturages: Il y a différentes formes de propriété foncière dans la commune de Banikoara, allant des terres communales, aux terres privées, aux terres empruntées et aux terres héritées. La gouvernance doit clarifier les droits d'accès et d'utilisation des terres de pâturage pour éviter les conflits et les disputes.

La prise en compte des règles et normes locales: Les communautés ont souvent des règles et des normes traditionnelles régissant l'utilisation des ressources agropastorales. Les comités de gestion doivent s'appuyer sur ces normes tout en prenant en compte les besoins changeants et les défis actuels.

La pleine participation des parties prenantes: Les comités de gestion doivent s'assurer d'impliquer les communautés locales, les éleveurs, les agriculteurs et les autres parties prenantes dans le processus de prise de décision pour garantir que les politiques et les pratiques de gouvernance répondent aux besoins et aux réalités locales de la Commune

Faire une planification spatiale: Une planification spatiale adéquate des couloirs de passage, des aires de pâturages et des points d'eau contribue à éviter la surexploitation et la dégradation des ressources. Cela permet également de prévenir les conflits entre les utilisateurs.

La conservation des ressources: La gestion durable des ressources agropastorales dans la commune inclut de penser des mesures de conservation pour éviter l'épuisement des pâturages et la détérioration des points d'eau. Cela pourrait impliquer des rotations de pâturage, des zones de protection, etc.

La distribution équitable: Une gouvernance efficace afin de garantir une distribution équitable des ressources entre les différents groupes d'utilisateurs, en tenant compte des besoins des éleveurs, des agriculteurs et d'autres parties prenantes est nécessaire.

Les mécanismes de résolution des conflits: Étant donné que les ressources agropastorales sont limitées et suscitent des tensions, les comités respectifs doivent établir des mécanismes efficaces de prévention et de résolution des conflits pour gérer les désaccords et les litiges (gestion pacifique/ gestion juridique).

L'inclusion des femmes et des groupes marginalisés: Assurer que les femmes et les groupes marginalisés aient également accès aux ressources et participent aux processus décisionnels est crucial pour une gouvernance équitable et durable. Ceci doit être l'un des objectifs des comités de gestion.

La coordination avec les autorités locales: Les autorités locales et les institutions gouvernementales jouent un rôle dans la gestion des ressources agropastorales. La coordination avec ces acteurs est importante pour une gouvernance efficace.

L'éducation et la sensibilisation des acteurs: Informer les communautés sur les avantages d'une gouvernance adéquate des ressources agropastorales et les sensibiliser aux pratiques durables contribue à obtenir leur coopération.

Il est important de noter que la gouvernance des ressources agropastorales est un processus complexe et dynamique, qui nécessite une approche participative, adaptative et respectueuse des réalités locales. C'est ce qu'a compris l'un des enquêtés qui a témoigné en ces termes:

« C'est tous ces paramètres qu'on essaie de prendre en compte dans la gouvernance des ressources partagées entre agriculteurs et éleveurs. Pour l'atteinte de ces objectifs, les responsabilités sont partagées et nous travaillons en synergie avec toutes les parties prenantes. » Oumarou, membre de comité à Fonougo, Commune de Banikoara

Ainsi, travailler en étroite collaboration avec les communautés et les parties prenantes de la commune de Banikoara est essentiel pour développer des solutions qui répondent aux besoins de tout en préservant les ressources pour les générations futures.

4 DISCUSSION

La dévastation des champs, l'occupation des aires de pâturage, le débordement ou le rétrécissement des champs, l'augmentation des superficies emblavées, la mise en culture des couloirs et l'obstruction des couloirs d'accès à l'eau demeurent les causes directes des conflits pastoraux évoquées par les éleveurs et agriculteurs. Ces conflits ont des impacts socio-économiques et culturels sur les concernés et sont aussi alimentés par l'appartenance ethnique et des tensions plus profondes entre agriculteurs autochtones et les éleveurs peuhls. Ces résultats sont conformes à ceux [14] qui ont mis en lumière que les conflits entre agriculteurs et éleveurs ne sont pas uniquement des affrontements économiques mais révèlent aussi des tensions plus profondes liées à la citoyenneté locale, à l'appartenance et à la légitimité. Les intrusions d'animaux d'élevage dans les champs agricoles, par exemple, sont souvent perçues comme des violations graves par les agriculteurs, exacerbant ainsi les tensions existantes. Les perceptions de légitimité et d'appartenance, comme le soulignent [15], [16], jouent un rôle crucial dans la genèse et l'intensification de ces conflits comme l'ont révélé nos résultats [5]. Dans le même sens, [10] a souligné que ces conflits communautaires liés à la concurrence entre différents groupes dont les communautés autochtones et migrantes pour l'exploitation et le contrôle des terres et des ressources naturelles surviennent lorsque les éleveurs transhumants empiètent sur les terres des agriculteurs ou lorsque les agriculteurs occupent les couloirs de passage qui conduisent aux pâturages des éleveurs. Enfin, cet auteur a conclu que la cause principale des conflits pastoraux dans le Département de Biltine a été la dévastation des champs.

En plus de la destruction des champs, les conflits peuvent être également causés par l'occupation des aires de pâturages et des aires de stationnement par les champs (extension des champs), la fermeture des couloirs de passage des animaux pour l'accès à l'eau, les accidents de la circulation (passage du couloir aux abords des routes nationales) et l'accès à la terre. Cependant, nos observations ont montré que le tracé des couloirs de passage (leur balisage et géoréférencement) ainsi que la mise en place des autres infrastructures et ressources agropastorales ont eu un effet favorable sur la réduction du nombre des conflits pastoraux. Ces résultats sont similaires à ceux de [17] qui a rapporté le même impact positif du balisage des couloirs de passage sur la réduction du nombre de conflits pastoraux au Tchad. Cette source indique avoir observé dans le département d'Aguié (Niger), une réduction de cas de conflits agropastoraux de 70 - 100 conflits avant le balisage à 10 - 50 conflits après le balisage.

La très grande majorité des enquêtés ont reconnu le rôle important des comités locaux de gestion de conflits dans la commune de Banikoara. Ceci est en accord avec les observations [3] qui précise toutefois que les comités les plus efficaces sont ceux qui ont la meilleure légitimité aux yeux des communautés. Au niveau local, la plupart des chefs de village ont préféré gérer les conflits à leur niveau (71,43%). Cette forte proportion de gestion de conflits au niveau du village indique que les parties en conflits sont quelques fois issues d'un même village et optent pour la résolution à l'amiable que de porter le problème au niveau supérieur. Au-delà du village, c'est le Commissariat qui a été l'instance de gestion de conflits la plus sollicitée. Si le conflit est mal géré, il débouche le plus souvent sur des violences et occasionne non seulement la destruction des biens mais également morts d'hommes. Cet aspect des impacts négatifs de la gestion partielle et partisane des conflits entre agriculteurs et éleveurs tels que soulignés dans nos résultats ont été aussi ressortis par [8] que le réchauffement climatique, l'accès difficile aux ressources pastorales, la mauvaise gestion des cas de conflits entre éleveurs et agriculteurs et la pression démographique constituent les facteurs aggravants les relations pacifiques entre éleveurs et agriculteurs.

Les résultats du présent travail ont permis de mettre en exergue deux types d'infrastructures et ressources agropastorales existant dans la commune de Banikoara. Il s'agit des infrastructures hydrauliques (cours et retenue d'eau) et de conduite (couloir de passage). Cependant, il a été montré que la gouvernance communautaire est d'une importance capitale dans la sécurisation des ressources communes [18]. Elle l'est davantage dans le secteur agropastoral où la co-utilisation des ressources par les agriculteurs et éleveurs constitue une source permanente de troubles sociaux [11]. Cependant, ces mêmes auteurs ont souligné à l'opposé à travers une étude sur les infrastructures et ressources agropastorales dans le département du Borgou, que la gouvernance communautaire n'a pas été révélée comme efficace pour les infrastructures hydrauliques car ne garantissant pas leur maintenance et leur entretien. A l'opposé, ils estiment que la gouvernance délégataire a été reconnue comme plus efficace [11].

Cependant, force est de constater que plusieurs problèmes entravent la pleine utilisation et la durabilité des infrastructures et ressources agropastorales dont plusieurs se retrouvent dans un état de dysfonctionnement. En effet, comme l'ont montré nos résultats, les animaux ayant directement accès à la ressource en eau, leurs déjections et leurs barbouillages dans l'eau constituent une importante source potentielle de pollution des eaux. Un autre problème auquel ces ressources et infrastructures sont confrontées est l'ensablement de ces dernières qui conduisent à leur défectuosité. Ces résultats corroborent ceux de [11] qui ont estimé que les infrastructures pastorales et agropastorales installées dans le Borgou n'ont pas induit des changements significatifs au sein des populations bénéficiaires et sont pour la plupart dans des états de dysfonctionnement.

5 CONCLUSION

Les conflits entre agriculteurs et éleveurs dans la Commune de Banikoara en général sont devenus très préoccupants ces dernières années. La plupart des conflits sont résolus au niveau local par les chefs traditionnels et au-delà du village par le Commissariat. La sensibilisation a été sollicitée comme moyen efficace de prévention des conflits. La Commune de Banikoara regorge d'un véritable potentiel en infrastructures pastorales et agropastorales. Il y a été identifié, les infrastructures de conduites (couloirs de passage et aires de pâturage); hydrauliques (retenues d'eau naturelle aménagées). La présente étude a permis de montrer que les infrastructures et ressources agropastorales ont une grande importance dans les activités d'élevage et contribuent véritablement à l'amélioration des productions animales et d'autres activités agricoles et la pêche. Cependant, il en ressort de nos résultats que la mise en place de ces infrastructures et ressources agropastorales a contribué à la réduction des conflits. Cependant, ces ressources et infrastructures sont confrontées à plusieurs problèmes qui affectent leur état de fonctionnement. Par exemple, les couloirs de passage des animaux sont obstrués par les champs de culture, les sources d'abreuvement souffrent de comblement et sont polluées par les déjections animales et l'effet des intrants chimiques agricoles drainés par les eaux d'érosion. Ces différentes ressources et infrastructures font objet de trois différents modes de gestion dont l'efficacité varie en fonction de l'ouvrage concerné. La gestion communautaire et délégataire est le mode jugé plus efficace évoqué les acteurs concernés. Enfin, outre la gestion communautaire, plusieurs éléments tels la mise en place de mécanisme de prévention et de résolution impartiale des conflits, la formation et la sensibilisation des acteurs, la prise en compte des principes d'inclusivité, la pleine participation des parties prenantes et la planification spatiale, etc. tels que ressortis dans nos résultats sont importants pour une gouvernance réussie et durables des infrastructures et ressources agropastorales.

REMERCIEMENT

Nos remerciements vont à l'endroit de l'Agence Française de Développement pour son appui financier à la réalisation de cette étude. Nous tenons à remercier aussi le Comité Technique Foncier et Développement pour son appui technique dans la réalisation de cette étude.

REFERENCES

- [1] A. K. Komi, « Des conflits violents entre des agriculteurs et des éleveurs africains: de l' (in) hospitalité de et pour ce (ux) qui dérange (nt) », *Revue de l'Institut de Sociologie*, 88p, 2018. URL: <http://journals.openedition.org/ris/624>.
- [2] H. Ibrahim, M. Mormont, P.M. Stassart, B. Yamba, « Pastoralisme et politiques développementalistes: états de lieux sur les systèmes de tenure foncière pastorale en Afrique Subsaharienne », *VertigO, la revue électronique en sciences de l'environnement*, 2018. <https://doi.org/10.4000/vertigo.20165>.
- [3] P. Sougnabé, M.O. Kossou, G. Duteurtre, La gestion du conflit entre agriculteurs et éleveurs au sud du Tchad: succès et limites des comités locaux. In *Élevage et gestion de parcours au Sahel, implications pour le développement*. Atelier Niamey du 2 au 6 octobre, p. 225-234. 2000.
- [4] S. Krätli, C. Toulmin, *Conflit entre agriculteurs et éleveurs en Afrique subsaharienne*, Research report. L'Institut International pour l'Environnement et le Développement (IIED), London, 2020. <http://pubs.iied.org/10208FIED>.
- [5] M. Fofana, « Dynamiques de citoyenneté locale et tensions interethniques à Allongo: Analyse des Conflits entre agriculteurs et éleveurs », *Revue Internationale du chercheur* « Volume 5: Numéro 3 » pp: 884-905, 2024.
- [6] W.A. Ahmed-Gamgum, Herdsmen and farmers conflict in Nigeria: Another dimension of insecurity. *Journal of Public Administration and Social Welfare Research*, 3 (1), 35-62, 2018.
- [7] C.M.A., B.I. Ademola-adelehin, Responses to Conflicts between Farmers and Herders in the Middle Belt of Nigeria: Mapping Past Efforts and Opportunities for Violence Prevention. *Search for common ground*, 14 p, 2018.
- [8] G. L. Djohy, B. Sounon Bouko, P. J. Dossou1, J. A. Yabi, Relations entre éleveurs et agriculteurs dans un contexte de changements climatiques dans le bassin de l'ouéme supérieur au Bénin: entre coopération et conflit, *Agronomie Africaine* 33 (2): 161 – 176, 2021.
- [9] H. Ibrahim, « Etude de l'émergence des organisations pastorales et de leur rôle dans les processus de gestion partagée de la vallée de la Tarka dans les départements de Bermo et Dakoro (Centre sud du Niger) »; Thèse de Doctorat en Science; Université Liège; 291p, 2016.
- [10] I. Yarou, Des conflits de gestion des ressources naturelles à la sédentarisation des éleveurs au nord du Bénin, *Annales de l'Université de Moundou, Série A-FLASH Vol.10 (2)*, aflash-revue-mdou.org, pp 259-284, 2023.

- [11] I. M. Abdoulaye, M. Ayena, A. J. Yabi, H. Dedehouanou, G. Biaou, M. Houinato, Gouvernance locale des infrastructures pastorales et agropastorales dans le Borgou au Nord-Est du Benin: Quels modes pour une gestion durable des infrastructures ? *International Journal of Innovation and Applied Studies*, ISSN 2028-9324 Vol. 24 No. 3, pp. 1312-1323, 2018.
- [12] J.M. Essou, G.M.A. Dedehouanou, M. Avoutou, K.G. Mohamed, Modes de gestion des infrastructures agropastorales du Programme d'Appui au Secteur du Développement Rural dans les départements du Borgou-Alibori au Benin: analyse et enjeux. *International Journal of Strategic Management and Economic Studies (USMES)*, 2 (6), 2410–2444, 2023 <https://doi.org/10.5281/zenodo.10636771>.
- [13] A. D. Gnanvi, Conflits entre agriculteurs et éleveurs dans la commune de djidja: une approche analytique de situation, Publié chez les Editions Francophones Universitaires d'Afrique, pp 53-75, 2024.
- [14] C. Bouget, M. Gosselin, F. Laroche, (Changement climatique: la biodiversité forestière à la croisée des enjeux de conservation et d'atténuation. *Sciences Eaux & Territoires*, 3 (33), 84-89, 2020.
- [15] D. Bourque, Intervention communautaire et développement des communautés. *Reflets, Revue d'intervention sociale et communautaire*, 8 (1), 40-60, 2012.
- [16] E.A. Adams, A. Thill, E.D. Kuusaana, A. Mittag, Farmer–herder conflicts in subSaharan Africa: drivers, impacts, and resolution and peacebuilding strategies. *Environmental Research Letters*, 18 (12), 25-27, 2023.
- [17] M. Tellah, A.B. Béchir, C.G. Ahourdet et Y. Mopate Logtene, Impact du balisage des couloirs de transhumance sur l'occurrence des conflits liés à l'accès et à l'utilisation des ressources pastorales dans le Département de Biltine, Tchad. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 55 (2), 10120-10133, 2023.
- [18] E.Ostrom, «Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action», 1990.

Comparaison des modèles LSTM et Transformée en Ondelettes-LSTM pour la prédiction de la température dans une partie du Bassin du Congo

[Comparison of LSTM and Wavelet Transform-LSTM Models for Temperature Prediction in a part of Congo Basin]

Djes-Fresy Bilenga Moukodouma^{1,2}, Christophe Denis^{2,3}, Donald Romarick Rotimbo Mbourou¹, and Christiane Atteke Nkoulembene⁴

¹Laboratoire de Recherche Multidisciplinaire en Environnement (LARME), Université des Sciences et Techniques de Masuku (USTM), bâtiment du département de Chimie, Mbaya, route nationale 1, BP 901 Franceville, Gabon

²Unité de Modélisation Mathématique et Informatique des Systèmes Complexes (UMMISCO), Sorbonne Université, Institut de Recherche pour le Développement, 32 avenue Henri Varagnat, 93140 Bondy Cedex, France

³Institut d'Histoire et de Philosophie des Sciences et des Techniques (IHPST), Panthéon Sorbonne, 13 rue du Four, 75006 Paris, France

⁴Département de Biologie, Université des Sciences et Techniques de Masuku, Mbaya, route nationale 1, BP 901 Franceville, Gabon

Copyright © 2024 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: Currently, the Congo Basin represents the most important center in terms of biodiversity concentration, especially with the increasing deforestation observed in the Amazon. The available climate models are mostly at larger scales, and few of them focus on specific areas of the Congo Basin, such as the locality of Makokou in Gabon. A new approach is therefore needed to predict temperature changes in this particular region. Although some work focus on temperature prediction, most do not use deep learning algorithms. This contribution aims to compare the predictions of a Long Short-Term Memory (LSTM) model with those from the combination of Wavelet Transform and LSTM (WT-LSTM). The developed LSTM model includes two LSTM layers, two Dropout layers (with a rate of 50 %) and a Dense layer to output the predicted value. The WT-LSTM model shows superior results compared to the LSTM model, with a root mean square error of 0.45 °C, a mean absolute error of 0.35 °C, and a Spearman correlation coefficient of 0.97 °C. These results highlight the importance of using advanced approaches to improve climate forecasts in areas crucial for biodiversity conservation. The increased accuracy of predictions could help better anticipate and mitigate the impacts of local climate change, thereby contributing to the sustainable management of this ecologically sensitive region.

KEYWORDS: climate change, deep learning, Long Short-Term Memory model (LSTM), Wavelet Transform, temperature prediction, biodiversity, Congo Basin.

RESUME: Actuellement, le Bassin du Congo représente le centre le plus important en termes de concentration en biodiversité, surtout avec la déforestation croissante observée en Amazonie. Les modèles climatiques disponibles sont majoritairement à des échelles plus grandes et peu d'entre eux se concentrent sur des zones spécifiques du Bassin du Congo, comme la localité de Makokou au Gabon. Une nouvelle approche est donc nécessaire pour prédire les changements de température dans cette région particulière. Bien qu'il existe quelques travaux portant sur la prédiction des températures, la majorité n'utilisent pas les algorithmes d'apprentissage profond. Cette contribution vise à comparer les prédictions d'un modèle de mémoire à court et long terme (LSTM) avec celles issues de la combinaison Transformée en Ondelettes et LSTM (TO-LSTM). Le modèle LSTM développé comprend deux couches LSTM, deux couches Dropout (à un taux de 50%) et une couche Dense pour afficher la valeur prédite. Le modèle TO-LSTM présente des résultats supérieurs à ceux du modèle LSTM, avec une racine carrée d'erreur quadratique moyenne de 0,45 °C, une erreur absolue moyenne de 0,35 °C et un coefficient de corrélation de Spearman de 0,97 °C. Ces résultats soulignent l'importance d'utiliser des approches avancées pour améliorer les prévisions climatiques dans des zones cruciales pour la conservation de la biodiversité. La précision accrue des prévisions pourrait aider

à mieux anticiper et atténuer les impacts des changements climatiques locaux, contribuant ainsi à la gestion durable de cette région écologiquement sensible.

MOTS-CLEFS: changements climatiques, apprentissage profond, modèle de mémoire à court et long terme LSTM, Transformée en Ondelettes, prédiction des températures, biodiversité, Bassin du Congo.

1 INTRODUCTION

Défi majeur du 21^{ème} siècle, les changements climatiques constituent un véritable danger (Belle et al. 2016) pour la flore, la faune et le quotidien des populations du Bassin du Congo (BC) (Dellink et al. 2017; Adamo et al. 2018; Grooten and Almond 2018). En pratique, les variations climatiques inhibent la reproduction de certaines espèces floristiques (Chakanyuka 2019; Bush et al. 2020). Les animaux se déplacent de plus en plus à la recherche de points d'eau et de ressources alimentaires (Moukodouma et al. 2023). La survie des populations est menacée par des inondations fréquentes, des éboulements de terrain, et parfois même des séismes (Adamo et al. 2018; Chirwa and Adeyemi 2020; Moukodouma et al. 2023). Aux impacts précédents, s'ajoute la sécheresse des sols de plus en plus présente dans la région (Chirwa and Adeyemi 2020). N'ayant plus de terres cultivables, de nombreux habitants du Bassin du Congo meurent progressivement de faim (Chirwa and Adeyemi 2020; Toto 2023).

Les répercussions des changements climatiques au niveau de chaque espèce (végétale, animale et humaine) sont davantage visibles. Les variations de températures sont un critère clé des changements climatiques. L'intérêt de prédire l'évolution des températures provient du fait que celles-ci jouent un rôle fondamental pour tous les êtres vivants. Par exemple, certains arbres de la forêt ont besoin d'une température minimale pour déclencher leur floraison (Bush 2018; Ren et al. 2021). Le corps humain a aussi en réalité besoin d'une certaine température pour maintenir le bon fonctionnement de l'organisme (Vecellio et al. 2022; Vanos et al. 2023). Ces différentes observations montrent l'utilité de s'intéresser aux variations des températures de nos jours (Lee et al. 2023).

Dans ce sens, plusieurs modèles basés sur des approches statistiques et l'apprentissage machine sont de plus en plus utilisés pour prédire l'évolution des températures (Piccolroaz et al. 2016; Cifuentes et al. 2020). Les modèles statistiques sont couramment employés pour extraire des motifs à partir des données et pour prédire des nouvelles observations (Piccolroaz et al. 2016). Dans une étude menée à trois points distincts du fleuve Ouémé au Bénin, les prévisions de la pluviométrie, de la température moyenne et de l'évapotranspiration ont été rendues possibles grâce à un modèle ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) (Nounangnonhou and Fifatin 2016). Au cours d'une autre étude, les données d'une période future ont été prédites grâce aux données météorologiques antérieures de la province d'Aceh Besar sur l'île de Sumatra, à partir du modèle ETS (Error, Trend, Seasonal) de prévision univariée de séries temporelles (Jofipasi et al. 2018).

En plus des modèles purement statistiques, l'amélioration des performances prédictives de l'apprentissage machine a favorisé l'émergence de nombreux autres modèles (Guillaume 2019; Zameer et al. 2023). A cet effet, dans une étude, l'algorithme supports vecteurs machine (SVM) s'est avéré être meilleur dans la prédiction de la température globale terre-océan par rapport aux réseaux neuronaux artificiels utilisés (Abubakar et al. 2016). L'algorithme SVM (Support Vector Machine) a été développé par l'auteur Vapnik (Vapnik 2013) et est utilisé aussi bien pour les problèmes de classifications (la variable cible est une valeur qualitative), que de régressions (la variable cible est une variable quantitative).

Dans un autre contexte, les réseaux neuronaux artificiels (Artificial Neural Network ou ANN) ont été exploités pour la prédiction de la température horaire de l'air (Li et al. 2020; Haque et al. 2021; Gong et al. 2022). Et il ressort de ces études qu'à l'échelle régionale, les modèles d'apprentissage profond apportent des prévisions bien plus précises que celles de l'apprentissage machine (Abubakar et al. 2016).

Toutes ces méthodes présentent des résultats tout de même acceptables mais elles possèdent un inconvénient majeur. Les modèles statistiques par exemple calculent la probabilité qu'un phénomène météorologique se produise (Moazenzadeh et al. 2022). Cependant, le mécanisme et les facteurs affectant les changements de température de l'air sont très complexes et non linéaires, ce qui accroît la difficulté à saisir les changements dynamiques de températures lors de la prédiction de longues séries temporelles (Hou et al. 2022). Les réseaux neuronaux artificiels sont un outil puissant qui n'arrive pas toujours à garder en mémoire la dynamique lorsque la série temporelle est très importante (Bharadiya 2023).

Au regard de cet inconvénient majeur qui caractérise chacune des méthodes décrites précédemment, il apparaît utile de migrer vers l'approche des réseaux de neurones récurrents avec la mémoire à court et long terme (LSTM). Cette approche semble avoir fait déjà des preuves remarquables dans le traitement de longues séries temporelles (Yadav et al. 2020; Karevan and Suykens 2020; Hu et al. 2020).

Le problème lié à l'étude des variations de températures touche de nombreux pays tels que ceux du Bassin du Congo (BC), dont le Gabon fait partie. L'approche LSTM pourrait être une véritable option, utile pour prédire l'évolution des températures dans cette région. En effet, la LSTM a le mérite de mieux s'adapter aux données séquentielles (Xia et al. 2020; Kang et al. 2020). Dans une étude menée à

la station météorologique de Yinchuan (Chine), un modèle basé sur l'algorithme bidirectionnel LSTM a permis de prédire avec une erreur absolue moyenne de 1,02 °C, la température horaire de l'air (Hou et al. 2022). D'autres travaux ont mis en évidence un modèle LSTM pour prédire à la fois les niveaux de température et d'humidité dans les bâtiments (Wang et al. 2021). Une récente étude menée en Australie a révélé une p-value moyenne égale à 0,9994 pour le test de khi-2, prouvant ainsi que le modèle LSTM conçu dans ce cas a prédit avec une très grande précision la température future en Australie pour une année (Qiu 2023). En Amazonie, un réseau LSTM a été proposé pour prévoir les températures minimales, moyennes et maximales jusqu'en 2030 dans 20 grandes villes traversées par la forêt (Dominguez et al. 2023). Dans une autre étude, toujours en Amazonie, une architecture de réseau neuronal a été développée pour apprendre à détecter la déforestation de bout en bout à partir de séries temporelles d'images de radar (Karaman et al. 2023). Pour ce qui est de notre région cible, des études de climat basées sur les méthodes de l'Intelligence Artificielle (IA) sont quasi-inexistantes. Une revue fait état de certains chiffres concernant les publications avec l'IA en Afrique. A ce jour, sur 2468 articles publiés en IA en Afrique, le Cameroun a un pourcentage de représentativité de 0,85% puis on note 0,45% pour la République Démocratique du Congo (RDC), et 0,16% pour le Gabon (Ezugwu et al. 2023). Néanmoins au Maroc, une étude basée sur l'algorithme LSTM a permis de prédire le rayonnement solaire (Boutahir et al. 2022). Au Kenya, pays dont les caractéristiques sont très proches de celles de notre région d'étude, un modèle de réseau neuronal récurrent LSTM a permis avec une bonne précision de prévoir les totaux mensuels des précipitations (Beunk 2021).

Contrairement à l'Amazonie où règne un nombre important d'études sur les variations des températures, la question de la modélisation des températures demeure très peu étudiée dans la région du Bassin du Congo.

Ce travail compare deux modèles pour prédire les températures à Makokou, au Gabon. Le premier modèle utilise l'architecture LSTM seule, tandis que le second combine la Transformée en Ondelettes avec l'architecture LSTM. L'objectif est de montrer comment l'intégration de la tendance obtenue par Transformée en Ondelettes améliore la précision des prévisions de température par rapport au modèle LSTM seul.

La présente contribution s'avère nécessaire dans une région tant oubliée, mais qui demeure et pourtant le plus grand puits de carbone actuellement au monde (Atyi et al. 2022). Les gouvernants et acteurs des Conférences Des Parties (Conference Of Parties ou COP) et le Groupe Intergouvernemental des Experts sur l'étude du Climat (GIEC) souhaitent maintenir l'augmentation de la température globale mondiale à un seuil de 1,5°C (MAIDOU 2020; Beaudoin and Chaloux 2023; Torre-Schaub 2023). Cette étude pourrait ainsi aider les gouvernants du Bassin du Congo (BC) à mieux planifier leurs politiques environnementales en vue de répondre à cet objectif.

Notre contribution s'organise de la manière suivante: la section II Matériels et Méthodes présente la zone d'étude et la méthodologie suivie. La section III Résultats met en évidence l'ensemble des résultats majeurs obtenus de l'étude. La section IV Discussion quant à elle permet d'étayer les différents résultats à la lumière des références bibliographiques. La section V est la conclusion qui nous permet de faire un bilan de l'étude puis d'énoncer les travaux futurs qui peuvent être menés pour enrichir davantage l'actuel travail.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 ZONE D'ÉTUDE

L'étude se déroule dans la localité de Makokou, chef-lieu de la province de l'Ogooué Ivindo au nord-est du Gabon (Figure 1). Le Gabon occupe la plus grande partie de forêt du Bassin du Congo (Balada 2021). Nous retrouvons majoritairement cette forêt dans l'Ogooué Ivindo avec notamment la réserve de biosphère Ipassa-Makokou et le parc national de l'Ivindo (Roland et al. 2016). Ces deux réserves à elles seules regroupent une diversité d'espèces floristiques et fauniques (Roland et al. 2016; Laguardia et al. 2021). Parmi celles-ci, nous dénombrons environ 18 espèces de mammifères, 424 espèces d'oiseaux, 65 espèces de reptiles et 47 espèces d'amphibiens (Roland et al. 2016). A ces différentes espèces s'ajoute l'éléphant, l'ingénieur écologue de la forêt qui est présent en grand nombre dans la province de l'Ogooué Ivindo (Berzaghi et al. 2019; Laguardia et al. 2021; Kermabon 2022). A l'instar du pays, la localité de Makokou possède un climat de type équatorial caractérisé par l'alternance des saisons sèches et pluvieuses (Roland et al. 2016). La température moyenne de Makokou oscille autour de 24°C et sa pluviométrie moyenne annuelle varie entre 1600 mm et 1800 mm (Roland et al. 2016).

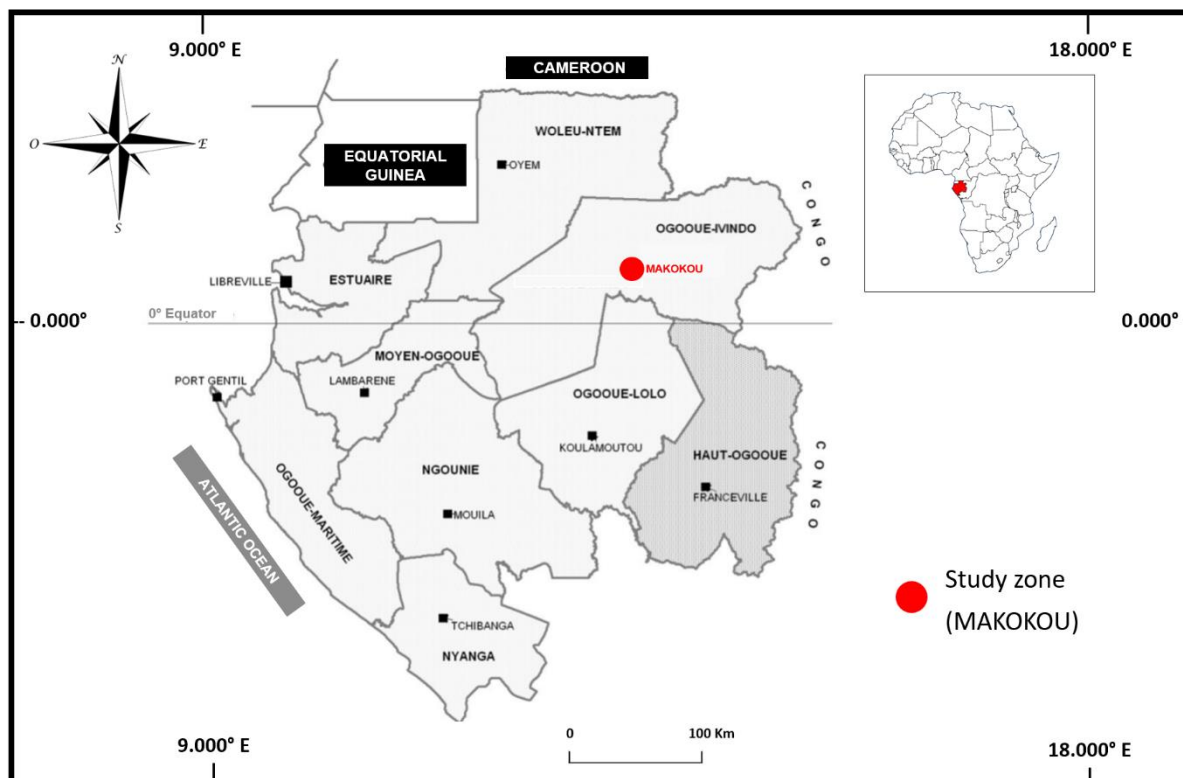


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude

Ainsi, la localité de Makokou apparaît comme une zone très riche en concentration de biodiversité. Cette importante biodiversité nécessite donc qu'on s'intéresse à cette zone, au regard des rôles multiples qu'elle pourrait avoir tant pour la survie de l'homme que pour la faune et la flore. Celle-ci pourrait également être un véritable moteur en ce qui concerne la lutte contre les changements climatiques.

2.2 DESCRIPTION DE LA BASE DE DONNEES

Les données climatiques de notre étude sont celles de la localité de Makokou sur la période 2000 - 2020. Elles ont été collectées par la National Data Climatic Center (NCDC). La NCDC est une grande base mondiale des données météorologiques (Gad and Hosahalli 2022). En ce qui concerne notre zone d'étude, seule la période 2000 - 2020 était répertoriée avec tout de même un nombre important d'observations journalières (On dénombreait environ 4695 observations).

Comme l'illustre les tableaux 1a et 1b de nombreux paramètres climatiques sont mesurés dans cette station. La base de données contient la date du jour (YEARMODA), la température moyenne (TEMP) en degrés Fahrenheit, le point de rosée moyen en degrés Fahrenheit (DEWP), la pression moyenne au niveau de la mer en millibars (SLP), la pression moyenne de la station pour la journée en millibars (STP), la visibilité en mètres (distance jusqu'à laquelle les objets peuvent être clairement vus), la température maximale en degrés Fahrenheit (MAX), la température minimale en degrés Fahrenheit (MIN), les précipitations totales en pouces (PRCP) et l'ensemble des conditions météorologiques (FRSHTT). Particulièrement dans le sigle FRSHTT, nous retrouvons Fog (Brouillard), Rain (Pluie), Snow (Neige), Hail (Grêle), Thunder (Tonnerre) et Tornado (Tornado).

Tableau 1. Caractéristiques des 5 premières lignes pour les 5 premières variables [source: NCDC]

YEARMODA	TEMP	DEWP	SLP	STP	VISIB
01/01/2000	70.5	69.2	1006.9	950.2	6.2
02/01/2000	74.1	68.7	1006.9	949.9	4.7
03/01/2000	74.6	70.6	1006.2	949.2	6.5
04/01/2000	74.8	70.7	1005.8	949.4	7.4
05/01/2000	74.2	70.8	1005.2	948.8	5

Au cours de notre étude, la base de données disponible a été subdivisée en deux parties, à savoir une partie servant pour l'entraînement des futurs modèles (ce qui correspondait à 80 % des données), et les 20 % de données restantes ont servi à l'entraînement des modèles de réseaux de neurones mis au point dans cette étude.

2.3 MÉTHODES

2.3.1 TRANSFORMÉE EN ONDELETTES DISCRÈTE (TOD)

La Transformée en Ondelettes Discrète (TOD) est une version discrétisée de la Transformée en Ondelettes Continue (TOC), où le signal est analysé à des échelles et des positions spécifiques (Alessio 2016; Guo et al. 2018). Contrairement à la TOC, la TOD ne produit pas de redondance, ce qui la rend plus efficace pour le stockage et le traitement des données (Ponni alias Sathya and Ramakrishnan 2020; Chen et al. 2021).

Dans notre étude, nous avons opté pour les ondelettes Symlets d'ordre 4 (Sym4). En effet, contrairement aux ondelettes de Daubechies qui présentent un support non symétrique, les Symlets sont d'abord presque symétriques. Cette symétrie rend ces ondelettes plus adaptées à certaines applications telles que le traitement d'images et le débruitage où les effets de bords sont moins tolérables (Shahbazzabar et al. 2018; Isabona and Kehinde 2019; Arfaoui et al. 2021). Ensuite, les Symlets, tout comme les Daubechies, sont des ondelettes orthogonales (Guo et al. 2022; Daud and Sudirman 2022). Cette propriété permet une décomposition et une reconstruction sans perte d'information, ce qui est essentiel pour de nombreuses applications de traitement de signal (Kumar and Satyanarayana 2022). Enfin, les Symlets sont efficaces pour lisser un signal, c'est-à-dire pour éliminer les petites irrégularités tout en conservant les grandes tendances (Gossler et al. 2023).

Avant de passer les données de températures au modèle de réseau de neurones LSTM, nous avons appliqué une Transformée en Ondelettes Discrète sur la série temporelle de température moyenne de la localité de Makokou. Ensuite, nous avons extrait la dernière composante dans la décomposition en ondelettes. Cette dernière composante est la tendance, généralement observée dans les basses fréquences. La tendance extraite du signal a été sauvegardée dans la base de données pour être utile pour le développement des modèles.

2.3.2 DÉVELOPPEMENT DES MODÈLES DE RÉSEAUX DE NEURONES

2.3.2.1 LONG SHORT-TERM MEMORY MODEL

La mémoire à long et court terme est un type de réseau de neurones récurrent, conçue pour surmonter certaines limitations des réseaux de neurones récurrents traditionnels. Les limitations que posent ces traditionnels réseaux de neurones récurrents sont liées à l'apprentissage de dépendances à long terme dans les séquences de données. La LSTM a en effet le mérite de mieux s'adapter aux données séquentielles (Xia et al. 2020; Bagastio et al. 2023).

Un réseau LSTM est constitué d'une série de cellules (ou blocs) LSTM. Chacune de ces cellules, est dotée d'une structure interne complexe qui permet de retenir, oublier ou modifier des informations en fonction de la séquence de données en entrée (Qiu 2023).

La figure 2 suivante présente l'architecture générale d'un réseau LSTM.

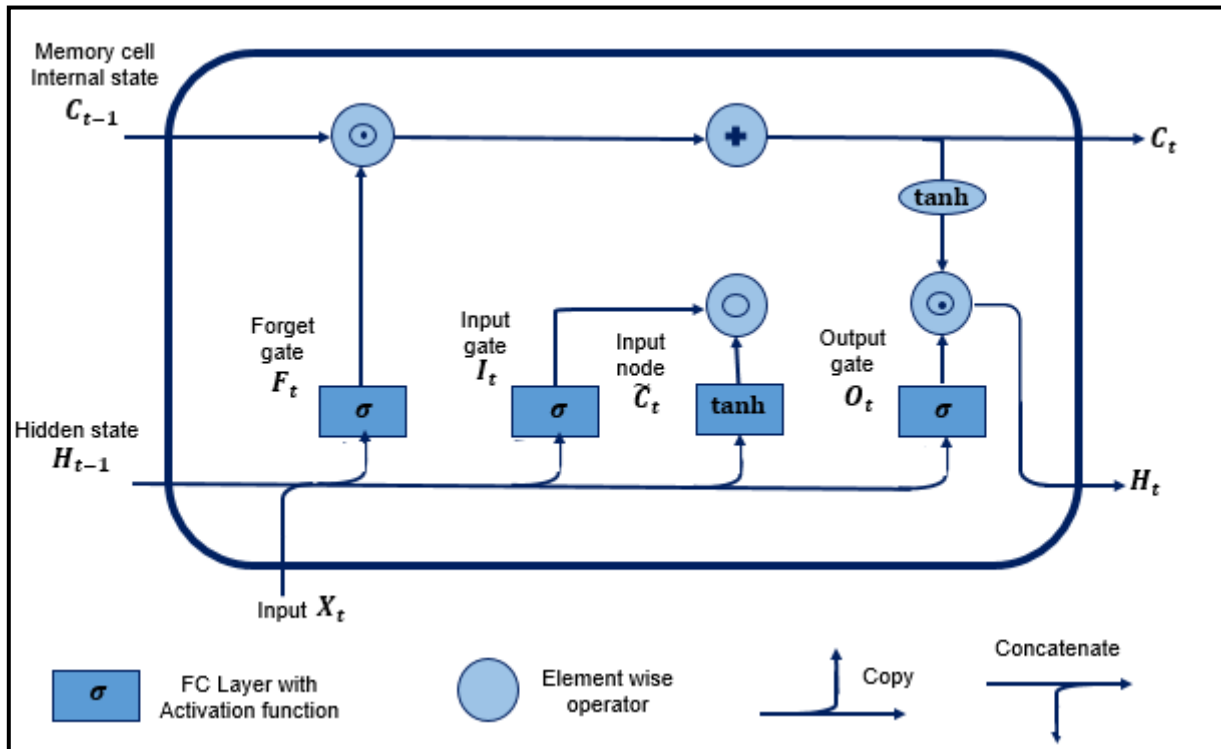


Fig. 2. Architecture of LSTM Network [source: internet]

Dans le contexte de notre étude, nous avons développé un modèle LSTM à cinq couches. Ledit modèle possédait deux couches LSTM, deux couches Dropout et une couche Dense. En pratique, les deux couches LSTM (ayant chacune 50 neurones) se comportent comme des blocs de mémoire qui peuvent mémoriser des informations à long terme. Pour éviter le surapprentissage du modèle, nous avons ajouté deux couches Dropout à un taux de 50 %, c'est-à-dire que 50 % de neurones ont été désactivés aléatoirement à chaque itération dans le modèle LSTM développé. Cette technique de régularisation avait pour but d'éviter que le réseau devienne trop dépendant de neurones spécifiques au cours de son entraînement.

Une fois le modèle construit, celui-ci a été compilé grâce à l'optimiseur Adam et la fonction de perte « Mean_Squared_Error ». La compilation est nécessaire car celle-ci configure le modèle pour l'apprentissage tout en précisant clairement comment il doit être entraîné.

Juste après la compilation du modèle, nous avons entraîné ce dernier à partir de la base de données d'entraînement (80 % des données).

Nous avons par la suite utilisé notre modèle pour réaliser des prédictions sur les données de test. Ensuite, nous avons inversé la normalisation afin de ramener les valeurs prédites à leur échelle d'origine. Enfin, nous avons comparé visuellement ces prédictions aux valeurs réelles, afin d'évaluer la correspondance entre elles.

La dernière étape de notre modélisation concerne l'interprétabilité. A ce stade, il s'agit d'évaluer la contribution de chaque variable explicative au modèle. Pour cela, nous avons utilisé les valeurs de Shapley, qui offrent une méthode cohérente et équitable pour quantifier l'impact de chaque variable explicative sur les prédictions du modèle (Denis and Varenne 2022).

2.3.2.2 CRITERES D'EVALUATION DES PERFORMANCES DES MODELES

2.3.2.2.1 MÉTRIQUES TRADITIONNELLES

Les modèles ont principalement été évalués à partir de trois métriques traditionnelles, notamment l'erreur quadratique moyenne (RMSE), l'erreur absolue moyenne (MAE), et l'erreur absolue moyenne en pourcentage (MAPE) (Boutahir et al. 2022; Ezugwu et al. 2023).

La racine carrée de l'erreur quadratique moyenne est définie par l'équation (1) ci-après:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_i - y_i)^2} \quad (1)$$

Dans cette formule, N représente le nombre d'observations, Y_i la valeur réelle et y_i la valeur prédite.

L'erreur absolue moyenne (MAE) définie à l'équation (2) est la moyenne de la valeur absolue de l'écart entre la prédiction y_i et la valeur réelle Y_i sur un échantillon de N observations

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (|Y_i - y_i|) \quad (2)$$

Partant de l'équation (2), nous pouvons affirmer que plus le MAE est petit, meilleur est le modèle au regard des données.

L'erreur absolue moyenne en pourcentage (MAPE) est un indicateur statistique utilisé pour mesurer la précision d'un modèle de prévision. Il représente l'erreur moyenne entre les valeurs réelles et les valeurs prédites, exprimée en pourcentage. Plus précisément, le MAPE calcule la moyenne des erreurs absolues en pourcentage des valeurs réelles, ce qui permet de comprendre à quel point les prédictions d'un modèle s'éloignent ou se rapprochent des valeurs observées. La formule du MAPE est la suivante:

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Y_i - y_i}{Y_i} \right| \times 100 \quad (3)$$

Où N représente le nombre d'observations, Y_i la valeur réelle et y_i la valeur prédite.

Si l'erreur absolue moyenne en pourcentage (MAPE) est faible, cela indique que le modèle est précis (les prédictions sont proches des valeurs réelles). Par contre si la MAPE est élevée, cela suggère qu'il y'a un écart considérable entre les prédictions du modèle et les valeurs réelles.

2.3.2.2.2 TEST DE RANGS SIGNÉS DE WILCOXON

Le Test de rangs signés de Wilcoxon est utilisé pour comparer les échantillons appariés comme les valeurs réelles et les prédictions d'un modèle.

L'hypothèse nulle de ce test est que les médianes des différences entre les paires sont égales à zéro. L'hypothèse alternative stipule que les médianes des différences entre les paires ne sont pas égales à zéro.

Le Test de rangs signés de Wilcoxon effectue d'abord le calcul des différences pour chaque paire de valeurs appariées. Ensuite, il attribue des rangs absolus aux différences en les classant de la plus petite à la plus grande. Par la suite, les rangs des différences sont réattribués en fonction du signe original. Juste après, le Test effectue la somme des rangs pour les différences positives et pour les différences négatives. Enfin, on utilise la somme des rangs signés pour calculer la statistique du test, qui est comparée à une distribution de référence pour déterminer la significativité.

En ce qui concerne l'interprétation, si la statistique du test est grande ou petite et que la p-value est au-dessus du seuil de significativité (0.05), on ne rejette pas l'hypothèse nulle. Par contre, si les conditions précédentes ne sont pas vérifiées, l'hypothèse nulle est rejetée.

2.3.2.2.3 COEFFICIENT DE CORRELATION DE RANGS DE SPEARMAN

Le coefficient de corrélation de rangs de Spearman est une mesure statistique qui évalue la force et la direction d'une relation monotone entre deux variables (Astivia and Zumbo 2017). Il repose sur trois principes clés à savoir la relation monotone, les rangs et sa formule (Al-Hameed and Khawla 2022).

Une relation est monotone si, à mesure que les valeurs d'une variable augmentent, celles de l'autre variable augmentent ou diminuent de manière cohérente, sans nécessairement suivre une ligne droite.

Plutôt que de comparer directement les valeurs brutes des variables, Spearman s'appuie sur les rangs. Les valeurs des variables sont d'abord classées, puis les différences entre ces rangs sont utilisées pour calculer la corrélation. Etant donné qu'il se base sur les rangs et non sur les valeurs brutes, il est moins sensible aux valeurs aberrantes.

Le coefficient de corrélation de rang de Spearman (ρ) est calculé à partir de la différence des rangs des deux variables, selon la formule donnée à l'équation (4) (Eltehiwy and Abdul-Motaal 2023)

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (4)$$

Avec d_i la différence entre les rangs de chaque paire de variables et n est le nombre de paires de données.

Si $\rho = 1$, la relation est parfaitement monotone et croissante, et si $\rho = -1$ la relation est parfaitement monotone et décroissante. Dans le cas où ρ est nulle, il n'y a aucune relation monotone entre les variables.

2.3.2.2.4 TEST DE MANN-WHITNEY U

Afin de renforcer davantage les résultats des modèles, nous avons utilisé le test de Mann-Whitney U pour comparer les résidus médians des différents modèles afin de voir s'il existe une différence significative entre leurs distributions (Vengatesan et al. 2018; Vierra et al. 2023).

L'hypothèse nulle (H_0) de ce test est qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux échantillons. Autrement dit les échantillons ont des distributions similaires. Par contre l'hypothèse alternative (H_1) stipule qu'il y'a une différence significative entre les distributions c'est-à-dire que l'un des modèles a tendance à produire des valeurs plus grandes ou plus petites que l'autre.

Le Test de Mann-Whitney U débute par le rang des données. En effet les données des deux échantillons sont d'abord combinées et ordonnées du plus petit au plus grand. Ensuite, des rangs sont assignés aux valeurs. Si deux ou plusieurs valeurs sont identiques, elles reçoivent la moyenne des rangs qu'elles occuperaient si elles étaient distinctes.

Après la détermination des rangs des données, s'ensuit le calcul des statistiques U. Pour chaque échantillon, le Test de Mann-Whitney U calcule un score U en fonction de la somme des rangs. Les formules de base sont données aux équations (5) et (6) (Wall Emerson 2023)

$$U_1 = R_1 - \frac{n_1(n_1+1)}{2} \tag{5}$$

$$U_2 = R_2 - \frac{n_2(n_2+1)}{2} \tag{6}$$

Avec R_1 et R_2 les sommes des rangs des échantillons 1 et 2 respectivement, et n_1, n_2 les tailles des échantillons 1 et 2.

La troisième étape du Test est le choix de la statistique U. En pratique le plus petit des deux U est utilisé pour interpréter le test.

Enfin, la p-value associée est calculée à partir de la statistique U pour déterminer si la différence observée entre les échantillons est significative. Si la p-value est inférieure à un seuil (souvent fixé à 0.05), on rejette l'hypothèse nulle en faveur de l'hypothèse alternative.

3 RESULTATS

3.1 EXPLORATION DES DONNÉES

L'exploration de la base de données révèle que les températures moyennes journalières dans la localité de Makokou oscillent entre 20 °C et 32 °C au cours de la période d'étude (2000-2020) (Figure 3).

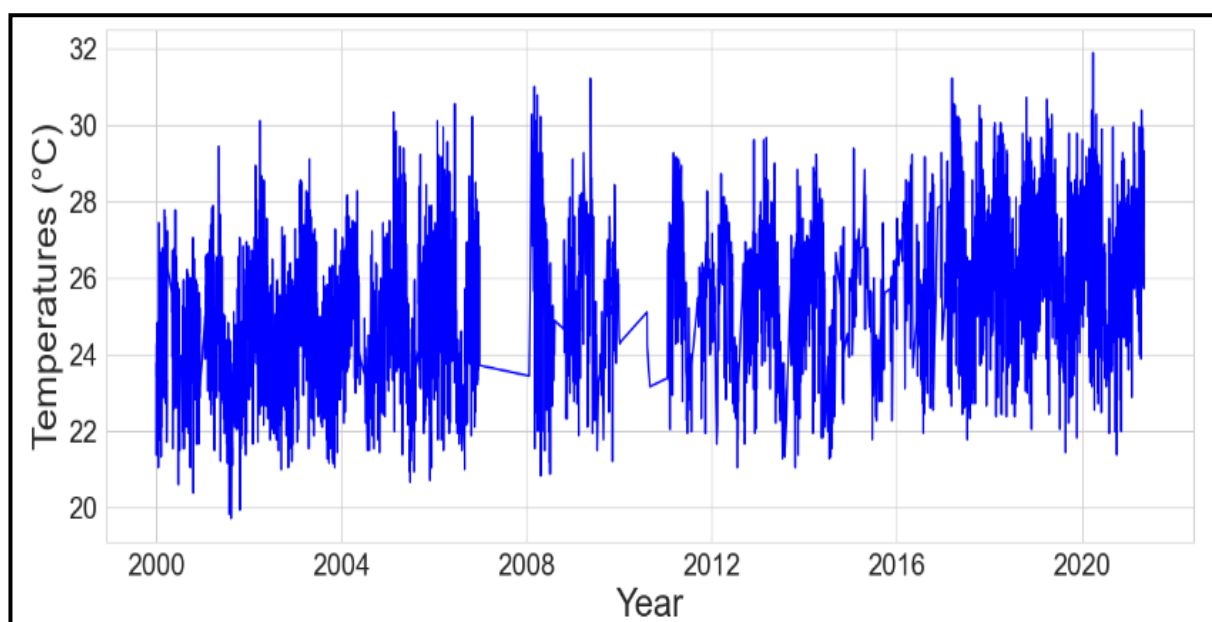


Fig. 3. Evolution of Temperature Time Serie

Comme l'illustre la figure 3, la tendance extraite après application de la Transformée en Ondelettes présente une évolution similaire aux données brutes.

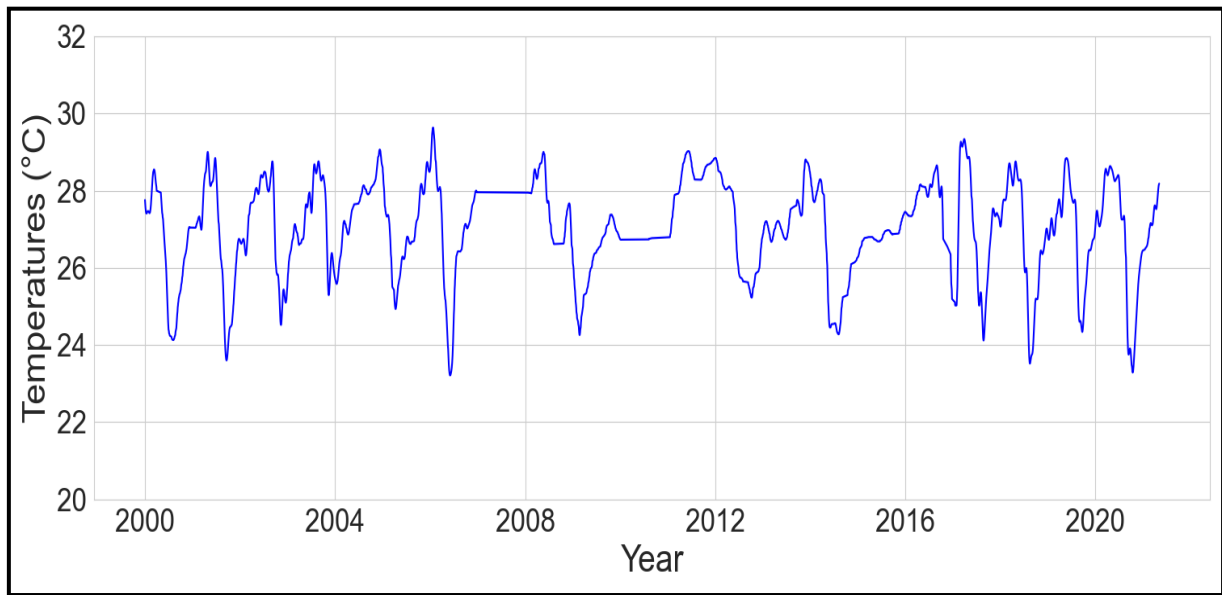


Fig. 4. Tendence des Températures

La ressemblance avec les données brutes semble indiquer que la tendance est pertinente pour la modélisation des températures dans la localité de Makokou.

3.2 MODELES DE RESEAUX DE NEURONES ET RESULTATS

3.2.1 LONG SHORT-TERM MEMORY MODEL (LSTM) AND PERFORMANCE EVALUATION.

Une fois le modèle LSTM conçu, nous l'avons entraîné (figure 5) puis testé avec les données de test (figure 6). La figure 5 ci-après montre comment évolue les pertes d'entraînement et de validation au cours de la phase d'apprentissage du modèle.

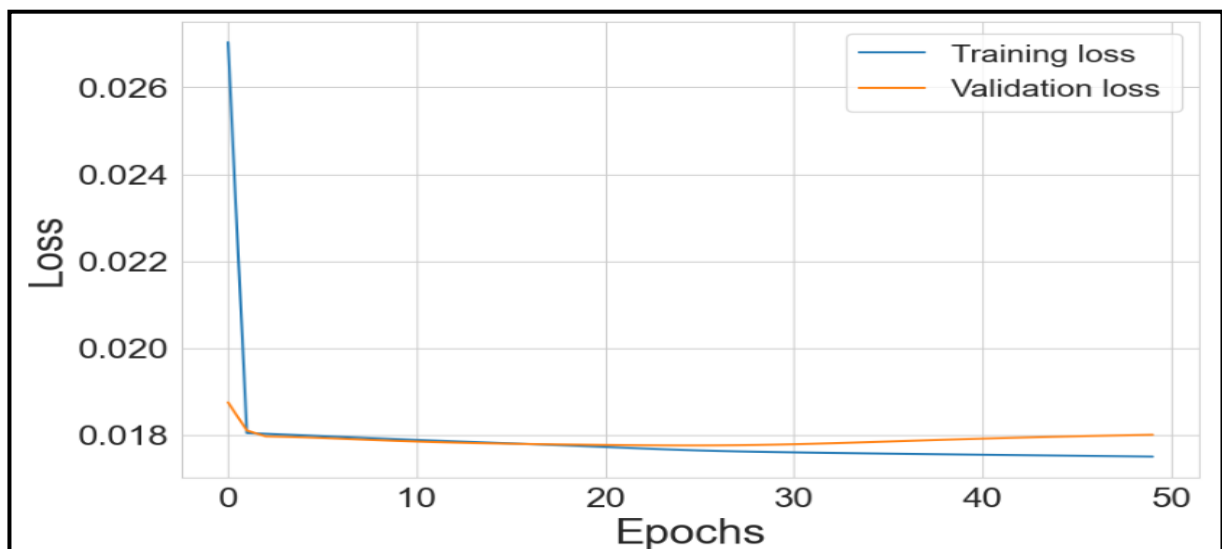


Fig. 5. Courbes de pertes d'entraînement et de validation du modèle LSTM

Les prédictions ont ensuite été faites après l'entraînement du modèle, La figure 6 met en évidence les résultats obtenus.

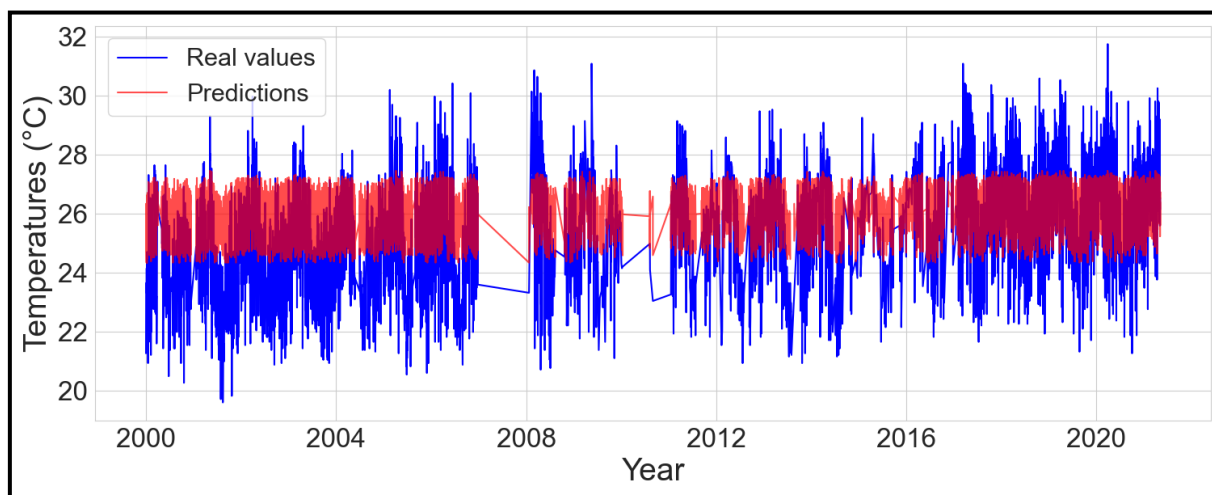


Fig. 6. Valeurs réelles et Prédictions du modèle LSTM

L'observation de la figure 6 révèle que le modèle LSTM simple c'est-à-dire celui n'ayant subi aucune transformation au préalable ne prédit pas de manière satisfaisante les températures.

Les métriques traditionnelles d'évaluation ont donné respectivement une valeur de 1.62 °C pour l'erreur quadratique moyenne, 1.30 °C pour l'erreur absolue moyenne et un pourcentage d'erreur absolu moyen de 4.89 %.

Afin d'évaluer davantage le modèle LSTM simple, nous avons effectué les tests non paramétriques de rangs signés de Wilcoxon et le coefficient de corrélation de Spearman.

Le Test de rangs signés de Wilcoxon révèle une différence significative entre les valeurs réelles et les valeurs prédites (Tableau 2).

Tableau 2. Résultats du Test de rang signés de Wilcoxon

YEARMODA	MAX	MIN	PRCP	FRSHTT
01/01/2000	75.2	68.4	0.39E	10
02/01/2000	84.9	65.5	0.03G	100000
03/01/2000	84.6	66.9	0.00G	100000
04/01/2000	84.6	67.1	0.00D	100000
05/01/2000	80.6	68.4	0.02E	100010

Le coefficient de corrélation de Spearman (Tableau 3) suggère une corrélation significative modérée entre les valeurs originales et les prédictions du modèle

Tableau 3. Résultats du Test de corrélation de Spearman

	Wilcoxon sign-rank	
	Statistic of Test Z	P-value
LSTM	137748	1.12×10^{-21}

Les hyperparamètres du réseau de neurones LSTM développé sont consignés dans le tableau 4. Les hyperparamètres sont des paramètres que nous avons choisi intuitivement avant l'entraînement du modèle, dans le but de minimiser les métriques d'évaluation.

Tableau 4. LSTM Model hyperparameters

	Spearman's rank correlation	
	Correlation coefficient ρ	P-value
LSTM	0.40	8.25×10^{-34}

3.2.2 TRANSFORMEE EN ONDELETTES (TO) ASSOCIEE À LA MEMOIRE À LONG ET COURT TERME (LONG SHORT-TERM MEMORY MODEL (LSTM))

En vue d'améliorer les performances de notre modèle LSTM, conçu précédemment, nous avons remplacé les données brutes (températures moyennes) par la tendance extraite à partir de la Transformée en Ondelettes. Ensuite, le modèle a été entraîné avec un nombre d'époques (epochs) de 50. La figure 7 décrit l'évolution des pertes d'entraînement et de validation.

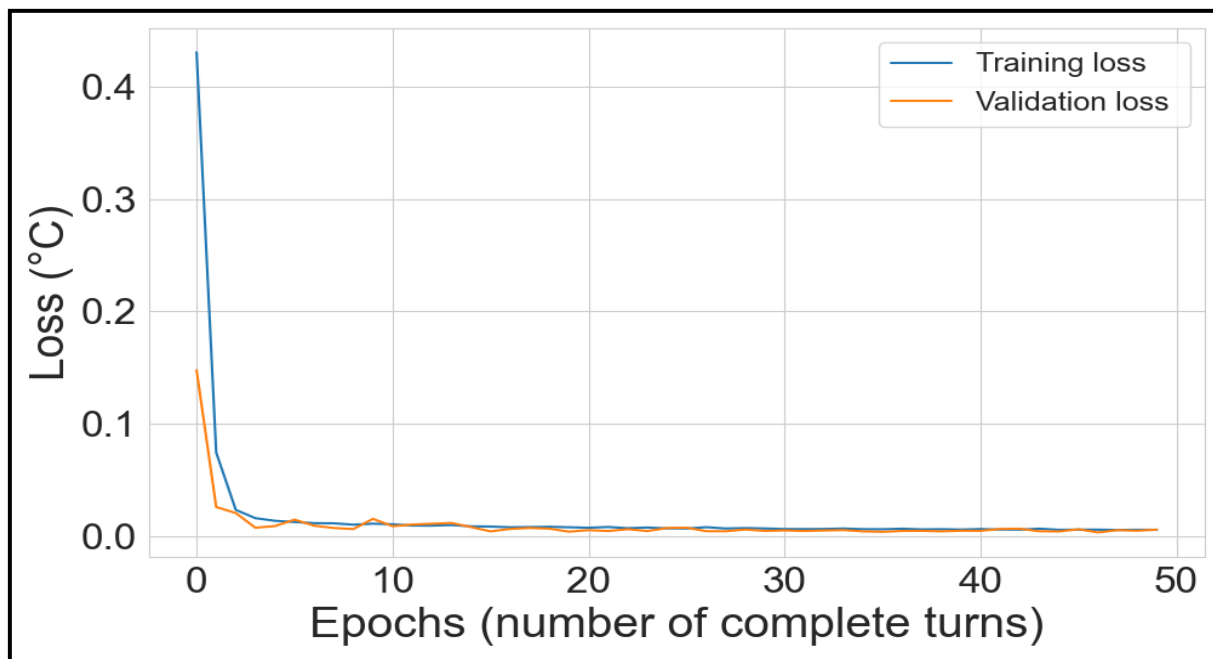


Fig. 7. Evolution des courbes de perte et de validation pendant l'entraînement

L'on semble apercevoir une superposition des courbes de perte et de validation au cours de l'entraînement (figure 7).

La figure 8 met en évidence les prédictions obtenues à partir de ce nouveau modèle LSTM. Nous constatons que cette fois ci, il y'a une correspondance presque parfaite entre les données originales et les prédictions.

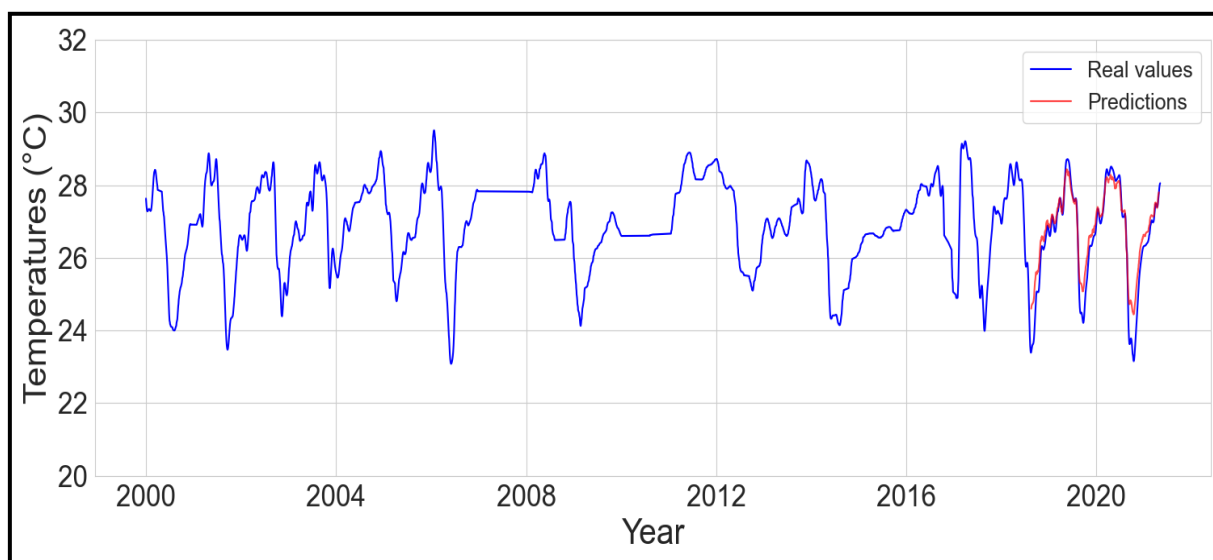


Fig. 8. Valeurs réelles et Prédictions du modèle TO-LSTM

L'erreur quadratique moyenne (RMSE), l'erreur absolue moyenne (MAE) et le pourcentage d'erreur absolue moyen (MAPE) sont respectivement de 0.45 °C, 0.35 °C et 1.35 %.

Le Test de rangs signés de Wilcoxon indique qu'il n'y a pas de différence significative entre les valeurs réelles et les valeurs prédites (Tableau 5), ce qui semble confirmer que les valeurs prédites se rapprochent des valeurs originales.

Tableau 5. Résultats du Test de rang signés de Wilcoxon

Parameters	Values
Number of Units LSTM	50
Epochs	50
Batch_size	32
Optimizer	Adam
Learning rate	0.001
Dropout rate	0.5

Le coefficient de corrélation de Spearman (Tableau 6) suggère une corrélation forte et significative entre les valeurs initiales et les prédictions du modèle.

Tableau 6. Résultats du Test de corrélation de Spearman

	Wilcoxon sign-rank	
	Statistic of Test Z	P-value
TO-LSTM	126748	0.08

Le Test de Mann-Whitney U révèle une différence significative entre les résidus des modèles LSTM simple et TO-LSTM (Tableau 7)

Tableau 7. Résultats du Test de Mann-Whitney U

	Spearman's rank correlation	
	Correlation coefficient ρ	P-value
TO-LSTM	0.97	0

Enfin, nous avons évalué les contributions de chaque variable explicative à la sortie du modèle TO-LSTM grâce aux indices de Shapley (figure 9). Il ressort de ce calcul que le point de rosée moyen (DEWP), la pression moyenne au niveau de la mer (SLP) et la pression moyenne de la station pour la journée (STP) influencent fortement la sortie du modèle.

Ceci semble révéler que ces variables jouent un rôle crucial dans les prédictions. Juste après ces trois premières variables, s'ensuivent respectivement d'autres variables à savoir la visibilité (VISIB), les températures maximale (MAX) et minimale (MIN) avec des contributions sensiblement égales (0.018). Enfin on retrouve les précipitations totales (PRCP) et la variable FRSHTT résumant les conditions météorologiques.

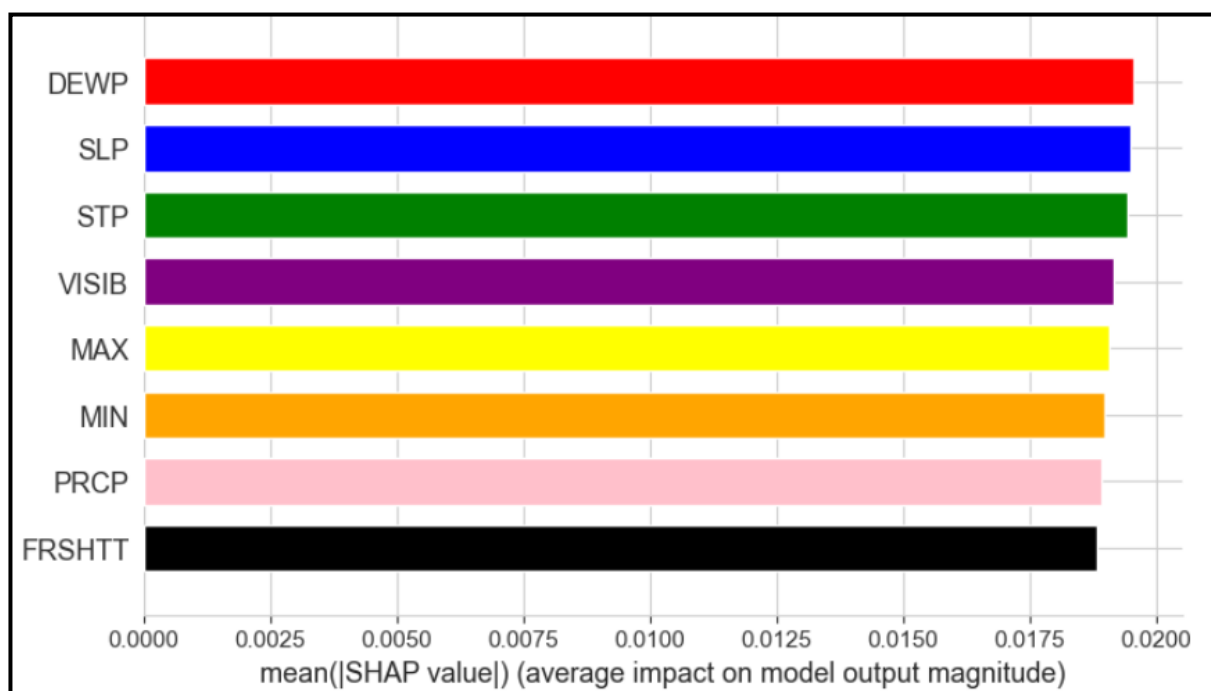


Fig. 9. Contributions des variables explicatives au modèle TO-LSTM

4 DISCUSSION

Dès la 10^{ème} époque lors de la phase d'entraînement de notre modèle LSTM simple, une convergence du modèle semble apparaître. Cependant, pour le modèle TO-LSTM, la convergence est observée plutôt (autour de la troisième époque) et est perceptible tout au long de l'entraînement avec des pertes d'entraînement et de validation qui oscillent quasiment autour de zéro. Cette convergence très rapide du modèle LSTM-TO pourrait s'expliquer par la présence des données d'entraînement assez représentatives des données et d'un choix efficace des hyperparamètres des modèles. En effet les métriques d'évaluation que sont les RMSE, MAE et MAPE valent respectivement 0.45 °C, 0.35 °C et 1.35 %. De telles valeurs pour nos indicateurs de performances suggèrent que l'écart entre les prédictions et les valeurs réelles est minime. Ces résultats semblent se rapprocher de ceux obtenus dans une étude (Park et al. 2019). Dans cette étude, un modèle LSTM a également été conçu pour prédire la température sur des courtes périodes (6, 12 et 24 heures) puis étendu à 7 et 14 jours. Ce modèle LSTM comportait 4 couches LSTM et 384 neurones (ou unités). Les RMSE obtenues dans cette étude étaient de 0.79 °C pour la prédiction de 24heures, 2.84 °C pour la prédiction de 7 jours et 3.06 °C pour la prédiction de 14 jours. De plus, nos résultats semblent se rapprocher de ceux obtenus dans une autre étude (Inik et al. 2022). Celle-ci a analysé une base de données de températures au sol de 2013 à 2021 en Turquie et un modèle LSTM a servi à prédire la température moyenne. Effectivement, au cours de cette analyse, les auteurs ont mis au point un modèle hybride LSTM-GRU capable de prédire la température moyenne du sol dans la localité de Bingöl (Turquie). Le modèle développé avait pour hyperparamètres, une vitesse d'apprentissage de 0.001, deux couches (LSTM et GRU) avec chacune 200 unités et une couche Dense pour la sortie finale du modèle. L'erreur quadratique moyenne (RMSE) obtenue était de 1.25 °C. Toutes les valeurs des métriques obtenues dans ces différentes études sont proches des nôtres. Bien que n'ayant pas travaillé sur la même base de données dans chacun des cas, cette comparaison avec ces différentes études nous est utile tout de même dans la mesure où il s'agit du même problème à résoudre mais aussi et surtout de la même stratégie LSTM utilisée. Nous montrons dans notre travail, qu'avec un faible nombre de couches (2 couches LSTM) et neurones (50), notre modèle LSTM simple obtient certes des prédictions moins satisfaisantes, mais après l'extraction de la tendance via une Transformée en Ondelettes, le modèle TO-LSTM ayant toujours le même nombre de couches LSTM et d'unités, prédit maintenant mieux les températures, avec des écarts minimes entre les valeurs réelles et les valeurs prédites.

Le test de rangs signés de Wilcoxon révèle une différence significative entre les valeurs réelles et prédites pour le modèle LSTM simple, avec notamment une p-value de 1.12×10^{-21} . Par contre dans le cas du modèle TO-LSTM, le test de rangs signés de Wilcoxon suggère qu'il n'y a pas de différence significative entre les valeurs réelles et prédites. Ces résultats montrent que le modèle LSTM simple bien qu'efficace parfois dans certaines situations, n'arrive pas ici à capturer certaines fluctuations spécifiques des séries de températures. En revanche, la p-value (0.08) supérieure au seuil de significativité (0.05) dans le second cas souligne que la combinaison Transformée en Ondelettes et LSTM est adaptée pour mieux capturer les relations complexes sous-jacentes dans les données de températures. L'intégration de la Transformée en Ondelettes dans la structure du LSTM améliore grandement les capacités de ce dernier à capturer les variations multi-échelles et les fluctuations des séries temporelles. Plusieurs études confirment l'efficacité de l'intégration de la

Transformée en Ondelettes dans les modèles prédictifs. Dans ce sens, une récente étude explore l'utilisation conjointe de la Transformée en Ondelettes et du LSTM pour la prévision des données météorologiques et montre que cette combinaison permet une amélioration significative de la précision des prédictions, en particulier pour les séries temporelles non stationnaires. L'étude a en effet montré que la prédiction de la température de la colonne de distillation était améliorée de 10 % avec le réseau LSTM, lorsque les données étaient transformées via la Transformée en Ondelettes au préalable (Kwon et al. 2022). Un autre article montre que les modèles de réseaux de neurones basés sur la Transformée en Ondelettes obtiennent de meilleures performances en matière de prédiction des séries temporelles climatiques avec une meilleure capture des variations à différentes échelles. En effet cette étude a utilisé l'association Transformée en Ondelettes et réseau LSTM pour prédire la température moyenne journalière dans la ville de Mugla (Turquie). L'étude précise qu'avec cette combinaison le modèle s'est avéré meilleur que le LSTM standard, avec notamment une erreur quadratique moyenne de $0.56\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Ghasemlounia et al. 2024).

Le coefficient de corrélation de Spearman est de 0.40 pour le modèle LSTM. Bien que cette valeur soit statistiquement significative avec une P-value de 8.25×10^{-34} inférieure à 0.05, elle indique une corrélation modérée entre les valeurs prédites et les valeurs réelles. Cette corrélation modérée suggère que le modèle LSTM simple ne capture pas suffisamment les relations complexes existantes dans les données. Cependant, pour le modèle TO-LSTM, le coefficient de corrélation de Spearman atteint une valeur impressionnante de 0.97 avec P-value nulle, indiquant une corrélation presque parfaite entre les valeurs prédites et réelles. Cela confirme que le modèle TO-LSTM est efficace pour capturer et reproduire les tendances des données réelles, offrant ainsi des prédictions précises et fiables.

Dans une étude complémentaire (Vikas Goyal et al. 2022), les auteurs ont démontré que le coefficient de corrélation de Spearman est un critère de performance pertinent pour évaluer des modèles de prévision de températures, tels que ceux utilisant les réseaux de neurones LSTM. Ils ont observé que le coefficient de Spearman s'est avéré statistiquement significatif dans tous les modèles évalués, renforçant son utilité dans la validation des performances des modèles.

De plus, le Test de Mann-Whitney U révèle une différence significative entre les résidus des modèles LSTM simple et TO-LSTM. Cette différence indique que les deux modèles ne sont pas équivalents en termes de capacité à prédire la température moyenne dans la localité de Makokou. Les résultats du Test de Mann-Whitney U, combinés au coefficient de corrélation de Spearman, suggèrent que le modèle TO-LSTM pourrait offrir une performance supérieure par rapport au modèle LSTM simple. Ces tests corroborent ainsi l'idée que le modèle TO-LSTM est non seulement plus performant en termes de précision des prédictions mais aussi plus robuste pour capturer les complexités des données. Dans une autre étude des modèles ont été développés pour prédire la température dans des centrales éoliennes (Mishra et al. 2020). La comparaison desdits modèles a montré que les modèles basés sur les Transformées en Ondelettes ou de Fourier présentent des meilleures performances, montrant ainsi la plus-value qu'apportent ces Transformées aux prédictions des modèles d'apprentissage profond.

Les valeurs de Shapley révèlent que le point de rosée moyen (DEWP), la pression moyenne au niveau de la mer (SLP) et la pression moyenne de la station pour la journée (STP) influencent fortement la sortie du modèle. En effet le point de rosée moyen est un indicateur important pour prédire la formation de brouillard, de pluie ou de neige, ce qui influence directement les prédictions des températures via des modèles météorologiques. Une étude a analysé la relation entre la température de l'air et le point de rosée moyen de rosée aux Etats-Unis (Russell 2024). L'étude démontre que le point de rosée moyen joue un rôle clé dans la prédiction des températures et précipitations, car il est étroitement lié à l'humidité de l'air. En effet, plus le point de rosée moyen est élevé, plus l'air contient de l'humidité, ce qui affecte directement les modèles météorologiques utilisés pour prédire les températures. Les auteurs concluent que la prise en compte du point de rosée moyen dans les modèles de prédictions permet d'améliorer l'exactitude des prévisions, notamment pour les événements climatiques extrêmes tels que les vagues de chaleur ou les périodes de fortes pluies.

Ensuite, les pressions moyennes au niveau de la mer et de la station influencent de manière significative les phénomènes météorologiques à grande échelle tels que les températures. En effet, la pression atmosphérique influence la température en affectant la densité de l'air et sa capacité à retenir la chaleur. Par exemple dans une zone de haute pression, l'air descend ce qui pourrait entraîner une augmentation des températures en raison de la compression adiabatique. A l'inverse, dans une zone de basse pression l'air monte ce qui peut entraîner une diminution des températures (Ning et al. 2018). Dans ce sens, une étude a montré que les modèles prédictifs d'apprentissage profond (comme les LSTM), exploitent généralement la pression au niveau de la mer pour prévoir des événements comme les tempêtes, ce qui confirme bien l'apport considérable de la pression au niveau de la mer dans la prédiction des variables climatiques (Rus et al. 2023).

Bien qu'ayant la plus faible contribution de Shapley, la variable FRSHTT résumant les conditions météorologiques Fog (Brouillard), Rain (Pluie), Snow (Neige), Hail (Grêle), Thunder (Tonnerre) et Tornado (Tornade), influence aussi la sortie du modèle. Ceci à juste titre confirme tout de même le rôle prépondérant des conditions météorologiques sur la prédiction des températures. Cela est confirmé par de récents travaux (Cifuentes et al. 2020; Azari et al. 2022) qui présentent un nombre important d'études dans lesquelles les différentes conditions météorologiques comprenant bien évidemment les précipitations totales et la température maximale influencent grandement les prédictions de température globale de la terre, régionale ou même locale.

5 CONCLUSION

L'objectif majeur de notre étude était de prédire les températures dans la localité de Makokou en exploitant une base de données de paramètres climatiques couvrant la période 2000 à 2020. Dans cette optique, deux modèles d'apprentissage profond ont été proposés: le premier basé sur une architecture LSTM classique, et le second intégrant une Transformée en Ondelettes (TO-LSTM) pour capturer les tendances et variations sous-jacentes dans les séries temporelles.

La validation des modèles s'est appuyée sur des métriques traditionnelles telles que la racine carrée de l'erreur quadratique moyenne (RMSE), l'erreur absolue moyenne (MAE) et le pourcentage d'erreur absolu moyen (MAPE). En parallèle, des tests non paramétriques, à savoir le Test de rangs signés de Wilcoxon, le coefficient de corrélation de Spearman, et le test de Mann-Whitney U, ont été employés pour renforcer les critères de validation des modèles.

Les résultats obtenus ont montré une RMSE de 0.45°C pour le modèle TO-LSTM, contre 1.62°C pour le modèle LSTM simple ou classique. Ces résultats indiquent que le modèle basé sur la Transformée en Ondelettes (TO-LSTM) capture efficacement les relations complexes dans les données météorologiques. Le test de rangs signés de Wilcoxon a révélé qu'il n'existait pas de différences significatives entre les prédictions du modèle TO-LSTM et les valeurs réelles. Cette conclusion a été renforcée par le coefficient de corrélation de Spearman, qui a atteint une valeur de 0.97 pour le modèle TO-LSTM. Cette valeur, bien supérieure à celle obtenue pour le modèle simple (0.40), souligne une forte corrélation significative entre les prédictions du modèle TO-LSTM et les valeurs réelles.

De plus, le test de Mann-Whitney U a mis en évidence une différence significative entre les résidus des deux modèles, démontrant que les deux architectures ne capturent pas de manière identique les relations sous-jacentes dans les données. Cela confirme que le modèle TO-LSTM, qui intègre la Transformée en Ondelettes est plus apte à modéliser les tendances climatiques complexes dans les séries temporelles de température.

En conclusion, cette étude démontre que l'ajout de la Transformée en Ondelettes dans une architecture LSTM permet d'améliorer considérablement la performance prédictive des réseaux de neurones récurrents, en particulier dans le contexte de la prévision des températures à long terme. Il serait intéressant, dans des études futures, d'explorer l'intégration de ce modèle avec d'autres techniques avancées d'apprentissage profond et d'appliquer cette méthode à d'autres paramètres climatiques tels que les précipitations, afin de généraliser ces résultats et d'améliorer la compréhension des dynamiques météorologiques dans diverses régions du Bassin du Congo.

DISPONIBILITÉ DU CODE

Les codes Python pour tous les scripts utilisés dans cette étude sont disponibles sur demande auprès du principal correspondant.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) pour son soutien multiforme tout au long de ces années de thèse.

CONFLITS D'INTÉRÊTS

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont aucun conflit d'intérêts.

REFERENCES

- [1] Abubakar A, Chiroma H, Zeki A, Uddin M (2016) Utilising key climate element variability for the prediction of future climate change using a support vector machine model. *International Journal of Global Warming* 9: 129–151. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2016.074952>.
- [2] Adamo N, Al-Ansari N, Sissakian VK, et al (2018) Climate Change : Consequences on Iraq's Environment. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering* 8: 43–58.
- [3] Alessio SM (2016) Discrete Wavelet Transform (DWT). In: Alessio SM (ed) *Digital Signal Processing and Spectral Analysis for Scientists: Concepts and Applications*. Springer International Publishing, Cham, pp 645–714.
- [4] Al-Hameed AA, Khawla (2022) Spearman's correlation coefficient in statistical analysis. *International Journal of Nonlinear Analysis and Applications* 13: 3249–3255. <https://doi.org/10.22075/ijnaa.2022.6079>.
- [5] Arfaoui S, Mabrouk AB, Cattani C (2021) *Wavelet Analysis: Basic Concepts and Applications*. Chapman and Hall/CRC, New York.
- [6] Astivia OLO, Zumbo BD (2017) Population models and simulation methods: The case of the Spearman rank correlation. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology* 70: 347–367. <https://doi.org/10.1111/bmsp.12085>.

- [7] Atyi R, Hiol H, Lescuyer G, et al (2022) Les Forêts du bassin du Congo : Etat des Forêts 2021. In: Centre de Recherche Forestière Internationale (CIFOR).
- [8] Azari B, Hassan K, Pierce J, Ebrahimi S (2022) Evaluation of Machine Learning Methods Application in Temperature Prediction. *CRPASE* 8: 1–12. <https://doi.org/10.52547/crpase.8.1.2747>.
- [9] Bagastio K, Oetama RS, Ramadhan A (2023) Development of stock price prediction system using Flask framework and LSTM algorithm. *Journal of Infrastructure, Policy and Development* 7: <https://doi.org/10.24294/jipd.v7i3.2631>.
- [10] Balada A (2021) Le Bassin du Congo, deuxième puits de carbone du monde entre préservation et exploitation. *Le Monde.fr*.
- [11] Beaudoin S, Chaloux A (2023) Négociations climatiques : COP 27 à la COP 28, Observatoire Multilatéralisme & Organisations internationales. <https://observatoire-multilateralisme.fr/publications/negociations-climatiques-cop-27-a-la-cop-28/>. Accessed 10 Jan 2024.
- [12] Belle EMS, Burgess ND, Misrachi M (2016) Impacts du changement climatique sur la biodiversité et les aires protégées en Afrique de l’Ouest, Résumé des résultats du projet PARCC, Aires protégées résilientes au changement climatique en Afrique de l’Ouest. Rapport UNEP-WCMC 52p.
- [13] Berzaghi F, Longo M, Ciaï P, et al (2019) Carbon stocks in central African forests enhanced by elephant disturbance. *Nat Geosci* 12: 725–729. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0395-6>.
- [14] Beunk J (2021) Seasonal Forecasting of Rainfall in Equatorial East Africa using an Artificial Neural Network. Master Thesis.
- [15] Bharadiya J (2023) Exploring the Use of Recurrent Neural Networks for Time Series Forecasting. *International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology* 8: 2023. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8002429>.
- [16] Boutahir MK, Farhaoui Y, Azrour M (2022) Machine Learning and Deep Learning Applications for Solar Radiation Predictions Review: Morocco as a Case of Study. In: Yaseen SG (ed) *Digital Economy, Business Analytics, and Big Data Analytics Applications*. Springer International Publishing, Cham, pp 55–67.
- [17] Bush ER (2018) Tropical Phenology In A Time Of Change. <https://doi.org/Phd Thesis, Stirling University>.
- [18] Bush ER, Jeffery K, Bunnefeld N, et al (2020) Rare ground data confirm significant warming and drying in western equatorial Africa. *PeerJ* 8: e8732. <https://doi.org/10.7717/peerj.8732>.
- [19] Chakanyuka TL (2019) The Conservation of African Elephants under the CITES International Ivory Trade Ban. *Kathmandu Sch L Rev (KSLR)* Vol.7, Issue 2: p.71-83.
- [20] Chen G, Li K, Liu Y (2021) Applicability of Continuous, Stationary, and Discrete Wavelet Transforms in Engineering Signal Processing. *Journal of Performance of Constructed Facilities* 35: 04021060. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001641](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001641).
- [21] Chirwa PW, Adeyemi O (2020) Deforestation in Africa: Implications on Food and Nutritional Security. In: Leal Filho W, Azul AM, Brandli L, et al. (eds) *Zero Hunger*. Springer International Publishing, Cham, pp 197–211.
- [22] Cifuentes J, Marulanda G, Bello A, Reneses J (2020) Air Temperature Forecasting Using Machine Learning Techniques: A Review. *Energies* 13: 4215. <https://doi.org/10.3390/en13164215>.
- [23] Daud SNSS, Sudirman R (2022) Wavelet Based Filters for Artifact Elimination in Electroencephalography Signal: A Review. *Ann Biomed Eng* 50: 1271–1291. <https://doi.org/10.1007/s10439-022-03053-5>.
- [24] Dellink R, Hwang H, Lanzi E, Chateau J (2017) International trade consequences of climate change. OCDE, Paris.
- [25] Denis C, Varenne F (2022) Interprétabilité et explicabilité de phénomènes prédits par de l’apprentissage machine. *Revue Ouverte d’Intelligence Artificielle* 3: 287–310. <https://doi.org/10.5802/roia.32>.
- [26] Dominguez D, Barriuso Pastor J, Pantoja-Díaz O, González-Rodríguez M (2023) Forecasting Worldwide Temperature from Amazon Rainforest Deforestation Using a Long-Short Term Memory Model. *Sustainability* 15: 15152. <https://doi.org/10.3390/su152015152>.
- [27] Eltehiwy M, Abdul-Motaal AB (2023) A new Method for Computing and Testing The significance of the Spearman Rank Correlation. *Computational Journal of Mathematical and Statistical Sciences*. <https://doi.org/10.21608/cjmss.2023.229746.1015>.
- [28] Ezugwu AE, Oyelade ON, Ikotun AM, et al (2023) Machine Learning Research Trends in Africa: A 30 Years Overview with Bibliometric Analysis Review. *Arch Computat Methods Eng* 30: 4177–4207. <https://doi.org/10.1007/s11831-023-09930-z>.
- [29] Gad I, Hosahalli D (2022) A comparative study of prediction and classification models on NCDC weather data. *International Journal of Computers and Applications* 44: 414–425. <https://doi.org/10.1080/1206212X.2020.1766769>.
- [30] Ghasemlounia R, Gharehbaghi A, Ahmadi F, Albaji M (2024) Developing a novel hybrid model based on deep neural networks and discrete wavelet transform algorithm for prediction of daily air temperature. *Air Qual Atmos Health*. <https://doi.org/10.1007/s11869-024-01595-2>.
- [31] Gong B, Langguth M, Ji Y, et al (2022) Temperature forecasting by deep learning methods. *Geoscientific Model Development* 15: 8931–8956. <https://doi.org/10.5194/gmd-15-8931-2022>.
- [32] Gossler FE, Duarte MAQ, Villarreal F (2023) Design of Nearly-Orthogonal Symmetric Wavelet Filter Banks Based on the Wavelet Orthogonalization Process. *Circuits Syst Signal Process* 42: 234–254. <https://doi.org/10.1007/s00034-022-02111-6>.
- [33] Grooten M, Almond REA (2018) Living Planet Report 2018: Summary. In: CABI Digital Library. WWF.
- [34] Guillaume S-C (2019) Apprendre Le Machine Learning en UNE semaine.
- [35] Guo T, Zhang T, Lim E, et al (2022) A Review of Wavelet Analysis and Its Applications: Challenges and Opportunities. *IEEE Access* 10: 58869–58903. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3179517>.

- [36] Guo Y, Zhao R, Zeng Y, et al (2018) Identifying scale-specific controls of soil organic matter distribution in mountain areas using anisotropy analysis and discrete wavelet transform. *CATENA* 160: 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.08.016>
- [37] Haque E, Tabassum S, Hossain E (2021) A Comparative Analysis of Deep Neural Networks for Hourly Temperature Forecasting. *IEEE Access* 9: 160646–160660. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3131533>.
- [38] Hou J, Wang Y, Zhou J, Tian Q (2022) Prediction of hourly air temperature based on CNN–LSTM. *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 13: 1962–1986. <https://doi.org/10.1080/19475705.2022.2102942>.
- [39] Hu J, Wang X, Zhang Y, et al (2020) Time Series Prediction Method Based on Variant LSTM Recurrent Neural Network. *Neural Process Lett* 52: 1485–1500. <https://doi.org/10.1007/s11063-020-10319-3>.
- [40] Inik O, Inik Ö, Öztaş T, Yuksel A (2022) Soil Temperature Prediction with Long Short Term Memory (LSTM). *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 9: 779–785. <https://doi.org/10.30910/turkjans.1101753>.
- [41] Isabona J, Kehinde R (2019) MULTI-RESOLUTION BASED DISCRETE WAVELET TRANSFORM FOR ENHANCED SIGNAL COVERAGE PROCESSING AND PREDICTION ANALYSIS. *FUDMA JOURNAL OF SCIENCES* 3: 6–15.
- [42] Jofipasi CA, Miftahuddin, Hizir (2018) Selection for the best ETS (error, trend, seasonal) model to forecast weather in the Aceh Besar District. *IOP Conf Ser: Mater Sci Eng* 352: 012055. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/352/1/012055>.
- [43] Kang H, Yang S, Huang J, Oh J (2020) Time Series Prediction of Wastewater Flow Rate by Bidirectional LSTM Deep Learning. *Int J Control Autom Syst* 18: 3023–3030. <https://doi.org/10.1007/s12555-019-0984-6>.
- [44] Karaman K, Sainte Fare Garnot V, Wegner JD (2023) DEFORESTATION DETECTION IN THE AMAZON WITH SENTINEL-1 SAR IMAGE TIME SERIES. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences X-1-W1-2023*: 835–842. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-1-W1-2023-835-2023>.
- [45] Karevan Z, Suykens JAK (2020) Transductive LSTM for time-series prediction: An application to weather forecasting. *Neural Networks* 125: 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2019.12.030>
- [46] Kermabon M (2022) Vers une atténuation des conflits hommes-éléphants : Cas de l'aire protégée de Moukalaba-doudou au Gabon. Mémoire de recherche, Université Le Mans.
- [47] Kumar BBS, Satyanarayana PS (2022) A mixture of Noise Image Denoising using Sevenlets Wavelet Techniques. *Trends in Sciences* 19: 4186–4186. <https://doi.org/10.48048/tis.2022.4186>.
- [48] Kwon H, Choi Y, Park H, et al (2022) Distillation Column Temperature Prediction Based on Machine-Learning Model Using Wavelet Transform. In: Yamashita Y, Kano M (eds) *Computer Aided Chemical Engineering*. Elsevier, pp 1651–1656.
- [49] Laguardia A, Gobush KS, Bourgeois S, et al (2021) Assessing the feasibility of density estimation methodologies for African forest elephant at large spatial scales. *Global Ecology and Conservation* 27: e01550. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01550>.
- [50] Lee H, Calvin K, Dasgupta D, et al (2023) IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report, Summary for Policymakers. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>. Accessed 19 Aug 2024.
- [51] Li C, Zhang Y, Ren X (2020) Modeling Hourly Soil Temperature Using Deep BiLSTM Neural Network. *Algorithms* 13: 173. <https://doi.org/10.3390/a13070173>.
- [52] MAIDOU HM (2020) Gouvernance forestière et REDD+: le cas du projet de renforcement des capacités institutionnelles pour les forêts du bassin du Congo. *La gouvernance forestière en Afrique centrale: Entre pratiques et politiques* 261.
- [53] Mishra S, Bordin C, Taharaguchi K, Palu I (2020) Comparison of deep learning models for multivariate prediction of time series wind power generation and temperature. *Energy Reports* 6: 273–286. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.11.009>
- [54] Moazenzadeh R, Mohammadi B, Duan Z, Delghandi M (2022) Improving generalisation capability of artificial intelligence-based solar radiation estimator models using a bio-inspired optimisation algorithm and multi-model approach. *Environ Sci Pollut Res* 29: 27719–27737. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17852-1>.
- [55] Moukodouma D-FB, Mbourou DRR, Nkoulembene CA, Denis C (2023) A temperatures variation favor human-elephant conflict in Gabon's Lékédi National Park. *IJAERS* 10: 007–026. <https://doi.org/10.22161/ijaers.108.2>.
- [56] Ning G, Wang S, Yim SHL, et al (2018) Impact of low-pressure systems on winter heavy air pollution in the northwest Sichuan Basin, China. *Atmospheric Chemistry and Physics* 18: 13601–13615. <https://doi.org/10.5194/acp-18-13601-2018>.
- [57] Nounangnonhou TC, Fifatin F-XN (2016) Modélisation et simulation des tendances climatiques à l'horizon 2040 sur le bassin du fleuve Ouémé en République du Bénin.
- [58] Park I, Kim HS, Lee J, et al (2019) Temperature Prediction Using the Missing Data Refinement Model Based on a Long Short-Term Memory Neural Network. *Atmosphere* 10: 718. <https://doi.org/10.3390/atmos10110718>.
- [59] Piccolroaz S, Calamita E, Majone B, et al (2016) Prediction of river water temperature: a comparison between a new family of hybrid models and statistical approaches. *Hydrological Processes* 30: 3901–3917. <https://doi.org/10.1002/hyp.10913>.
- [60] Ponni alias Sathya S, Ramakrishnan S (2020) Non-redundant frame identification and keyframe selection in DWT-PCA domain for authentication of video. *IET Image Processing* 14: 366–375. <https://doi.org/10.1049/iet-ipr.2019.0341>.
- [61] Qiu C (2023) A Method Using LSTM Networks to Impute Missing Temperatures in Temperature Datasets and to Predict Future Temperatures. *Highlights in Science, Engineering and Technology* 46: 116–124. <https://doi.org/10.54097/hset.v46i.7691>.

- [62] Ren P, Liu Z, Zhou X, et al (2021) Strong controls of daily minimum temperature on the autumn photosynthetic phenology of subtropical vegetation in China. *Forest Ecosystems* 8: 31. <https://doi.org/10.1186/s40663-021-00309-9>.
- [63] Roland ZKC, Ornella MN, Donald MI, et al (2016) Repartition Des Glossines Dans La Province De L'ogoooue Ivindo Ancien Foyer De Trypanosomose Humaine Africaine. *ESJ* 12: 281. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n12p281>.
- [64] Rus M, Fettich A, Kristan M, Ličer M (2023) HIDRA2: deep-learning ensemble sea level and storm tide forecasting in the presence of seiches – the case of the northern Adriatic. *Geoscientific Model Development* 16: 271–288. <https://doi.org/10.5194/gmd-16-271-2023>.
- [65] Russell K (2024) Seasonal Variation Of Dew-Point Temperatures In The United States. <https://temperatures.com/weather-and-climate/seasonal-variation-of-dew-point-temperatures-in-the-united-states/>. Accessed 16 Sep 2024.
- [66] Shahbazzabar D, Alirezaee S, Ahmadi M, Heydari R (2018) A MC-CDMA system based on orthogonal filter banks of wavelet transforms and partial combining. *AEU - International Journal of Electronics and Communications* 94: 128–138. <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2018.05.026>
- [67] Torre-Schaub M (2023) Agir sans attendre pour le climat: la clé d'un avenir viable Commentaire de la synthèse du 6e rapport du GIEC approuvé et publié le 19 mars 2023. *Énergie - Environnement - Infrastructures : actualité, pratiques et enjeux* 3.
- [68] Toto E (2023) Agroecology alliance calls for more food at less cost to nature in Congo Basin. In: *Mongabay Environmental News*. <https://news.mongabay.com/2023/08/agroecology-alliance-calls-for-more-food-at-less-cost-to-nature-in-congo-basin/>. Accessed 17 Sep 2024.
- [69] Vanos J, Guzman-Echavarría G, Baldwin JW, et al (2023) A physiological approach for assessing human survivability and liveability to heat in a changing climate. *Nat Commun* 14: 7653. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-43121-5>.
- [70] Vapnik V (2013) *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer Science & Business Media.
- [71] Vecellio DJ, Wolf ST, Cottle RM, Kenney WL (2022) Evaluating the 35°C wet-bulb temperature adaptability threshold for young, healthy subjects (PSU HEAT Project). *Journal of Applied Physiology* 132: 340–345. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00738.2021>.
- [72] Vengatesan K, Mahajan SB, Sanjeevikumar P, et al (2018) Performance Analysis of Gene Expression Data Using Mann–Whitney U Test. In: Konkani A, Bera R, Paul S (eds) *Advances in Systems, Control and Automation: ETAEERE-2016*. Springer, Singapore, pp 701–709.
- [73] Vierra A, Razzaq A, Andreadis A (2023) Chapter 27 - Continuous variable analyses: t-test, Mann–Whitney U, Wilcoxon sign rank. In: Eltorai AEM, Bakal JA, Newell PC, Osband AJ (eds) *Translational Surgery*. Academic Press, pp 165–170.
- [74] Vikas Goyal, Ayay Yadav, Rahul Mukherjee (2022) Performance Evaluation of Machine Learning and Deep Learning Models for Temperature Prediction in Poultry Farming. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9791771>. Accessed 16 Sep 2024.
- [75] Wall Emerson R (2023) Mann-Whitney U test and t-test. *Journal of Visual Impairment & Blindness* 117: 99–100. <https://doi.org/10.1177/0145482X221150592>.
- [76] Wang X, Wang X, Wang L, et al (2021) A Distributed Fusion LSTM Model to Forecast Temperature and Relative Humidity in Smart Buildings. In: *2021 IEEE 16th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*. pp 1–6.
- [77] Xia K, Huang J, Wang H (2020) LSTM-CNN Architecture for Human Activity Recognition. *IEEE Access* 8: 56855–56866. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2982225>.
- [78] Yadav A, Jha CK, Sharan A (2020) Optimizing LSTM for time series prediction in Indian stock market. *Procedia Computer Science* 167: 2091–2100. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.257>
- [79] Zameer A, Jaffar F, Shahid F, et al (2023) Short-term solar energy forecasting: Integrated computational intelligence of LSTMs and GRU. *PLOS ONE* 18: e0285410. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0285410>.

Optimisation de méthode d'évaluation de la campagne de vaccination NVPO2 (des enfants de 0 à 59 mois) Mars 2024 dans la communauté de N'djili: Une approche intégrée et itérative (Etude menée dans la communauté de la Zone de Santé de N'djili du 15 Mars au 15 Juillet 2024)

[Optimization of the evaluation method of the NVPO2 vaccination campaign (children from 0 to 59 months) March 2024 in the community of N'djili: An integrated and iterative approach (Study conducted in the community of the N'djili Health Zone from March 15 to July 15, 2024)]

Bertine Mbongompasi Ekeni¹, Eddy Makengo Sangu², Charisme Kunda Motema³, Ferdinand Mamanya Tapasa⁴, Justin Mazaba Mata⁵, and Charles Ndumbi Kapuku⁶

¹Apprenante à l'école doctorale de l'ISTM – Kinshasa et Assistante 2 à l'ISTM, Bandundu, RD Congo

²Médecin coordonnateur provincial, PEV, RD Congo

³Assistant 1 à l'ISTM, BANDUNDU, RD Congo

⁴Professeur Associé à l'UPN, RD Congo

⁵Médecin chef d'antenne Kinshasa-EST, RD Congo

⁶Chercheur et Enseignant des universités, RD Congo

Copyright © 2024 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, we propose a method for optimizing the NVPO2 campaign in the community of N'djili (D.R Congo-Kinshasa). Through an integrated and iterative approach, we analyzed the different dimensions of the influence of the campaign on public health. Our results show significant improvements in the coverage of interventions and better acceptability by the community. To this end, we recommend the adoption of this methodology for future epidemic threat assessments.

KEYWORDS: Evaluation, Campaign, Approach, Integrated, Methods, Iterative, Children from 0 to 59 months, Community, N'djili.

RESUME: Cette étude propose une méthode d'optimisation de la campagne NVPO2 dans la communauté de N'djili (R.D Congo-Kinshasa). À travers une approche intégrée et itérative, nous avons analysé les différentes dimensions de l'influence de ladite campagne sur la santé publique. Nos résultats montrent des améliorations significatives dans la couverture des interventions et une meilleure acceptabilité par la communauté. A cet effet, nous recommandons l'adoption de cette méthodologie pour les futures évaluations à de menaces épidémiques.

MOTS-CLEFS: Évaluation, Campagne, Approche, Intégrée, Méthodes, Itératives, Enfants de 0 à 59 mois, Communauté, N'djili.

1 INTRODUCTION¹

De toutes les interventions de santé, nous retiendrons que la vaccination détermine l'une des plus efficaces et des plus rentables. Elle a permis d'éradiquer la variole, alors que la poliomyélite est presque éradiquée. Au niveau mondial, la vaccination a permis de baisser de façon spectaculaire la morbidité et la mortalité dues à la diphtérie, au tétanos, à la coqueluche, à la rougeole, aux infections invasives à *Haemophilus influenzae* de type b et aux épidémies de méningites à méningocoques. L'OMS estime que la vaccination permet d'éviter de 3,5 à 5 millions de décès par année.

Selon l'ASPC (Agence de la santé publique du Canada), au cours des 50 dernières années, la vaccination a permis de sauver plus de vies au pays que toute autre intervention sanitaire.

Si l'on diminue ou cesse la vaccination, il est clairement prouvé que les maladies visées reviennent, même dans les populations ayant de bonnes conditions de vie et un bon accès aux soins médicaux.

Par ailleurs, certifiée exempte du poliovirus sauvage depuis le 25 août 2020, la région africaine est, cependant, impactée par les épidémies de poliovirus variants circulants (cVDPV) de type 1 et 2 dans plusieurs de ses pays africains dont de la République Démocratique du Congo.

La RDC a enregistré un total de 1072 cas de cVDPV dont 259 de type 1, 813 de type 2 (62 environnementaux) et 1 VDPV de type 3 depuis 2017.

S'agissant du cVDPV2, l'épidémie a débuté le 08 mai 2017 et se poursuit jusqu'à ce jour totalisant 813 poliovirus dont 751 issus de PFA et 62 cVDPV2 isolés d'échantillons environnementaux. Ces cas de cVDPV2 sont répartis de la manière ci-après: 2017 (22 PFA et 0 ENV), 2018 (20 PFA et 0 ENV), 2019 (89 PFA et 0 ENV), 2020 (84 PFA et 1 ENV), 2021 (28 PFA et 03 ENV), 2022 (383 PFA et 11 ENV), 2023 (122 PFA et 46 ENV) et 2024 (05 PFA et 01 ENV). La date du début de paralysie du dernier cas de cVDPV2 remonte au 03 avril 2024 dans la zone de santé de Yumbi, Province du Mai-Ndombe.

Du 08 mai 2017 jusqu'à ce jour, le pays a enregistré vingt-cinq (25) épidémies distinctes de cVDPV2 et des transmissions liées aux émergences des pays limitrophes notifiées dans 185 ZS distribuées dans 25 provinces. Parmi ces épidémies, quatorze (14) sont clôturées et 11 sont actives.

La campagne NVPO2 vise à améliorer la santé publique dans la communauté de N'Djili en adressant des problématiques spécifiques liées à la prévalence de certaines maladies. L'évaluation de cette campagne est essentielle pour mesurer son impact et son efficacité. Cependant, les méthodes d'évaluation traditionnelles présentent des limites. Ainsi, nous proposons une approche intégrée et itérative qui permet d'associer différents outils d'évaluation pour optimiser la compréhension des résultats et des impacts.

1.1 MÉTHODOLOGIE

Le champ d'application de notre étude, c'est la communauté de la Zone de Santé de N'djili se trouvant dans la commune de N'djili ou nous avons procédé à la récolte de données liées à notre thématique.

Pour mettre sur pied cet article, nous avons eu recours aux méthodes et techniques de recherche ci-après:

- Méthode documentaire et d'analyse de données;
- Webographie;
- Technique d'interview et visite guidée.

1.2 MATÉRIELS UTILISÉS

Nous avons utilisés les instruments tels que:

- Fiche de pointage;
- Fiche de synthèse journalière;
- Base de données de la campagne NVPO2 (Nouveau vaccin poliovirus).

¹ <https://www.msss.gouv.qc.ca/professionnels/vaccination/piq-impacts-des-programmes-de-vaccination/>

2 NOTIONS ESSENTIELLES SUR LA CAMPAGNE DE VACCINATION

La vaccination est l'administration d'un agent antigénique, le vaccin, dans le but de stimuler le système immunitaire d'un organisme vivant afin d'y développer une immunité adaptative contre un agent infectieux. La substance active d'un vaccin est un antigène dont la pathogénicité du porteur est atténuée afin de stimuler les défenses naturelles de l'organisme. La réaction immunitaire primaire permet en parallèle une mise en mémoire de l'antigène présenté pour qu'à l'avenir, lors d'une vraie contamination, l'immunité acquise puisse s'activer de façon plus rapide et plus forte.

2.1 IDENTIFICATION DES OBJECTIFS

Définir les critères d'évaluation en collaboration avec les parties prenantes.

2.2 COLLECTE DE DONNÉES

Utilisation de méthodes mixtes, incluant des enquêtes quantitatives et des interviews qualitatives.

2.3 ANALYSE DES DONNÉES

Application d'analyses statistiques et thématiques pour interpréter les résultats.

2.4 ITÉRATION

Réévaluation régulière des méthodes d'évaluation à chaque étape, afin de s'adapter aux retours et aux nouvelles informations.

2.5 PRINCIPE

On détermine le pourcentage de réduction du taux d'attaque chez les vaccinés par rapport aux non vaccinés. On obtient ainsi la fraction préventive dans le groupe vacciné. L'expression est:

$$EV (\%) = \frac{TANV - TAV}{ANV} \quad (1)$$

EV : Efficacité vaccinale
TAVN : Taux d'attaque chez les non vaccinés
TAV : Taux d'attaque chez les vaccinés

2.6 VALIDATION

Impliquer la communauté dans le processus d'évaluation pour assurer la pertinence et l'acceptation des résultats.

L'étude doit être réalisée dans un délai bref (idéalement une dizaine de jours).

Plusieurs facteurs conditionnent la fiabilité des études d'efficacité et la validité des résultats obtenus:

- La définition de cas doit être standardisée et uniformément appliquée;
- La recherche et l'identification des cas doit être identique et le plus exhaustive possible pour la population étudiée;
- La détermination du statut vaccinal doit être rigoureuse, tant chez les malades que chez les non malades. Idéalement, le statut vaccinal est établi sur présentation d'une carte indiquant la date de vaccination;
- Le risque d'exposition à la maladie doit être comparable dans les 2 groupes (vaccinés et non vaccinés);
- Les données de couverture vaccinale doivent être le plus fiable possible.

2.7 OBJECTIFS INITIAUX DE LA CAMPAGNE DE VACCINATION

Voici un aperçu des objectifs d'une campagne de vaccination contre la poliomyélite, déclinés en objectifs généraux et spécifiques.

2.7.1 OBJECTIF GÉNÉRAL

Éliminer la poliomyélite comme problème de santé publique dans la population cible.

2.7.2 OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

Augmenter la couverture vaccinale en vue d'atteindre un taux de vaccination supérieur à 90% chez les enfants ciblés (habituellement ceux de moins de 5 ans) pour assurer l'immunité collective dans les communautés;

Sensibiliser la population de manière à informer la communauté sur la poliomyélite, ses modes de transmission, et l'importance de la vaccination pour prévenir la maladie **et** réduire les mythes et les hésitations concernant le vaccin, notamment par le biais de campagnes de communication adaptées.

Identifier et atteindre les populations sous-vaccinées pour recenser les enfants non vaccinés ou sous-vaccinés et mettre en place des stratégies pour les atteindre, notamment dans les zones rurales ou les quartiers défavorisés.

Assurer la disponibilité et la gestion des vaccins afin de garantir un approvisionnement adéquat en vaccins antipoliomyélitiques et en matériels de vaccination tout au long de la campagne et former le personnel de santé à la gestion et à la conservation des vaccins.

Établir des partenariats en vue de collaborer avec des institutions gouvernementales, des ONG, des organisations communautaires et des leaders locaux pour renforcer la sensibilisation et l'adhésion à la campagne.

Renforcer le système de surveillance pour Mettre en place un système de surveillance renforcé pour détecter les cas de poliomyélite et les épidémies potentielles, afin de réagir rapidement.

Suivre les taux de vaccination et l'efficacité de la campagne par la collecte de données et des évaluations post-campagne.

Promouvoir l'éducation à la santé en vue d'intégrer des messages de santé publique sur d'autres pratiques de prévention des maladies dans la campagne de vaccination (hygiène, nutrition, etc.).

Évaluation et rétroaction nous voulons évaluer l'impact de la campagne sur la couverture vaccinale et la prévalence de la poliomyélite, et partager les résultats avec les parties prenantes pour améliorer les futures campagnes.

Nota: Ces objectifs permettent de guider les stratégies mises en place pour améliorer la vaccination contre la poliomyélite et de s'assurer que les principes de santé publique sont suivis pour protéger les populations vulnérables.

2.8 OBJECTIF DE L'ÉVALUATION

Mesurer l'efficacité de la campagne NVPO2 de manière à évaluer si les objectifs initiaux de la campagne en matière de couverture vaccinale ont été atteints (Smith et al., 2020).

Identifier les causes de résistance au vaccin pour faire Comprendre les raisons au sein de la communauté qui peuvent freiner l'acceptation du vaccin (Jones & Taylor, 2019).

Évaluer l'acceptabilité des interventions de façon à Mesurer le niveau de satisfaction et d'adhésion des bénéficiaires envers la campagne (López, 2019).

Proposer des recommandations: Suggérer des pistes d'amélioration pour optimiser les futures campagnes de vaccination (Johnson & Martinez, 2021).

2.8.1 MATÉRIELS NÉCESSAIRES POUR L'ÉVALUATION

2.8.1.1 INSTRUMENTS DE COLLECTE DE DONNÉES

- Questionnaires pour les enquêtes quantitatives.
- Guides d'entretien pour les interviews qualitatives.
- Outils d'analyse statistique (logiciels comme SPSS ou R).

2.8.1.2 RESSOURCES HUMAINES

- Équipes formées pour conduites des enquêtes et des interviews.
- Agents de santé communautaire pour faciliter l'engagement des participants.

2.8.1.3 LOGISTIQUE

- Matériel pour la documentation (cameras, enregistreurs audios).

- Accès aux bases de données de santé locales pour la comparaison des indicateurs.

3 CAUSES DE RÉSISTANCE AU VACCIN

Peur des effets secondaires: Les inquiétudes concernant les effets indésirables des vaccins sont fréquentes dans de nombreuses communautés (Bell et al., 2018).

Désinformation: La propagation de fausses informations sur les vaccins à travers les médias sociaux peut inciter à la méfiance (Thompson, 2020).

Croyances culturelles: Certaines croyances ou pratiques culturelles peuvent inhiber l'acceptation des vaccins (Nguyen et al., 2021).

Accès limité à l'information: Le manque d'accès à des informations claires et précises sur les vaccins joue également un rôle (Khan et al., 2022).

Mesures prises pour briser les résistances

Campagnes de sensibilisation: Éducation des communautés à propos des bénéfices et de la sécurité des vaccins à travers des sessions d'information et des ateliers.

Engagement des leaders communautaires: Impliquer les leaders d'opinion et les figures respectées dans la communauté pour promouvoir le message de vaccination (Smith et al., 2020).

Promotion de témoignages positifs: Partage d'expériences de personnes ayant été vaccinées pour réduire la peur et la méfiance (Brown et al., 2019).

Réponse rapide aux désinformations: Mettre en place une stratégie de communication proactive pour corriger les fausses informations circulant dans la communauté (Thompson, 2020).

Tableau 1. Nombre de ménages et Complétude MOSO

Aires de Santé	Nombre de ménage		Nombre de personnes de plus de 15 ans sensibilisées		
	Prévus	Visités	Total	Hommes	Femme
Q1	6313	6313	23863	5747	18116
Q2	8406	8406	24593	4793	19800
Q3	6213	6213	26094	6132	19962
Q4	6882	6882	32268	5073	27195
Q5	6246	6246	27062	7837	19225
Q6	8439	8439	25831	4751	21080
Q7	4454	4454	38986	8600	30386
Q8	7743	7743	30416	8538	21878
Q9	8277	8277	40848	9012	31836
Q10	4810	4810	31278	9136	22142
Q11	5200	5200	31938	8609	23329
Q12	6322	6322	41702	9991	31711
Q13A	8440	8440	43726	8557	35169
Q13B	7450	7450	37635	14897	22738
TOTAL ZS	95195	95195	456240	111673	344567

Ce tableau met en lumière le nombre de sensibilisés par rapport à la campagne, il s'avère que les mobilisateurs ont manqué d'autres personnes lors de la sensibilisation.

Tableau 2. Vaccination

Aires de Santé	Cible 0-59 mois	Vaccines 0-11 mois Zéro Dose		Vaccines 0-11 mois 1 dose et plus		Total vaccines 0-11 mois		
		Garçons	Filles	Garçons	Filles	Zéro Dose	1 dose et plus	Total
Q1	5966	0	1	449	529	1	978	979
Q2	7944	7	14	749	963	21	1712	1733
Q3	5871	0	0	600	616	0	1216	1216
Q4	6503	0	0	442	626	0	1068	1068
Q5	5902	15	14	857	872	29	1729	1758
Q6	7975	0	0	1403	1396	0	2799	2799
Q7	4209	8	6	211	260	14	471	485
Q8	7317	1	1	669	836	2	1505	1507
Q9	7822	0	1	864	1109	1	1973	1974
Q10	4545	7	2	528	582	9	1110	1119
Q11	4914	0	0	573	581	0	1154	1154
Q12	5974	0	0	428	497	0	925	925
Q13A	7975	4	6	582	892	10	1474	1484
Q13B	7040	0	1	677	835	1	1512	1513
TOTAL ZS	89959	42	46	9032	10594	88	19626	19714

Il ressort de ces tableaux (2 et 3) que quelques enfants n'ont pas été vaccinés suite au refus des parents dans certaines aires de santé telles: Q1, Q6, Q7 et Q12.

Tableau 3. PEV Systématique (Enfants identifiés; Enfants récupérés)

Aires de santé	BCG		DTC1		DTC3		Var 1		Var 2	
	Enfants	Vaccinés	Enfants	Vaccinés	Enfants	Vaccinés	Enfants	Vaccinés	Enfants	Vaccinés
Q1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Q2	0	0	0	0	0	13	0	8	0	8
Q3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Q4	0	0	0	0	0	2	0	1	0	1
Q5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Q6	0	0	0	9	0	9	0	9	0	9
Q7	0	1	0	0	0	1	0	0	0	3
Q8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Q9	0	0	0	2	0	1	0	0	0	6
Q10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Q11	0	0	0	0	0	3	0	6	0	0
Q12	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3
Q13A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Q13B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL ZS	0	1		11		32				

Ce tableau permet la mise en évidence du nombre des enfants identifiés et récupérés au PEV systématique n'en moins, le nombre montre un écart significatif entre les identifiés et les enfants récupérés.

Tableau 4. Évaluation de l'Acceptabilité des Interventions de la Campagne NVPO2

Intervention	Accept (échelle de 1 à 5)	Justification	Recommandation
Sensibilisation	4	Le public cible montre un bon intérêt pour les thèmes.	Renforcer les canaux de communication.
Ateliers pratiques	3	Participation moyenne, certaines sessions jugées trop techniques.	Adapter les contenus aux niveaux d'expertise.
Campagne sur les réseaux sociaux	5	Très bien accueillie, portée large.	Continuer à investir dans les médias sociaux.
Partenariats locaux	4	Bon retour des partenaires, mais besoin de plus de	Augmenter le soutien logistique et financier.
Suivi et évaluation	2	Manque de clarté sur les résultats et impact	Développer des indicateurs de performance

La campagne NVPO2 a montré une acceptabilité globalement positive pour plusieurs interventions, bien que des aspects spécifiques nécessitent des améliorations pour maximiser l'impact. En tenant compte des recommandations formulées, la prochaine campagne pourra mieux s'adapter aux besoins et à la diversité du public cible, tout en renforçant la collaboration avec les acteurs locaux. Une évaluation rigoureuse et adaptée permettra également d'optimiser les futurs efforts et d'assurer une amélioration continue des interventions (Kirkpatrick & Kirkpatrick, 2006).

4 DISCUSSION

Les résultats de notre étude montrent que les méthodes de S&E traditionnellement utilisées sont souvent rigides et ne tiennent pas compte des spécificités locales. Les approches intégrées, qui combinent des méthodes qualitatives et quantitatives, permettent une meilleure compréhension des dynamiques communautaires (Kirkpatrick et al. 2018). De plus, l'implication des communautés à chaque étape du processus de S&E s'est révélée cruciale pour le succès des programmes (Funnell & Rogers, 2011).

L'intégration des divers outils de S&E et l'adaptabilité des méthodologies aux contextes locaux sont essentielles pour améliorer l'impact des programmes de santé communautaire. En adoptant une approche itérative, les gestionnaires de programmes peuvent affiner leurs stratégies en fonction des retours d'expérience et des résultats obtenus (Patton, 2018). Cela permet également de mieux répondre aux besoins changeants des communautés.

5 PISTES DE SOLUTION EN VUE D'OPTIMISER LES PROCHAINES CAMPAGNES

Ajustement des messages de sensibilisation: Adapter le contenu des messages selon les préoccupations spécifiques de la communauté (Johnson & Martinez, 2021).

Renforcement des canaux de communication: Utiliser divers médias (radio, réseaux sociaux, rencontres communautaires) pour atteindre une plus large population (Nguyen et al., 2021).

Suivi post-campagne: Établir des systèmes de suivi pour évaluer les résultats à long terme des campagnes et ajuster les stratégies en conséquence (Khan et al., 2022).

Collaboration intersectorielle: Travailler avec d'autres secteurs (éducation, médias, organisations non gouvernementales) pour diffuser des informations pertinentes et renforcer la confiance envers la vaccination (López, 2019).

6 CONCLUSION

La santé communautaire joue un rôle crucial dans l'amélioration des résultats de santé globale. Les programmes de santé communautaire visent à traiter les déterminants sociaux de la santé et à promouvoir des pratiques de santé durables (World Health Organization, 2019). Cependant, l'inefficacité des méthodes de suivi et d'évaluation (S&E) peut entraver la réussite de ces initiatives (Rogers et al., 2020). Cet article explore une approche intégrée et itérative pour le S&E des programmes de santé communautaire, permettant de renforcer leur efficacité et leur pertinence.

Cet article met en lumière l'importance d'une approche intégrée et itérative du suivi et de l'évaluation des programmes de santé communautaire. L'adaptation des méthodologies aux contextes locaux et l'engagement des communautés sont des éléments clés pour maximiser l'efficacité de ces programmes. En continuant à partager des pratiques exemplaires, le domaine de la santé communautaire peut progresser vers des résultats plus durables et équitables.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements s'adressent aux autorités de la zone de santé de N'djili en l'occurrence le Docteur Médecin chef de zone Bolamba Ghelogo Edouard et au comité de gestion de l'ISTM-Kinshasa.

REFERENCES

- [1] Bell et al., 2018), Techniques méthodologiques spécifiques.
- [2] Boulianne, S. (2015). «Social Media Use and Participation: A Meta-Analysis.» *International Journal of Communication*.
- [3] Brown et al., 2019; Travaux de recherche sur les causes de résistance au vaccin.
- [4] Brown et al., 2019; Travaux de recherche sur les causes de résistance au vaccin.
- [5] Funnell, S. C., & Rogers, P. J. (2011). *Purposeful Program Theory: Effective Use of Theories of Change and Logic Models*. Jossey-Bass.
- [6] Johnson & Martinez, 2021; Techniques méthodologiques spécifiques.
- [7] Johnson & Martinez, 2021). Adapter le contenu des messages selon les préoccupations spécifiques de la communauté.
- [8] Khan et al., 2022).Établir des systèmes de suivi pour évaluer les résultats à long terme des campagnes et ajuster les stratégies en conséquence.
- [9] Kirkpatrick, D. L., & Kirkpatrick, J. D. (2006). *Evaluating Training Programs: The Four Levels*. Berrett-Koehler Publishers.
- [10] Kirkpatrick, P., et al. (2018). «Combining Qualitative and Quantitative Approaches in Health Evaluation.» *International Journal of Health Services*, 48 (4), 654-670.
- [11] Knowles, M. S. (1980). *The Modern Practice of Adult Education: Andragogy Versus Pedagogy*. Cambridge Books.
- [12] Kotler, P., & Lee, N. R. (2009). *Social Marketing: Influencing Behaviors for Good*. SAGE Publications.
- [13] López, 2019, étude incluent des travaux sur l'évaluation des campagnes de santé publique.
- [14] Nguyen et al., 2021; Utiliser divers médias (radio, réseaux sociaux, rencontres communautaires) pour atteindre une plus large population.
- [15] Patton, M. Q. (2011). *Developmental Evaluation: Applying Complexity Concepts to Enhance Innovation and Use*. Guilford Press.
- [16] Patton, M. Q. (2018). *Utilization-Focused Evaluation*. Sage Publications.
- [17] Reed, M. (2016). «Partnerships for Change: A Quality-Based Approach.» **Nonprofit Management and Leadership*.
- [18] Rogers, P. J., et al. (2020). «Health Program Evaluation: Principles and Practices.» *Public Health*, 185, 1-8.

Effet de la fertilisation organo-minérale sur la production de *Cajanus cajan* au Sud Bénin

[Effect of organo-mineral fertilization on *Cajanus cajan* production in South Benin]

Ibouraïman Balogoun¹, Mahougnon Charlotte Carmelle Zoundji¹, Pascal Gbenou¹, Sylvain Ladékpo Ogoudjob², Zayyane Hicham Idriss Nourou Deen Ouorou Konnigui¹, Jean Luc Kouessi ATTO¹, and Christophe Codjo DEGBE¹

¹Ecole de Gestion et de Production Végétale et Semencière, Université Nationale d'Agriculture, Benin

²Ecole Doctorale des Sciences Agronomiques et de l'Eau, Université Nationale d'Agriculture, Benin

Copyright © 2024 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: *Cajanus cajan* is a seed legume grown in tropical areas. Its yield remains low due to the degradation of agricultural land and non-fertilization. This study assessed the effect of mineral and organic fertilizers on *Cajanus cajan* growth. The study was carried out on ferralitic soil in southern Benin. Four treatments were involved: control treatment (T0 = no fertilizer); T1: 10 g of NPK15-15-15 with 10 g of urea per slash; T2: 10 g of NPK15-15-15 and 10 g of urea per slash combined with organic fertilization; and T3: 5 g of NPK15-15-15 and 5 g of urea per slash combined with organic. Organic fertilizer, consisting of cow dung, was applied as a bottom dressing at a rate of 0.5 kg per slash. The four treatments were set up in a randomized complete block design with three replications. Data on plant height, number of leaves, collar diameter and number of branches were collected on the plants. The results showed that the treatments resulting from the combination of mineral and organic fertilizers significantly ($P < 0.01$) improved the growth and production of *Cajanus cajan*. Thus, the use of cow dung combined with NPK15-15-15 and urea as fertilizers for *Cajanus cajan* improves the growth of this plant species.

KEYWORDS: *Cajanus cajan*, cow dung, sustainable soil management, plant nutrition, Benin.

RESUME: *Cajanus cajan* est une légumineuse à graines cultivée dans les zones tropicales. Son rendement demeure faible à cause de la dégradation des terres agricoles et de la non fertilisation. Cette étude a consisté à évaluer l'effet de l'apport des engrais minéraux et organiques sur la croissance de *Cajanus cajan*. La présente étude a été réalisée sur sol ferrallitique au Sud Bénin. Quatre traitements ont été impliqués: traitement témoin (T0 = pas d'engrais); T1: 10 g de NPK15-15-15 avec 10 g de l'urée par poquet; T2: 10 g de NPK15-15-15 et 10 g de l'urée par poquet combiné à la fertilisation organique; et T3: 5 g de NPK15-15-15 et 5 g de l'urée par poquet combinée à la fertilisation organique. L'engrais organique, constitué de la bouse de vache, a été appliqué en fumure de fond à raison de 0,5 kg par poquet. Les quatre traitements ont été mis dans un dispositif en bloc aléatoire complet de trois répétitions. Les données relatives à la hauteur des plantes, au nombre de feuilles, au diamètre au collet et au nombre de branches ont été collectées sur les plants. Les résultats ont montré que les traitements issus de la combinaison des engrais minéraux et organiques ont significativement amélioré ($P < 0,01$) la croissance et la production de *Cajanus cajan*. Ainsi, l'utilisation de la bouse de vache combinée au NPK15-15-15 et à l'urée comme fertilisants du pois d'angole améliore la croissance de cette espèce végétale.

MOTS-CLEFS: *Cajanus cajan*, bouse de vache, gestion durable de sols, nutrition des plantes, Bénin.

1 INTRODUCTION

Cajanus cajan est une importante légumineuse vivace à graines de la famille des Fabacées et originaire de l'Asie, cultivée sous les tropiques, les zones semi arides comprises ([1]). Sa production annuelle est estimée en moyenne à 3,1 millions de tonnes et représente 5% de la production mondiale des légumineuses à grains ([2]). Communément appelé pois d'angole, il est une culture polyvalente tolérante à la sécheresse, cultivé principalement pour ses graines comestibles riches en protéines alimentaires ([3]). Il a également une importance domestique et un certain nombre d'utilisations médicinales. En dehors de sa consommation humaine, il est également utilisé

comme fourrage, aliment et farine pour les animaux, la porcherie et la pêche ([4]). *Cajanus cajan* est une barrière naturelle contre l'érosion des sols et une usine biologique de fixation atmosphérique ([5]). Néanmoins, la baisse continue de la fertilité des sols constitue l'une des principales contraintes à laquelle est exposée ce secteur avec pour conséquence la baisse du niveau de productivité des cultures ([6]). Cette baisse des rendements des cultures touche également les légumineuses fixatrices d'azote dont fait partie le pois d'angole. Il est important donc de développer des techniques ou pratiques agricoles permettant de maintenir ou d'augmenter le niveau de productivité des cultures face à ce problème de dégradation des sols. Le présent travail vise donc à évaluer l'effet de NPK et de l'urée associé à la fertilisation organique sur la croissance de *Cajanus cajan*.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MILIEU D'ÉTUDE

Cette étude a été conduite dans la commune de Klouékanmè au sud Bénin. D'une superficie de 394 km² la Commune de Klouékanmè couvre 16,39% de la superficie du Département du Couffo et 0,35% de la superficie du territoire national. Elle est l'une des six Communes du Département du Couffo qui est située entre les parallèles 6°50' et 7° de latitude Nord et les méridiens 1°40' et 1°55' de longitude Est sur le globe. Elle est limitée au Nord par les Communes d'Abomey et d'Agbangnizoun (département du Zou), au Sud par les Communes de Djakotomey, de Toviklin et de Lalo, à l'Ouest par la Commune d'Aplahoué et à l'Est par les Communes d'Agbangnizoun et de Lalo. La Commune de Klouékanmè jouit d'un climat de type subéquatorial humide et chaud avec deux saisons pluvieuses (mars à juillet et septembre à novembre) et deux saisons sèches (novembre à février et juillet à août). Ce climat est caractérisé par de faibles écarts de température oscillant entre 24° (en août) et 28° (en mars), avec une moyenne de 27° C sur l'année. La pluviométrie annuelle varie entre 900 et 1200 mm. Cette commune jouit des terres rouges (sol ferrallitique). Et c'est d'ailleurs sur ce type de sol que cette étude a été conduite.

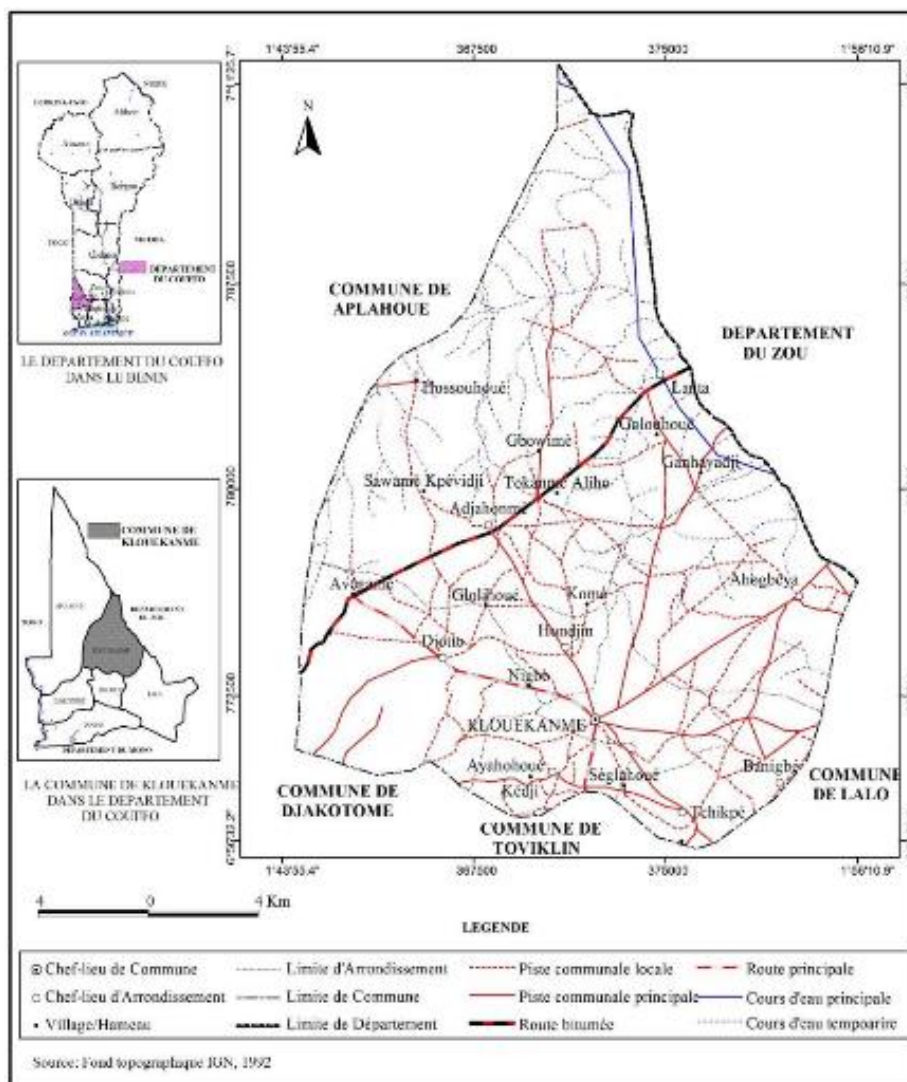


Fig. 1. Carte géographique de la Commune de Klouékanmè

2.2 DISPOSITIF EXPERIMENTAL ET CONDUITE DE L'ESSAI

L'étude a été conduite sur un site expérimental de la cellule communale de l'ATDA (Agence Territoriale de Développement Agricole) de la Commune de Klouékanmè. Quatre traitements ont été évalués. Il s'agit de:

- Traitement 0 (T0): Témoin (pas d'engrais)
- Traitement 1 (T1): Dose recommandée d'urée et de NPK; il s'agit de l'application du NPK et de l'urée à la dose de 50 kg par hectare soit 10 g par poquet chacun ([7]).
- Traitement 2 (T2): Dose recommandée d'urée et de NPK combinée à la fertilisation organique, soit 2.500 kg par hectare ([8]).
- Traitement 3 (T3): Demi-dose de la dose recommandée de l'urée et NPK combinée à la fertilisation organique ([8]).

La dose recommandée des engrais urée et NPK est de 50 kg par hectare, soit 10 g par poquet pour chaque fertilisant aux écartements de 1 m x 0,5 m. L'engrais NPK a été appliqué deux semaines après la levée des plants et l'urée deux semaines après l'application du NPK. La bouse de vache a été appliquée en fumure de fond dans les poquets comme engrais organique à raison de 0,5 kg par poquet ([8]). Les fertilisants minéraux ont été épandus de façon localisée autour des pieds de *Cajanus cajan*. Le dispositif expérimental en Bloc Aléatoire Complet a été utilisé et comporte 3 répétitions. Chaque unité parcellaire couvre une superficie de 16 m² (4 m x 4 m). Le semis a été réalisé en poquet. La densité de semis adopté est celle relative à la jachère améliorée à base de *Cajanus cajan*, c'est-à-dire de 20.000 plants/ha (1 m x 0,5 m) ([9]). Les plants ont été démarrés à 1 plant par poquet, soit 32 plants par unité parcellaire. Une distance de 2 m sépare deux blocs et deux parcelles du même bloc sont séparées par une distance de 1 m.

2.3 COLLECTE DES DONNÉES

Plusieurs données ont été collectées. Il s'agit de:

- La hauteur des plants: La hauteur a été mesurée à l'aide d'une règle graduée. La lecture de la hauteur de la plante a été faite du collet jusqu'à la plus jeune feuille.
- Le nombre de feuilles: Les feuilles ont été comptées à la main sur les plants échantillonnés.
- Le diamètre au collet: A l'aide d'un compas et d'un double décimètre, le diamètre au collet des plants a été mesuré.
- Le nombre de branches: Les branches ont été comptées à la main.

Ces données ont été collectées sur cinq plants choisis au hasard sur chaque parcelle élémentaire et à chaque deux semaines à compter de la deuxième semaine après semis.

2.4 TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNÉES

Les données collectées ont été d'abord saisies sur le tableur Excel qui a servi au calcul des moyennes des paramètres selon les traitements. L'analyse de variance a été faite suivie d'un test de Student Newman Keuls au seuil de 5%.

3 RÉSULTATS

3.1 EFFET DE LA FERTILISATION SUR LA HAUTEUR DES PLANTS DE POIS D'ANGOLE

L'analyse des données de la hauteur des plantes a montré que les traitements ont très significativement influencé la croissance en hauteur des plantes ($P = 0,000$). Cette croissance en hauteur des plantes varie suivant le temps. La figure 2 présente l'évolution de la croissance en hauteur des plants de *Cajanus cajan*. L'analyse de cette figure a montré que les traitements T2 (NPK 50 kg/ha + Urée 50 kg/ha + bouse de vache 2500 kg/ha) et T3 (NPK 25 kg/ha + Urée 25 kg/ha + bouse de vache 2500 kg/ha) ont permis aux plants d'avoir les hauteurs les plus élevées. Au bout de 70 jours après semis, la hauteur moyenne des plants est de 84,93 cm avec le traitement T2 et de 89,68 avec le traitement T3. Le traitement témoin a induit chez les plants les hauteurs les plus basses.

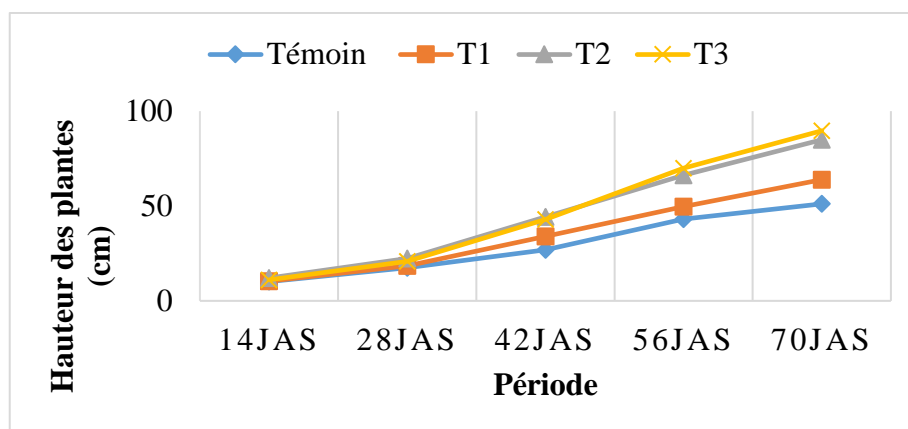


Fig. 2. Evolution de la croissance en hauteur des plants de *Cajanus cajan*

Légende: JAS: Jours Après Semis; T0: pas de fertilisant; T1: NPK (50 kg/ha) + Urée (50 kg/ha); T2: NPK 50 kg/ha + Urée 50 kg/ha + bouse de vache 2500 kg/ha; T3: NPK 25 kg/ha + Urée 25 kg/ha + bouse de vache 2500 kg/ha.

3.2 EFFET DE LA FERTILISATION SUR LE DIAMÈTRE AU COLLET DES PLANTS DE POIS D'ANGOLE

L'analyse des données de diamètre au collet a montré que les traitements ont très significativement influencé le diamètre au collet des plants ($p=0,000$). Cette croissance en diamètre au collet des plants varie dans le temps. La figure 3 présente l'évolution des diamètres au collet des plants de *Cajanus cajan*. L'analyse de cette figure a montré que les traitements T2 (NPK 50 kg/ha + Urée 50 kg/ha + bouse de vache 2500 kg/ha) et T3 (NPK 25 kg/ha + Urée 25 kg/ha + bouse de vache 2500 kg/ha) ont permis aux plants d'avoir les plus grands diamètres au collet. Au bout de 70 jours après semis le diamètre au collet moyen des plants est de 1,02 cm avec le traitement T2 et de 0,94 cm avec le traitement T3. Le traitement témoin a induit chez les plants les diamètres au collet les plus petits.

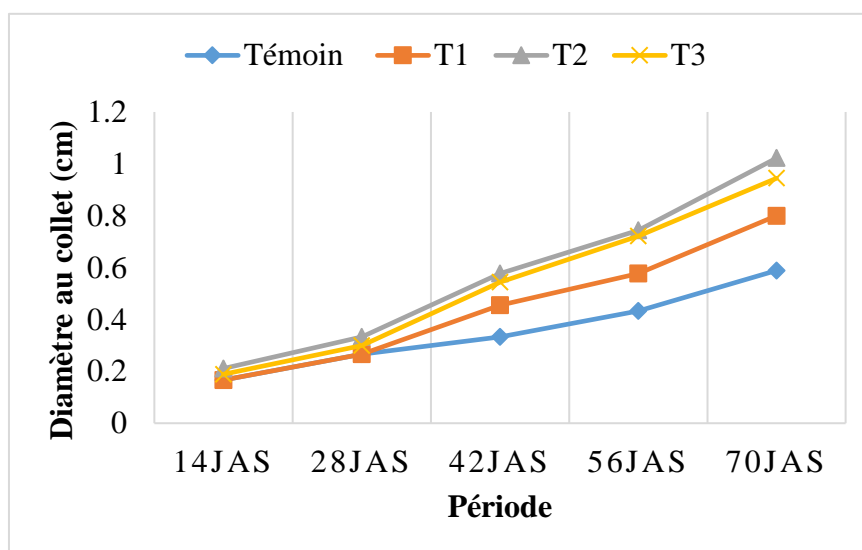


Fig. 3. Evolution des diamètres au collet des plants de *Cajanus cajan*

Légende: JAS: Jours Après Semis; T0: pas de fertilisant; T1: NPK (50 kg/ha) + Urée (50 kg/ha); T2: NPK 50 kg/ha + Urée 50 kg/ha + bouse de vache 2500 kg/ha; T3: NPK 25 kg/ha + Urée 25 kg/ha + bouse de vache 2500 kg/ha.

3.3 EFFET DE LA FERTILISATION SUR LE NOMBRE DE BRANCHES DES PLANTS DE POIS D'ANGOLE

La fertilisation a un effet très significatif sur le nombre de branches émises par les plants de *Cajanus cajan* ($p=0,000$). Cet effet chez les plants varie dans le temps. La figure 4 présente l'évolution du nombre de branches des plants de *Cajanus cajan*. L'analyse de cette figure a montré que les traitements T2 (NPK 50 kg/ha + Urée 50 kg/ha + bouse de vache 2500 kg/ha) et T3 (NPK 25 kg/ha + Urée 25 kg/ha + bouse de vache 2500 kg/ha) ont permis aux plants d'avoir les plus grands nombres de branches. Au bout de 70 jours après semis le nombre de branches moyen des plants est de 18,22 avec le traitement T2 (NPK 50 kg/ha + Urée 50 kg/ha + bouse de vache 2500 kg/ha)

et de 17,22 avec le traitement T3 (NPK 25 kg/ha + Urée 25 kg/ha + bouse de vache 2500 kg/ha). Le nombre de branche le plus bas a été observé avec traitement témoin.

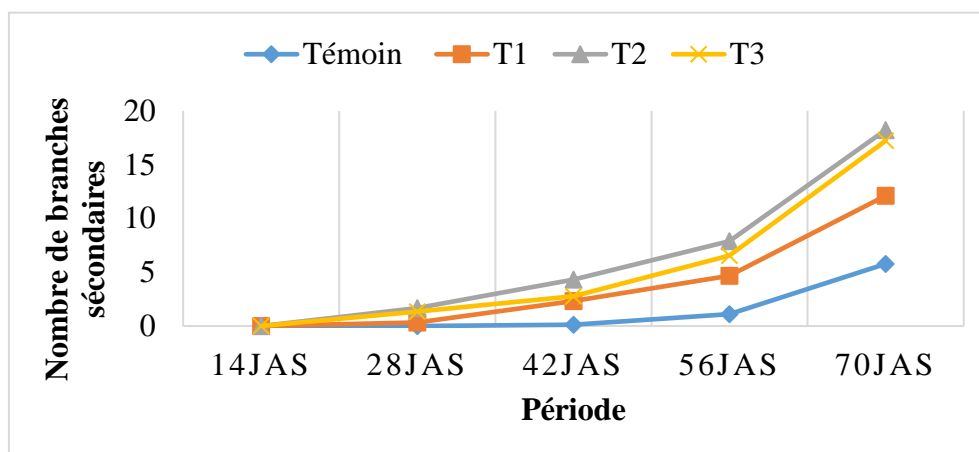


Fig. 4. Evolution du nombre de branches des plants de *Cajanus cajan*

Légende: JAS: Jours Après Semis; T0: pas de fertilisant; T1: NPK (50 kg/ha) + Urée (50 kg/ha); T2: NPK 50 kg/ha + Urée 50 kg/ha + bouse de vache 2500 kg/ha; T3: NPK 25 kg/ha + Urée 25 kg/ha + bouse de vache 2500 kg/ha.

3.4 EFFET DE LA FERTILISATION SUR LE NOMBRE DE FEUILLES DES PLANTS DE POIS D'ANGOLE

Les fertilisants ont un effet très significatif sur le nombre de feuilles émises par les plants de *Cajanus cajan* ($p=0,000$). Cet effet chez les plants varie dans le temps. La figure 5 présente l'évolution du nombre de feuilles des plants de *Cajanus cajan*. L'analyse de cette figure a montré que les traitements T2 (NPK 50 kg/ha + Urée 50 kg/ha + bouse de vache 2500 kg/ha) et T3 (NPK 25 kg/ha + Urée 25 kg/ha + bouse de vache 2500 kg/ha) ont permis aux plants d'avoir les plus grands nombres de feuilles. Au bout de 70 jours après semis le nombre de feuilles moyen des plants est de 102 avec le traitement T2 (NPK 50 kg/ha + Urée 50 kg/ha + bouse de vache 2500 kg/ha) et de 79,22 avec le traitement T3 (NPK 25 kg/ha + Urée 25 kg/ha + bouse de vache 2500 kg/ha). Le nombre de feuilles le plus bas a été observé avec traitement témoin.

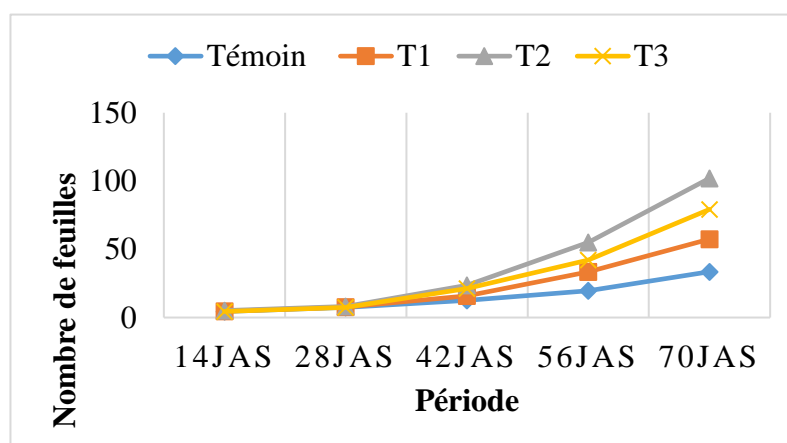


Fig. 5. Evolution du nombre de feuilles des plants de *Cajanus cajan*

Légende: JAS: Jours Après Semis; T0: pas de fertilisant; T1: NPK (50 kg/ha) + Urée (50 kg/ha); T2: NPK 50 kg/ha + Urée 50 kg/ha + bouse de vache 2500 kg/ha; T3: NPK 25 kg/ha + Urée 25 kg/ha + bouse de vache 2500 kg/ha.

4 DISCUSSION

Les résultats de cette étude ont montré que la fertilisation des plants de pois d'angole à base de la combinaison de l'Urée, du NPK et de la bouse de vache a donné les plus grandes croissances en hauteur, en diamètre au collet, en nombre de branche et en nombre de

feuille. Les plants ayant reçu uniquement un apport d'Urée et de NPK ont une croissance supérieure aux plants n'ayant reçu aucun apport de fertilisant. En effet, les croissances les plus faibles enregistrées avec les plants qui n'ont reçu aucun apport de fertilisant laissent supposer que la culture du pois d'angole nécessite un apport de fertilisant pour une bonne croissance. C'est dans ce contexte que [8] ont affirmé que *Cajanus cajan* a besoin de nutriment azoté, de grandes quantités de potassium et de phosphore. Les résultats de [10] ont montré que la disponibilité des nutriments tels que le phosphore (P), le potassium (K), l'azote, le molybdène (Mo), le zinc (Zn), le bore (Bo) et le fer (Fe) améliore fortement la productivité des plantes. Il est noté dans la présente étude que les plantes ayant reçues les nutriments N, P et K puis la bouse de vache ont les plus grandes croissances. Ces résultats s'expliquent par le fait que la bouse de vache qui est un engrais organique contient dans une certaine proportion des microéléments qui sont aussi importants pour la croissance des plantes. Ces résultats peuvent aussi s'expliquer par le fait que la bouse de vache a amélioré les paramètres physiques du sol. La matière organique du sol permet de retenir non seulement l'eau mais aussi les éléments minéraux apportés lors de la fertilisation minérale ([11], [12]). Cela peut avoir comme effet bénéfique de favoriser l'assimilabilité des éléments minéraux libérés dans la solution du sol ([13], [14]). Ces résultats concordent avec ceux de [10] qui ont montré que l'apport de deux types d'engrais (organique et minéral) améliore la croissance végétative du manioc.

5 CONCLUSION

Il ressort de cette étude que l'apport d'engrais minéral et/ ou organique a significativement amélioré la croissance végétative du pois d'angole par rapport au témoin. Ainsi, l'utilisation de la bouse de vache combinée au NPK et à l'urée comme fertilisant du pois d'angole est une alternative efficace potentielle pour contrer la baisse de la fertilité des sols dans les champs de pois d'angole. Cette étude confirme la nécessité de fertiliser le sol avec l'effet bénéfique de la bouse de vaches appliquée en association avec les engrais minéraux tels que NPK et urée.

REFERENCES

- [1] R.K. Fossou, N.K.I.I. Kouassi, G.C.Z. Kouadjo, S.M.I.B. Zako, A. Zeze, Diversité de rhizobia dans un champ cultivé de pois d'angole (*Cajanus cajan* L.) (légumineuses) à Yamoussoukro (Centre Côte d'Ivoire). *Agronomie Africaine*, vol. 24, no 1, pp. 29-38, 2012.
- [2] Van der Maesen L.J.G. (2006). *Cajanus cajan* (L.) Millsp. [Online] Available: <http://database.prota.org/recherche.htm> (site consulté le 28 Août 2024).
- [3] FAO, The State of Food and Agriculture. Climate Change, Agriculture and Food Security. Rome, Italy, 2016.
- [4] E.T. Guissou, R. Zougmore, S.T. Partey, Assessing the potential of pigeonpea for food and nutritional security in Northern Ghana. *Journal of Experimental Agriculture International*, vol. 18, no 6, pp. 1-15, 2017.
- [5] S.C.V. Kumar, S.S.J. Naik, N. Mohan, R.K. Saxena, R.K. Varshney, Botanical description of pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]. *The pigeonpea genome*, pp. 17-29, 2017.
- [6] A. Saidou, D. Kossou, C. Acakpo, P. Richards, W.T. Kuyper, Effects of farmers's practices of fertilizer application and land use types on subsequent maize yield and nutrient uptake in Central Benin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 6, no 1, pp. 363-376, 2012.
- [7] O. Saidou, O.M.M. Mouctari, R.I. Barhiré, I.D. Guimbo, Cultivation and ingestibility of angole peas (*Cajanus cajan*) in sahel goat in Niger. *International Journal of Research*, vol. 7, no 9, pp. 30-38, 2019.
- [8] O.Y.T. Mago, Y.N. Bunga, Effect of Cow Dung as Organic Manure on the Productivity of *Cajanus cajan* (L.) Millsp (Pigeon pea). *Jurnal Mangifera Edu*, vol. 5, no 1, pp. 8-17, 2020.
- [9] P.J. Skerman, R.A. Peterson, F. Riveros, Les légumineuses fourragères tropicales. *Production Végétale et Protection des Plantes*, FAO, Rome, Italie, 689 p. 1982.
- [10] M. Ognalaga, D.M. M'Akoué, S.D.M. Mve, P. Ondo, Effet de la bouse de vaches, du NPK 15-15-15 et de l'urée à 46% sur la croissance et la production du manioc (*Manihot esculenta* Crantz var 0018) au Sud-Est du Gabon (Franceville). *Journal of Animal and Plant Sciences*, vol. 31, no 3, pp. 5063-5073, 2017.
- [11] S. Bakayoko, K.K.H. Kouadio, D. Soro, A. Tschannen, C. Nindjin, D. Dao, O. Girardin, Rendements en tubercules frais et teneurs en matière sèche de soixante-dix nouvelles variétés de manioc (*Manihot esculenta* Crantz) cultivées dans le centre de la Côte d'Ivoire. *Journal of Animal and Plant Sciences*, vol. 14, no 2, pp. 1961-1977, 2012.
- [12] Z. Zulkifli, H. Herman, Respon Jagung Manis (*Zea mays saccharata* Stut) Terhadap Dosis dan Jenis Pupuk Organik. *Jurnal Agroteknologi*, vol. 2, no 2, pp. 25-28, 2012.
- [13] A. Andriamananjara, Système de culture à rotation Voandzou – Riz pluvial (*Oryza sativa*) sur les hautes terres de Madagascar: Rôle du Voandzou (*Vigna subterranea*) sur la biodisponibilité du phosphore dans les ferralsols. Thèse de doctorat, École Supérieure des Sciences Agronomiques, Université d'Antananarivo, Antananarivo, Madagascar, 185 p. 2011.
- [14] M. Ognalaga, E. Itsoma, Effet de *Chromolaena odorata* et de *Leucaena leucocephala* sur la croissance et la production de l'oseille de Guinée (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Agronomie Africaine*, vol. 26, no 1, pp. 45-55, 2014.

L'application des méthodes de reconnaissance géologique dans la recherche des indices minéraux: Cas du secteur de Ngungu-Rufufu à Masisi-Nord-Kivu, RD Congo

[The application of geological recognition methods in the research of mineral indices: Case of the Ngungu-Rufufu Sector in Masisi-Nord-Kivu, RD Congo]

Aganze Birindwa Mirobolant¹, Ken Yumba Musoya¹, Kongolo Kiluba Carmel¹, Mwamba Kayenga Jean¹, and Yenga Muzinga Tony²

¹Université de Manono (U.M.A), RD Congo

²Wali Mining Investment Sarl, RD Congo

Copyright © 2024 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: Located in the North Kivu province, Masisi territory, Ngungu group, sector of bahemba and locality of Kaseke, the sector is typical of vegetation dominated by grassy savannahs with the main crops: cereals (corn), tubers (cassava, potato, sweet potato), rugged geomorphology containing plateaus dotted with a few hills and mountains and an average hydrographic network.

The Ngungu-Rufufu sector is in Kibaro-Burundi.

It is located near the lower Kibarian and abounds in metamorphic formations such as schists, phyllites, quartzo-phyllites, various quartzite alternations, granites, etc.

Structurally, these formations are oriented NE-SW in the form of a folded chain having undergone shearing with, however, frequent virgations towards the NW. These virgations are much more observed at the west of Lake Kivu and in Maniema.

The lower Kibarian was affected by granitic rocks of various types of age 950-1000 Ma, by pegmatite and by various basic rocks, mainly gabbros, diorites and dolerites.

At Ngungu-Rufufu, the following lithologies have been identified: Talc sericite Schist, Quartz mica schist, quartzite, pegmatite, kaolinite, granite and «greisen» explained by the absence of feldspar.

The Mineralization in the lower Kibarian is associated with acid magmatism mainly in Granite G4, dated at 976 Ma. This granite forms the last member of Kibarian magmatic events. It is red leucogranite with muscovite, tourmaline and garnet.

In this regard, our study area is characterized by the mineralization of Sn, Ta and Nb in the pegmatitic and granitic rock, at the Center and the South-West of the sector. The Wolfram (W) and Gold (Au) mineralization is much more pronounced in the quartz vein.

The reconnaissance methods used are the geological and topographical survey, Sampling of stream sediments, Cartography of the Galleries which would serve as simulation in the trench study and the Pitting or Wells.

Finally, an assessment of tonnage was made according mineral grade.

KEYWORDS: Ngungu-rufufu, kibarian, method, lithology, indice, mineralization.

RESUME: Situé dans la province du Nord-Kivu, territoire de Masisi, le secteur de Ngungu se trouve dans le groupement de Ngungu, secteur de bahemba et localite de Kaseke.

Le secteur est typique d'une végétation dominée par des savanes herbeuse avec comme principales cultures: de céréales (Mais), des tubercules (Manioc, pomme de terre, patate douce), géomorphologie es accidentée renfermant des plateaux parsemés des quelques collines et montagnes et un réseau hydrographique moyen.

Le secteur de Ngungu-Rufufu se trouve dans le Kibaro-Burundien.

Il se trouve à proximité du Kibarien inférieur et regorge des formations métamorphiques comme les schistes, phyllades, quartzo-phyllades, alternances quartzites diverses, des granites, etc.

Sur le plan structural, ces formations sont orientées NE-SW sous forme d'une chaîne plissée ayant subi un cisaillement avec cependant, de fréquentes virgations vers le NW. Ces virgations sont beaucoup plus observées à l'ouest du lac Kivu et au Maniema.

Le Kibarien inférieur a été affecté par des roches granitiques du type varié d'âge 950-1000 Ma, par des pegmatites et par des roches basiques diverses, principalement des gabbros, diorites et des dolérites.

Au niveau de notre secteur; les lithologies suivantes ont été identifiées Talc sericite Schiste, Quartz mica schiste, le Quartzite, quartzite, les pegmatites, la kaolinite, le granite et le « greisen » explicité par l'absence de feldspath.

La minéralisation dans le Kibarien inférieur est associée au magmatisme acide principalement dans le Granite G4, daté à 976 Ma. Ce granite forme le dernier membre d'événements magmatiques kibariens. C'est le leucogranite rouge à muscovite, tourmaline et grenat.

Y égard à cela, notre secteur d'étude est caractérisé par la minéralisation en concentration en Sn (18,0475% de Sn), Ta et Nb dans la roche pégmatisée et granitique, ceci vers le Centre et le Sud-ouest du secteur. La minéralisation en Wolfram (12,235 de W) et en Or (Au) est beaucoup plus prononcée dans le filon de quartz.

Les méthodes des reconnaissances utilisées sont le levé géologique et topographique, Echantillonnage des sédiments de ruisseaux, Cartographie des Galeries qui serviraient de simulation dans l'étude de tranchée, le Pitting ou Puits.

Enfin, une évaluation du tonnage a été faite.

MOTS-CLEFS: Ngungu-rufufu, kibarien, méthode, lithologie, indice, minéralisation.

1 INTRODUCTION

1.1 CHOIX ET INTÉRÊT DU SUJET

L'application des méthodes de reconnaissance géologique dans la recherche des indices minérales: cas du secteur de Ngungu-Rufufu à Masisi-Nord-Kivu/ R.D. Congo. Est le sujet qui anime notre recherche.

Masisi n'a pas connu une ampleur suffisante dans le cadre de la recherche géologique, d'où une grande partie de la minéralisation dans ce territoire n'est pas encore connue. D'où, le choix de ce sujet.

Il s'agit d'un travail qui consiste à faire une étude de reconnaissance géologique en s'appuyant sur les méthodes y afférentes dans le but de spécifier la présence ou non de la minéralisation en Or, Nb-Ta, SnO₂ et WO₃ dans le secteur d'étude et de faire ainsi la géolocalisation de ces indices s'ils existent et en fin parfaire à une cartographie spécifique pour les indices trouvées. La nature de la minéralisation trouvée sera spécifiée et nous procéderons à une évaluation sommaire de la minéralisation de Ngungu dans le cas échéant.

1.2 PROBLÉMATIQUE

La recherche des indices de la minéralisation se fait suivant différentes étapes et méthodes.

Pour y arriver, les questions suivantes ont guidé notre travail.

- Il y a-t-il des indices de minéralisation en Or, Nb-Ta, SnO₂ et WO₃ dans le secteur de Ngungu ?
- Quelles seraient les méthodes de reconnaissances utilisées pour y parvenir ?
- Quelle serait la nature des indices dans ce secteur et lithologie trouvées dans le secteur d'étude ?
- Quelle serait leurs localisations sur suivant la cartographie générale du secteur de Ngungu ?

1.3 HYPOTHÈSE

En réponse aux questions ci-haut posées, nous avançons ce qui suit:

- Sur le plan lithologique, le secteur serait dominé par le quartz mica schiste, schiste, le quartzite, la pegmatite ainsi que le granite. Dans la galerie lithologie est dominée par le talc schiste, quartzite et le filon de quartz.
- La nature de la minéralisation serait liée à des roches pégmatisées et granitiques avec comme indice de Nb, Ta, Sn en grande partie dans le centre du secteur, au nord-ouest et au sud. Il y existerait aussi une teneur non négligeable de l'or. Ces

indices sont en grande majorité concentrés dans les sédiments de ruisseaux. Nous avons aussi au Nord-Est du secteur une teneur élevée en W et moyenne en Or et Sn.

- Les travaux de reconnaissances entrepris dans ce secteur sont cartographiés et y compris les éléments prélevés au cours de lever géologiques dans ce secteur. Les cartes sont élaborées suivant les étapes des travaux de reconnaissances faites sur le terrain.

1.4 MÉTHODES ET PROCÉDURE

Pour ce faire, la méthodologie suivante a guidé notre travail

- La recherche des indices s'est effectuée surtout le long de rivières (sédiments de ruisseaux) ainsi que sur les filons quartz, les pegmatites et ou granite (greisen), etc.
- Les galeries ont été échantillonnées et un puits d'éluvion aussi.
- Une cartographie du secteur été faite.

Les échantillons ont été prélevés:

- Dans les sédiments (ruisseaux) des rivières
- Sur les roches et une cartographie sur l'affleurement était faite en utilisant la maille 1.86kmX0.220km.
- Dans les galeries l'échantillonnage par saigné a été appliqué (Channel sampling) et sur les affleurements.

L'échantillonnage de sédiments a été entrepris dans l'objectif de connaître la source de la minéralisation et leur distribution dans le secteur d'étude. Ce qui conduirait à la découverte des gites primaires. L'échantillonnage par saigné a été entrepris dans la partie Nord (Rufufu Nord) dans l'objectif de fournir l'épaisseur estimative et la teneur moyenne de la zone minéralisée. La galerie a été cartographiée et échantillonnée et quatre (4) échantillons ont été prélevés dans le filon de quartz de 1,60 m d'épaisseur. Deux (2) autres échantillons de quartz veine ont été prélevé comme grab dans la même galerie car les traverses étaient creusées dans le sens parallèle à la minéralisation (filon de quartz), ce qui fait un total de six échantillons. Sept (7) échantillons de sédiments de ruisseaux ont été récoltés dans les lits ou berges des rivières et généralement constitués de fragments de quartz anguleux à sub-anguleux et soit la roche mère totalement altérés (pegmatite, kaolinite et greisen) et Un (1) échantillon d'éluvion prélevé dans le petit puits de prospection constitue des fragments schistes a tourmaline et de fragments de quartz. Au total 14 échantillons ont été prélevés et prêt à être analysé au laboratoire.

2 CADRE GEOGRAPHIQUE DU SECTEUR

2.1 LOCALISATION

Situé dans la province du Nord-Kivu, territoire de Masisi, le secteur de Ngungu se trouve dans le groupement de Ngungu, secteur de bahemba et localité de Kaseke. Le territoire de masisi est d'une superficie de 4 734 km² pendant que notre secteur d'étude couvre une superficie de 15.41km².

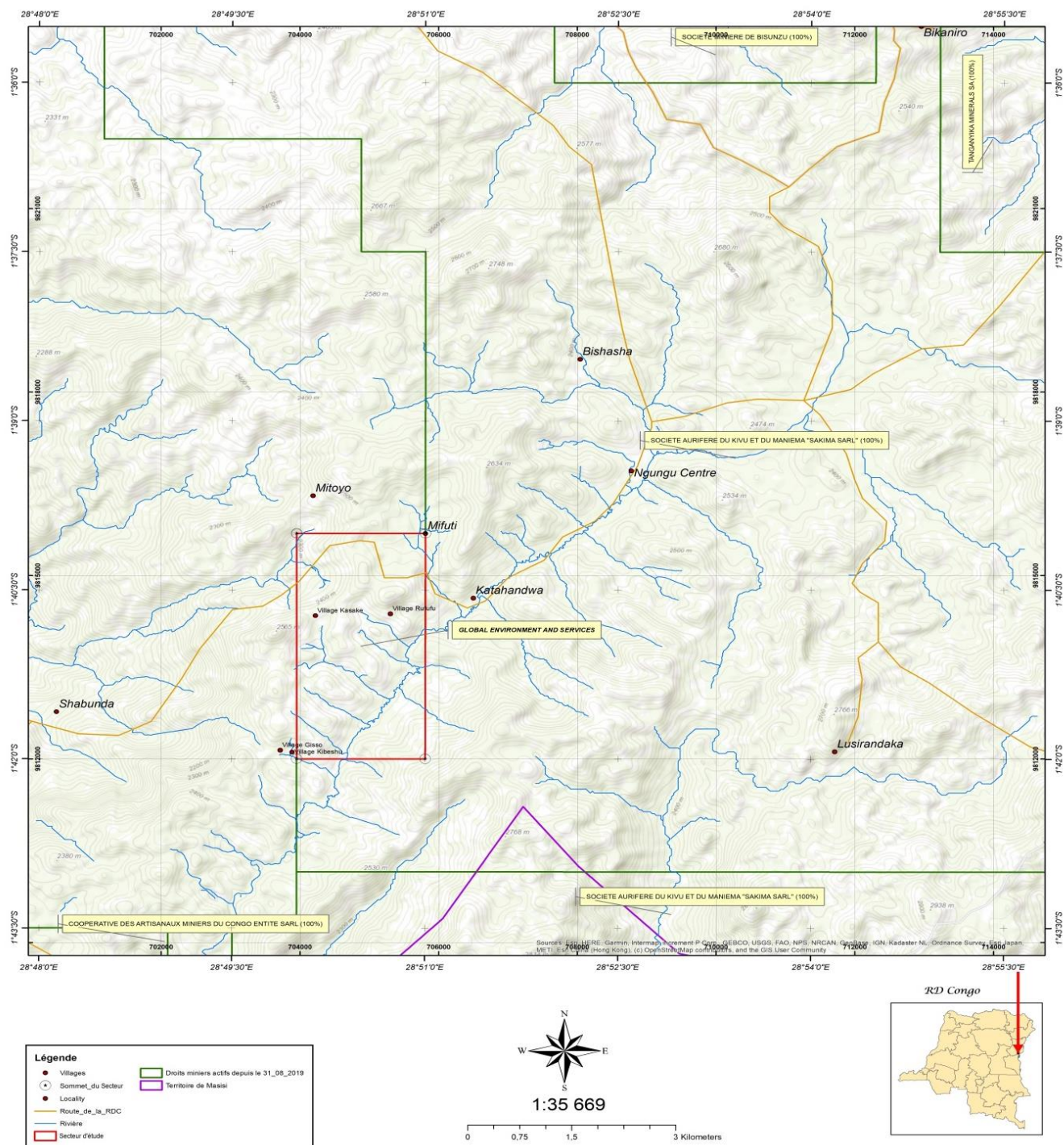


Fig. 1. Carte de localisation du secteur Ngungu-Rufufu

2.2 CLIMAT, VÉGÉTATION ET GÉOMORPHOLOGIE

Le climat de la zone est du type subéquatorial suivant l'altitude avec alternance de deux saisons sèche (Juin-septembre) et de pluie regroupant les mois restants. (C. Baudoux Belge 1986). [1], Le secteur est typique d'une végétation dominée par des savanes herbeuse avec comme principales cultures: de céréales (Maïs), des tubercules (Manioc, pomme de terre, patate douce), d'élevage de porcins, chèvres et volailles. On y trouve une géomorphologie accidentée renfermant des plateaux parsemés des quelques collines et montagnes et un réseau hydrographique moyen.

2.3 ACCESSIBILITÉ

Masisi donne une accessibilité facile par route de Goma-Sake (30km de Goma) où la route est en gravier et terre battue (de Sake -Ngungu-Rufufu).

3 APERÇU DE LA GEOLOGIE REGIONAL DE NGUNGU

Le secteur de Ngungu-Rufufu se trouve dans le Kibaro-Burundien.

Il se trouve à proximité du Kibarien inférieur et regorge des formations métamorphiques comme les schistes, phyllades, quartzo-phyllades, alternances quartzites diverses (**Lepersonne 1968**) [2].

Sur le plan structural, ces formations sont orientées NE-SW sous forme d'une chaîne plissée ayant subi un cisaillement avec cependant, de fréquentes virgations vers le NW.

Ces virgations sont beaucoup plus observées à l'ouest du lac Kivu et au Maniema.

(**Rumvengeri 1987**) [3] stipule que le kibarien inférieur a été affecté par des roches granitiques du type varié d'âge 950-1000 Ma, par des pegmatites et par des roches basiques diverses, principalement des gabbros, diorites et des dolérites

Selon (**Klerkx, J., dans Cahen: 1984**) [4], la minéralisation dans le Kibarien inférieur est associée au magmatisme acide principalement dans le Granite G4, daté à 976 Ma. Ce granite forme le dernier membre d'événements magmatiques kibariens. C'est le leucogranite rouge à muscovite, tourmaline et grenat. Suivant (**Gunther et Ngulube 1992**). [5], Ce granite post-orogénique par rapport aux déformations kibariennes appartient à la catégorie des granites de type-S. C'est à ce granite que sont liés les pegmatites et les filons de quartz minéralisés en Sn, W, Ta, Be, Li, Nb et Au. (Etain, wolfram, Tantale, Béryllium, Lithium, Niobium et Or). La géologie locale de Ngungu montre la présence de Meta sédiments (Schiste et quartzites et quartz à Mica schiste) qui sont parallèles avec les filons de quartz ainsi que les roches felsiques tels que les pegmatites, granite. La carte géologique et minière régionale de notre secteur tirée de (**Lepersonne J. (1974)**). [6], nous a permis de savoir l'appartenance géologique du secteur.

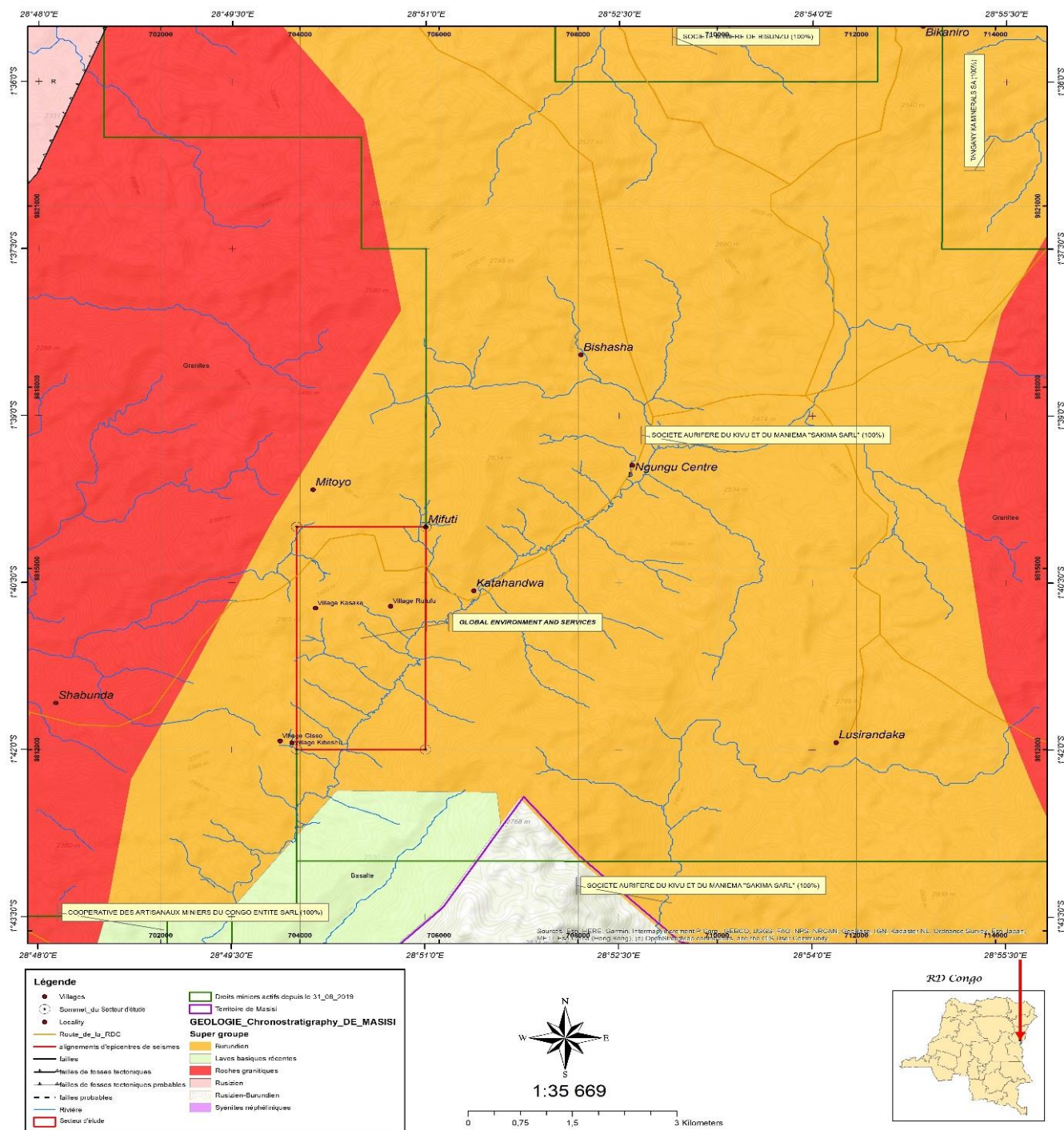


Fig. 2. Carte géologique régionale du secteur Ngungu-Rufufu

4 TRAVAUX DE TERRAIN DANS LE SECTEUR DE NGUNGU

4.1 RECHERCHE DES INDICES

4.1.1 LEVÉE GÉOLOGIQUE ET TOPOGRAPHIQUE

Les restes des anciennes activités minières jouent t un grand rôle dans exploration minière. Les signatures des surfaces sont le fraiches veines minéralisés, les gossans et les puits (*Swapan Kumar Haldar, 2018*) [7].

Dans un premier temps un levé topographique a été exécuté dans le cadre de l'établissement d'un fond topographique de base.

Les données ou coordonnées géographiques ont été récoltés au moyen d'un GPS (GPS map60Csx) à des précisions de plus au moins 1 m dans le système UTM, datum WGS 84.

Le levé géologique a été exécuté dans le secteur d'étude couvrant une superficie de 15,41 km² et dont la maille était 0,86 km² dont dix-huit (18) lignes (traverses) orientées Est-Ouest. Durant la recherche, les traverses ont été cartographiées incluant les anciennes galeries, tranchées, alluvions, quelques puits de prospection et une galerie en exploitation artisanale ainsi que les rivières.

La cartographie a été planifiée dans le but de circonscrire les différents types de roches et déduire les roches porteuses de d'indice de la minéralisation.

La carte géologique étant selon (*J. Aubain, J. Dercourt et B. Labesse, 1970*) [8], une représentation sur un fond topographique des différentes formations géologiques qui affleurent à la surface du sol par projections de leurs contours géologique. Ainsi une carte géologique à large échelle a été établie et dont les lithologies (formations géologiques) sont les suivantes:

- ✓ Talc sericite Schiste: Affleure sur la partie Nord du secteur, il est moyennement folié et contient une altération en limonite et hématite.
- ✓ Quartz mica schiste: affleure dans la partie centrale et Sud de la concession; il est généralement à grain fin à moyen, folié, contenant une altération en hématite et est toujours en contact avec soit les pegmatites ou le granite. Les paillettes de mica varient de moyen à large
- ✓ Le Quartzite: deux types de quartzite ont été identifiés durant la recherche:
 - Le quartzite noirâtre a grain fin contenant au moins 90% de tourmaline noirâtre sous forme de bâtonnée et est comparable à celle de la mine de Bishaha. Il y a aussi storkworks de filon de quartz. Ce quartzite affleure dans la partie Est du secteur.
 - Le Quartzite brunâtre à grains moyen, contenant une altération en hématite et limonite, et parfois le boxworks. Il est en contact avec le filon qui est minéralisé dans le puits d'exploitation à Rufufu Nord-Est
- ✓ Les pegmatites: affleurent dans la partie centrale et Sud du secteur, elles sont blanchâtres contenant une forte intensité de Muscovite. Ces pegmatites ont intrudé le quartz, muscovite et le schiste et se présentent sous forme de dyke.
- ✓ La kaolinite: affleure dans la partie Nord-ouest de la concession et se trouve le long de la rivière mitoyo, elle est blanchâtre et très altère.
- ✓ Le granite: affleure dans la partie centrale et Nord-Ouest du secteur d'étude. Il est de couleur brun jaunâtre, et est parfois dépourvu de feldspath. D'où le terme "greisen" sera utilisé aussi comme lithologie.



Fig. 3. Illustrant les photos de la lithologie locale du Secteur d'étude

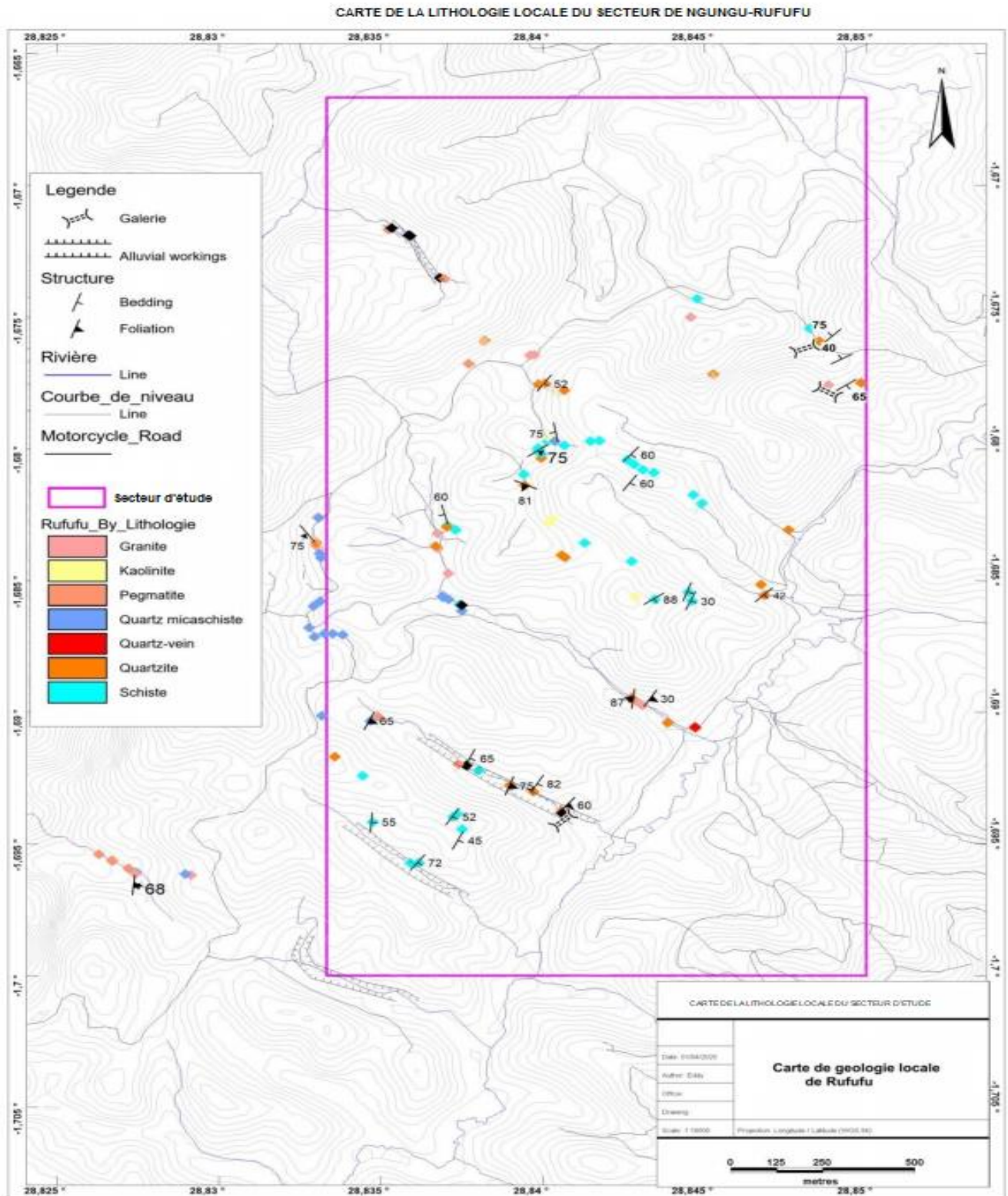


Fig. 4. Carte lithologique locale du secteur Ngungu-rufufu

4.1.2 ECHANTILLONNAGE DES SÉDIMENTS DE RUISSEAUX

Dans une région couverte par un profil du sol allant au-delà de six mètres de profondeur ou une forêt dense où les roches n'affleurent pas, il est parfois recommandé de faire la cartographie et l'échantillonnage des rivières car les roches affleurent souvent dans le lit des rivières et dont l'objectif principale est de savoir la source de la minéralisation.

Ainsi 7 échantillons de sédiments de ruisseaux ont été échantillonné généralement dans le gravier contenant les fragments de quartz anguleux à sub-anguleux et parfois sub-arrondis (photos).

Cet aspect des fragments montre que les particules trouvées dans les lits des rivières sont d'origine diverses et que les unes sont issues ont subi un long transport et d'autres un faible transport.



Fig. 5. Photo montrant le prélèvement de l'échantillon dans la rivière Bukoni

4.1.3 CARTOGRAPHIE DES GALERIES

La géologie de surface reliée à la lithologie, structure, et la minéralisation est corrélée à la continuité vers le bas à des profondeurs variées à la minéralisation sous-terrainne, suivie avec les dispositifs permettant la progression de la mine par développement des gradins. **(Swapan Kumar Haldar, page 76). [9]**, L'accès à la mine souterraine demande une structure bien spécifique, pour ce faire, deux galeries ont été identifiées à l'Est du secteur dont une est en exploitation (Rufufu Nord-Est) et mesurant 8 mètres de long et l'autre était explorée à l'époque de la société SOMINKI (Rufufu Sud).

L'objectif est de fournir l'épaisseur estimative et la teneur moyenne de la zone minéralisée ainsi que la lithologie dans cette galerie.

La galerie de Rufufu Nord -Est a été cartographiée et échantillonnée ainsi que 4 autres échantillons ont été récoltés sur le filon de quartz mesurant 1,60 m d'épaisseur.

La lithologie est dominée par les Talc sercicite schiste, quartzite et le filon de quartz.

Quartz vein (Filon de quartz) est vitreux et parfois « sugary »; l'exploitation se fait sur ce filon de quartz parallèlement à la foliation.



Fig. 6. Galeries du Sud du secteur, leurs les schémas et coupes de la galerie

Les deux autres galeries étaient essentiellement composées de quartzite vers le Nord-Est et deux autres vers le Sud composées de schiste silicifié et parfois le quartz à micaschiste.

4.1.4 LE PITTING OU PUIES

L'échantillonnage de puits de prospection a été entrepris dans l'objectif de savoir le profil du sol et de tester la minéralisation sub-surface. Selon (A.M. Gangloff et al. [10], Prospection géochimique ajoute des précisions sur la répartition de la minéralisation dans le sol.

Selon (R. Marjoribanks, 2010) [11], les puits sont habituellement utilisés pour tester des structures de minéralisation peu profondes, étendues et plates.

Un puits de prospection mesurant 1m³ a été creusé à Giso (Rufufu South) et a montré ce qui suit:

- De la surface: 00m-o, 8m: Sol silteux noirâtre contenant le grain fins de quartz dans la matrice d'argile. De 0,8m - 1,00m: nous avons un sol silteux noirâtre contenant les grains de quartz et le fragment de schiste partiellement oxydé (colluvial matériels). Ce fragment de schiste contient les tourmalines noires disséminées et hématique.
- Un échantillon a été prélevé à 0,80m-1m (0,20m d'épaisseur).



Fig. 7. Illustrant différents profil de sol de Rufufu

L'autre profil montre un profil du sol allant de 12,00m dont 11,00m de sol silteux et 1,00m de pegmatite.

4.2 LES MESURES STRUCTURALES.

Les mesures structurales préliminaires disponibles enregistrent la foliation S1 023 avec un pendage 30° vers l'Est et S1 115° avec un pendage élevé de 81° vers SW. Le litage So (bedding) montre un So 226 et pend 72° vers le NW. Ce changement ou rotation de pendage montre les différentes phases de déformations (cisaillement régional qui pourrait générer du plissement local et régional).

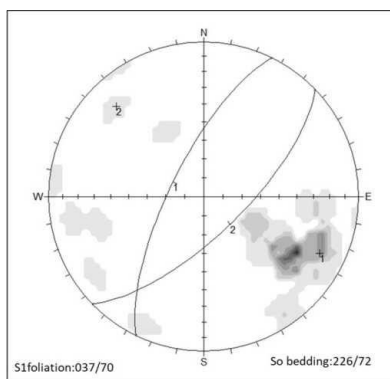


Fig. 8. Illustrant différents l'orientation préférentielle des formations du secteur de Rufufu

5 TRAITEMENT ET ANALYSE DES ECHANTILLONS

5.1 TRAITEMENT DES ÉCHANTILLONS

Quatorze (14) échantillons ont été recueillis dans les éluvions, alluvions et les roches en place et sont amenés à Goma pour l'analyse au spectromètre manuel.

Au total onze (11) échantillons ont été recueillis dans le secteur s'étude dont 4 échantillons dans les alluvions, un échantillon dans l'éluvion et 6 échantillons des roches.

Au total deux (2) échantillons ont été échantillonnés dans les alluvions en dehors de Rufufu.

Les échantillons ont été traités in situ en suivant cette procédure:

- On pèse l'échantillon recueilli avec la balance (Portable Electronic scale)
- Lavage de tout venant dans le pan ou bassin
- Récupération de près-concentre
- On pèse le poids humide (g ou kg) de l'échantillon
- Séchage de près-concentre au feu ou au soleil
- On pèse le poids sec (g ou kg) du préconcentré
- Séparations de ferromagnésien par un aimant magnétique
- Obtention d'un concentrate prêt à être analysé au spectromètre

Tous les échantillons ont été broyés et réduits en poudre puis analysés au spectromètre manuel XRF. Les résultats sont décrits dans les tableaux suivants:

Tableau 1. Illustrant les résultats des analyses des échantillons de Gravier de ruisseaux et d'éluvions dans le secteur

N° de l'échantillon	Nature du matériel	Description de l'échantillon	%WO ₃	% TaO ₂	% SnO ₂	% NbO ₂	%MnO ₂	% FeO ₂	%Au
RF001	Graviers (Rivière Mitoyo)	Fragments de quartz, quartzite et schiste et les minéraux ferromagnésiens, mica	0	0.102	0.007	0.004	0.029	5.37	0.023
RF002	Graviers (Rivière Mitoyo)	Fragments de quartz, quartzite et schiste et les minéraux ferromagnésiens, mica	0	0.01	0.12	0.005	0.025	4.7	0.038
RF003	Graviers (Rivière Mitoyo)	Fragments de quartzite altéré, anguleux a arrondis, de quartz et granite.	0	0.013	0.147	0.006	0.035	5.52	0.022
RF004	Graviers (Rivière Mitoyo)	Fragments arrondis de granite altéré avec tourmaline noire, quartzite.	0	0	0.086	0.005	0.024	4.99	0.044
RF005	Gravier (Rivière Bukoni)	Fragments de quartz et granite.	0	3.98	1.54	1.42	1.08	16.09	0.023
RF006	Graviers (Rivière Kibesho)	Fragments de quartz, des schistes et granite.	0	10.91	16.93	6.63	3.32	13.63	0.1
RF007	Gravier (Rivière Kibesho)	Fragments de quartz, des schistes et granite.	0	3.09	3.35	1.38	0	0	0.034
RF008	Eluvion	Fragments de Schiste anguleux à tourmaline et de quartz	0	0.202	0.989	0.154	0.912	26.96	0.4

Tableau 2. Illustrant les résultats des analyses des échantillons de la galerie de Rufufu au Nord-Est de la concession

Galerie Rufufu	Si	LE	Sn	Ta	Nb	W	Fe	Al	Ti	Sb	Mn	Au	Zr	Rb
Rufufu-01	31,5	30,36	18,05	0,007	0,004	12,33	4,99	2,88	0,14	0,03	0,027	0,005	0,01	0,002
Rufufu-02	32,5	29,54	18,06	0,01	0,005	12,19	4,81	2,14	0,06	0,03	0,022	0,007	0	0,002
Rufufu-03	31,5	32,14	18,05	0,013	0,006	12,22	5,13	0,65	0,04	0,03	0,22	0,008	0,01	0
Rufufu-04	30	30,26	18,03	0	0,005	12,2	5,31	2,97	0,2	0,03	0,025	0,008	0,01	0,004
Rufufu-05	0	0	0,124	0,09	0,317	52,85	14,31	0	0,39	0	1,05	0,407	0,01	0
Rufufu-06	0	0	0,224	0,187	0,255	25,41	22,49	0	2,17	0	0,657	0,315	0,03	0

6 ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS

Y égard aux des résultats obtenus après analyse, la distribution des teneurs en Sn, Nb, Ta et Au dans secteur de Rufufu montre des zones claires des anomalies avec teneur moyenne en Sn, Ta, Nb et une teneur faible non négligeable en Or et se développent à travers les ruisseaux (Rivières) avec une direction préférentielle de direction presque NW-SE et se localise au Centre, au Nord-Ouest et au Sud du secteur étudié. Des anomalies se situant au Nord-Est de la concession, le W, Sn et Au montrent une teneur moyenne et élevée en wolframite (W), Cassitérite et en Or (Au).

La minéralisation de wolfram dans le site de Rufufu est présente dans le litage parallèle et dans le filon de quartz discordant. Ce filon de quartz montre la même minéralogie et différents stades avaient été observés durant l'évolution de filon de quartz minéralisée.

La zone de contact entre le filon et le quartzite a été altérée par la sercitisation et tourmalinisation suivi par la formation de muscovite large à la bordure du filon de quartz.

Le quartzite contient également le boxwork après pyrite et l'altération en hématite.

La teneur moyenne est de 12,235% en W à 1,60m; 18,0475% de Sn à 1,60m et la minéralisation est ouverte vers le NE-SW et en profondeur.

Galerie Rufufu		Sn	W	Epaisseur	Sn	W
Rufufu	(9)	18,05	12,33	0,4	7,22	4,932
Rufufu	(10)	18,06	12,19	0,4	7,224	4,876
Rufufu	(11)	18,05	12,22	0,4	7,22	4,888
Rufufu	(12)	18,03	12,2	0,4	7,212	4,88
Somme				1,6	28,876	19,576
T(m)					18,0475	12,235

Seule la partie Nord-Est de la concession a été évalué. Après analyse, le filon de quartz a montré une potentialité en Wolfram (W) et en Or (Au).

Area	Strike (m)	Depth (m)	Width (m)	Volume (m ³)	Densite	Tonnage (T)	Grade (%)	Reserves (T)	Remarques
Bloc1	200	25	1,6	8000	2,65	21200	52,85	11204,2	Open to NE
Bloc2	450	25	1,6	18000	2,65	47700	52,85	25209,45	
Bloc3	270	25	1,6	10800	2,65	28620	52,85	15125,67	
Bloc4	650	25	1,6	26000	2,65	68900	52,85	36413,65	
Bloc5	1500	25	1,6	60000	2,65	159000	52,85	84031,5	Open to SW
Total								171984,47	

D'où un simple calcul établi pour déterminer le tonnage (T) et le ressource (T) de ce site de Rufufu Nord-Est par la méthode d'influence suivant la topographie et répartie en 5 Bloque suivant le tableau suivant

Deux types de minéralisation ont été observés dans le périmètre:

- Au Nord Est par la minéralisation filonienne en W et en Au et dont la continuité de ce filon vers le Sud-Ouest et Nord Est
- Au centre une faible teneur en Sn, Ta et Nb mais pourrait être minéralisé car il y a présence des galeries de creuseurs artisanaux dans les pegmatites mais ces galeries ont été ensevelie par le propriétaire des champs.
- Au Sud-Ouest: les anomalies avec teneurs moyennes en Ta, Sn et Nb dans les drainages et pourrait conduire à la découverte des gites primaires. Deux anciennes galeries ont été identifiées mais ensevelies par les glissements de terrain (Riviere Bukoni).

D'où avec la présence des roches pegmatitique et granitique vers le Centre et le Sud-ouest du secteur pourrait nous indiquer la concentration en Sn, Ta et Nb ainsi que le filon de quartz avec la concentration en W et parfois de l'Or (Au) vers le Nord Est; secteur présente une potentialité qui peut nous conduire à une exploitation à petite échelle en moyen terme (cas de Rufufu Nord-Est) et une exploitation industrielle en long terme en W, Sn, Ta et soit l'Or.

La figure suivante est une la carte géologique d'interprétation des résultats du secteur de Ngungu-Rufufu

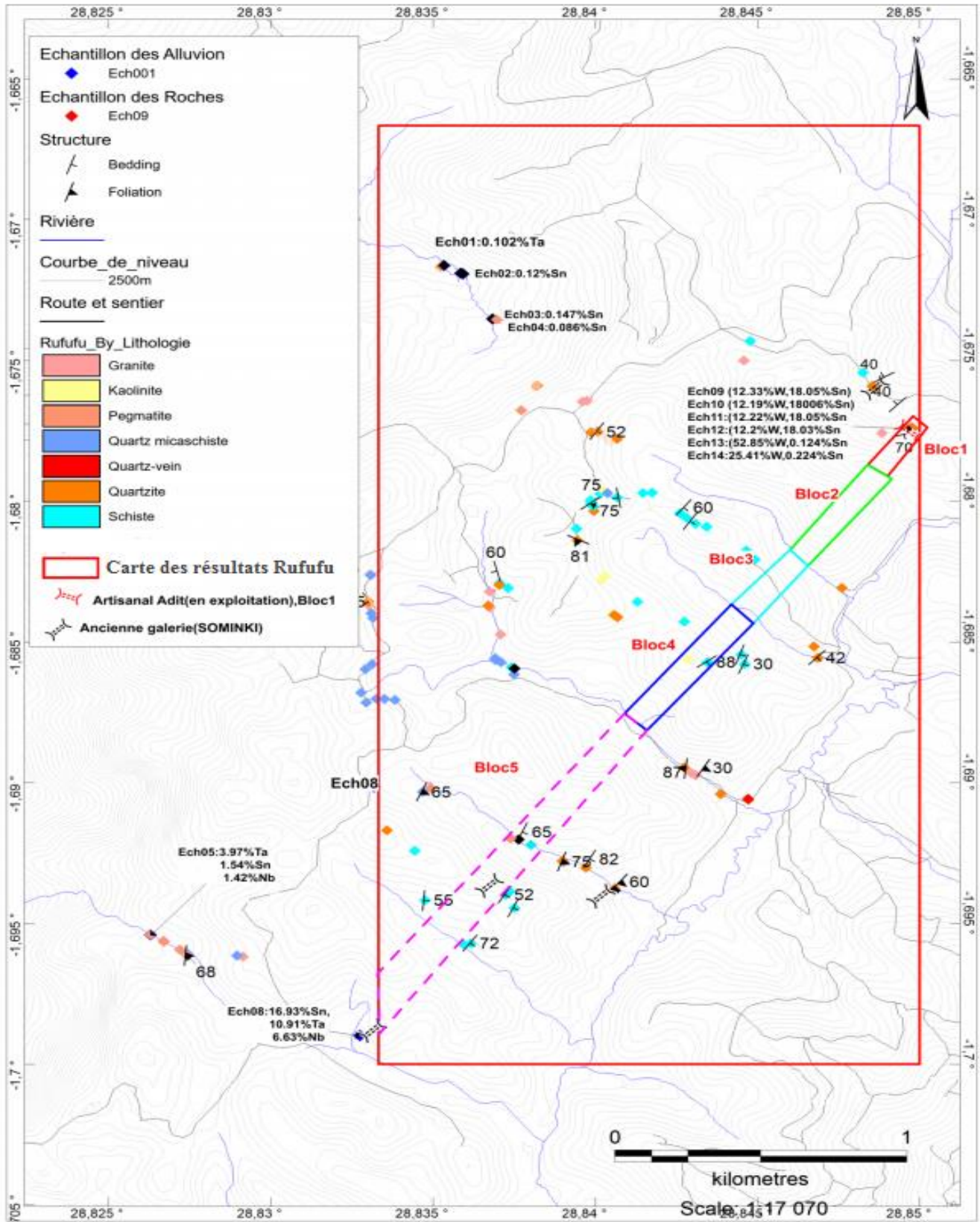


Fig. 9. spécifiant la carte géologique d'interprétation des résultats du secteur de Ngunu-Rufufu

7 CONCLUSION

Situé dans la province du Nord-Kivu, territoire de Masisi, le secteur de Ngungu se trouve dans le groupement de Ngungu, secteur de bahemba et localité de Kaseke.

Le secteur est typique d'une végétation dominée par des savanes herbeuse avec comme principales cultures: de céréales (Mais), des tubercules (Manioc, pomme de terre, patate douce), géomorphologie es accidentée renfermant des plateaux parsemés des quelques collines et montagnes et un réseau hydrographique moyen.

Le secteur de Ngungu-Rufufu se trouve dans le Kibaro-Burundien.

Il se trouve à proximité du Kibarien inférieur et regorge des formations métamorphiques comme les schistes, phyllades, quartzo-phyllades, alternances quartzites diverses, des granites, etc.

Sur le plan structural, ces formations sont orientées NE-SW sous forme d'une chaîne plissée ayant subi un cisaillement avec cependant, de fréquentes virgations vers le NW. Ces virgations sont beaucoup plus observées à l'ouest du lac Kivu et au Maniema.

Le Kibarien inférieur a été affecté par des roches granitiques du type varié d'âge 950-1000 Ma, par des pegmatites et par des roches basiques diverses, principalement des gabbros, diorites et des dolérites.

Au niveau de notre secteur; les lithologies suivantes ont été identifiées Talc sericite Schiste, Quartz mica schiste, le Quartzite, quartzite, les pegmatites, la kaolinite, le granite et le « greisen » explicité par l'absence de feldspath.

La minéralisation dans le Kibarien inférieur est associée au magmatisme acide principalement dans le Granite G4, daté à 976 Ma. Ce granite forme le dernier membre d'événements magmatiques kibariens. C'est le leucogranite rouge à muscovite, tourmaline et grenat.

Y égard à cela, notre secteur d'étude est caractérisé par la minéralisation en concentration en Sn (18,0475% de Sn), Ta et Nb dans la roche pégmaitique et granitique, ceci vers le Centre et le Sud-ouest du secteur. La minéralisation en Wolfram (12,235 de W) et en Or (Au) est beaucoup plus prononcée dans le filon de quartz.

Les méthodes des reconnaissances utilisées sont le levé géologique et topographique, Echantillonnage et traitement des sédiments de ruisseaux, Cartographie des Galeries qui serviraient de simulation dans l'étude de tranchée, la cartographie géologique des indices par étape et enfin, le Pitting ou Puits.

REFERENCES

- [1] C Baudoux Belge 1986. La production laitière et sa destination dans la zone de Masisi-Nord-Kivu-Zaïre; page 26.
- [2] Lepersonne, J., 1968. Echelle stratigraphique des formations de couverture de l'intérieur de bassin du Congo.
- [3] Rumvengeri 1987: Précambrien de l'ouest du Lac Kivu et sa place dans l'évolution géodynamique de l'Afrique centrale et Orientale, pétrologie et tectonique. Article.
- [4] Klerkx, J., Liegeois, J.P., Lavreau, J. & Theunissen, K., 1984. Granitoides kibariens précoces et tectonique tangentielle au Burundi: magmatisme bimodal lié à une distension crustale. In: Klerkx, J., Michot, J. (Eds.), African Geology, a Volume in Honour of L. Cahen. Royal Museum for Central Africa, Tervuren, 29-46.
- [5] Gunther et Ngulube 1992.: Métallogénie de la chaîne kibarienne en Afrique centrale: The lithium-pegmatite of Manono-Kitotolo-Zaïre, bulletin 4, 91-92, 1992; Issn 1014-7578, p92.
- [6] Lepersonne J. (1974). Carte géologique du Zaïre au 1/2.000.000. Carte dressée par les géologues du Musée royal de l'Afrique centrale et du Bureau de Recherches géologiques et minières sous la direction de J. Lepersonne. Rép. du Zaïre, Serv. Géol., Kinshasa; Mus. roy. Afr. centr. Tervuren.
- [7] Swapan Kumar Haldar 2018; mineral exploration, principles and applications; second Edition page 71.
- [8] J. Aubain, J. Dercourt et B. Labesse, (1970): Manuel de travaux pratiques de cartographie. Dunod, Paris, 1970.
- [9] Swapan Kumar Haldar 2018; Mineral exploration, principles and applications; second Edition page 76.
- [10] A.M. Gangloff et al.: Application à la recherche de l'uranium des méthodes géophysiques et géochimiques, page 2.
- [11] R. Marjoribanks 2010, Méthodes Géologiques dans l'Exploration Minérale et Minière, 2ème éd., DOI10.1007/978-3-540-74375-0_4, © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010.

Sizing of a hybrid energy production system

Bati Ernest Boya Bi, Ekoun Magloire Paul Koffi, Kamenan Blaise Koua, and Prosper Gbaha

Groupe Energies Nouvelles et renouvelables, Laboratoire de Mécanique et Sciences des Matériaux, URMI 18, Institut National Polytechnique Houphouët Boigny, B.P 1093, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 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: *Objective:* Since solar energy allows decentralized production of electricity, it can help solve the problem of electrifying isolated sites where a large number of individuals do not have access to energy. This work aims to size a multi-source system for optimal management of the energy produced.

Method: We used an energy management strategy that is an algorithm, which determines at each moment the sharing of power between the different components of the system.

Findings: The sizing tools allowed us to establish relationships between the powers of the components by simple rules, to define the solar power and the storage volume necessary to meet the demand of a load on a given site.

Novelty: This study allowed us to set up an electrical architecture and a control strategy capable of limiting conversion losses and optimizing energy management within the system.

KEYWORDS: sizing, hybrid system, management strategy, algorithm, electrical architecture.

1 INTRODUCTION

The rapid depletion of fossil fuels worldwide has led to the search for new energy sources including renewable energies. Among the many alternatives, photovoltaics has been considered promising to meet the growing demand for energy [1]. Photovoltaic energy sources are inexhaustible, the conversion processes are less polluting and their availability is free [1; 2]. For remote systems such as telecommunication relays in desert areas, satellite ground stations or isolated sites that are far from a conventional energy system, hybrid systems have been considered attractive and preferred alternative sources [2; 3]. The new technological solutions proposed by hybrid generators, even if they are very complex compared to current single-source solutions, present on the other hand an obvious interest, considerable by their incomparable flexibility, their operating flexibility and their really attractive cost price [4 – 9]. However, these solutions require a laborious sizing based on a thorough knowledge of the renewable energy deposit of the installation site upstream, a rigorous management of the electrical energy produced downstream and a know-how that only experience in energy systems engineering can provide. Thus, several authors have studied hybrid energy production systems in order to find the optimal design. They have introduced different forms of optimization to find the right size and reduce the costs of hybrid systems [3; 4; 10 – 16]. However, there is not enough information on the hybrid photovoltaic – hydrogen energy storage – battery (PV-SEH-Batteries) energy production system. The objective of our study is therefore to size a hybrid photovoltaic – hydrogen energy storage – battery (PV-SEH-Batteries) system and to propose an optimal management method for the energy it produces. The aim is to propose a technological solution that will make it possible to exploit renewable energy resources for the production of electrical energy.

2 MATERIALS AND METHOD

2.1 MATERIALS

2.1.1 ARCHITECTURES OF HYBRID POWER GENERATION SYSTEMS

The electric generators of a hybrid power generation system can be connected in different configurations. Two configurations are essential among these hybrid power generation systems:

- DC bus architectures [16; 17];
- Mixed DC-AC bus architectures [4; 10 – 18].

The two-bus configuration (DC and AC) has higher performance compared to the single-bus configuration (DC) [19]. The implementation of the two-bus configuration is more complicated because of the parallel operation [19]. The inverter must be able to operate autonomously and non-autonomously by synchronizing the output voltages.

The hybrid system that is the subject of our study therefore has a DC bus configuration. Figure 2.1 shows the architecture of the system studied. It is a hybrid Photovoltaic system – Energy storage via Hydrogen – Batteries. This system includes a photovoltaic generator, an inverter, converters, a DC bus and an energy storage unit. The energy storage unit consists of:

- A lead-acid battery pack (A);
- An electrochemical generation and storage system (Fuel cell, Electrolyser) (B);
- A Hydrogen Energy Storage (SEH) Battery system (C).

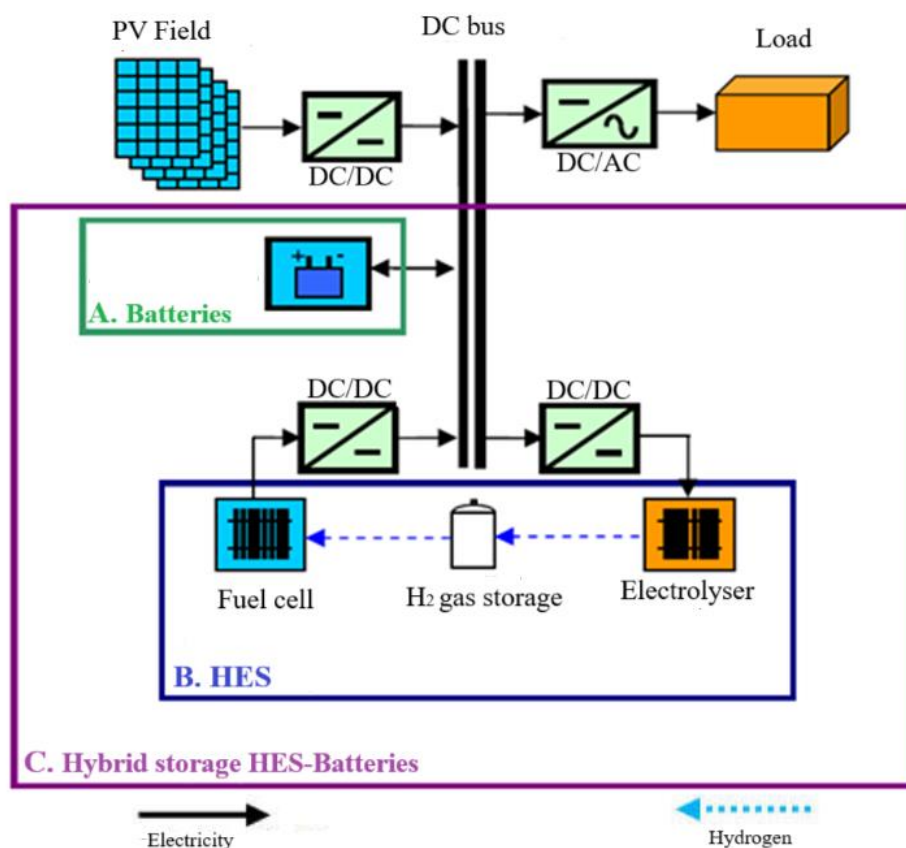


Fig. 1. Architecture of the system studied and the different types of storage

2.1.2 DESCRIPTION OF THE DIFFERENT ELEMENTS OF THE SYSTEM STUDIED

2.1.2.1 PHOTOVOLTAIC GENERATOR

Mainly composed of a photovoltaic (PV) field coupled to a DC/DC converter, the photovoltaic generator is the main source of energy production. It results from the association of PV modules mounted in series and in parallel. The energy generated by the PV system is affected by solar irradiation, temperature and cell type [10; 20].

2.1.2.2 CONVERTERS

The role of converters is to balance the energy flow between DC and AC elements.

For this purpose, three types of converters are often encountered in hybrid energy production systems, namely [21]:

- AC/DC rectifiers: These are simple devices with good efficiency and low cost, which are often used to charge batteries from an AC source;
- DC/AC inverters: They can operate autonomously to power AC loads or in parallel with AC sources. Inverters are autonomous when they impose their own frequency on the load. The non-autonomous inverter requires the presence of an AC source to operate;
- DC/DC choppers are used to adapt the voltage between two different sources.

2.1.2.3 ENERGY STORAGE UNIT

Energy storage is often used in hybrid energy production systems in order to be able to power the load for a relatively long period (hours or even months). The storage system also makes it possible to store energy in the event of excess production and to compensate for any temporary energy or power deficits during consumption peaks [22].

2.1.2.4 BATTERIES

Most of the batteries used in hybrid power generation systems are lead-acid [17]. Choosing the appropriate size of the battery pack requires an inclusive analysis of the battery charge and discharge requirements [17].

In our case, this pack is directly connected to the DC bus and imposes its voltage on it. Four 12-volt batteries are connected in series to have an open-circuit voltage of 48 volts. In operation, this voltage varies between 44 and 56 volts.

2.1.2.5 FUEL CELLS

A promising technology for efficient and clean electricity production [23], the fuel cell directly converts chemical energy into electrical energy. Its operating principle is quite simple and based on the reverse process of electrolysis [24].

The Proton Exchange Membrane (PEM) technology fuel cell with a lifespan of more than 30,000 hours in operation was used in this study [23], due to its simple peripheral and easy evacuation of the water produced.

In the case of using the SEH as sole storage, the presence of a very low capacity battery pack ensures the maintenance of the DC bus voltage.

2.1.2.6 ELECTROLYZER

An alkaline electrolyzer was used for our study because it has very good performance at the cell level (potential efficiency: 80%, faradaic efficiency: 99%) but has a complex peripheral that induces high intrinsic consumption. However, optimizing its peripheral will allow us to obtain the best overall efficiencies. We will use a high-pressure electrolyzer to avoid the use of an energy-consuming compressor in order to reduce the size of the gas storage unit [25].

2.2 SYSTEM SIZING METHOD

The hybridization of a power generation system allows to smooth the power delivered by the energy source and the bearing for a limited period, a partial or total unavailability of the energy source. The design of a hybrid power generation system requires the selection and sizing of the most appropriate combination of energy sources, converters and the storage system,

as well as the implementation of an effective management strategy [26]. Sizing software is therefore an essential tool for the analysis and comparison of the different possible combinations of sources used in hybrid power generation systems. The main factors of the sizing are [26]:

- The environmental conditions of the site such as irradiance, temperature, humidity and wind speed;
- The load profile.

For the sizing of the system components, the following parameters are defined:

- The peak power of the solar field;
- The nominal power of the electrolyser and fuel cell components;
- The nominal capacity of the battery storage;
- The gas storage volume.

Part of the system parameters is set by analyzing its operation and its components. The other part is determined by optimization routines (these are .m files written in Matlab language that are called by the simulator.mdl file) to complete the definition of the system in terms of sizing.

2.2.1 SIZING ASSUMPTIONS FOR STORAGE COMPONENTS

2.2.1.1 ELECTROLYZER SYSTEM

The nominal power (P_{nomel}) of the electrolyzer system is set proportionally to the peak power of the solar field ($P_{PV\ peak}$), translated by the following relationship [27]:

$$P_{nomel} = K_{el} \times P_{PV\ peak} \quad (1)$$

K_{el} : dimensional coefficient of the electrolyser. This coefficient depends on the type of storage used.

2.2.1.2 HYDROGEN ENERGY STORAGE (HES) ALONE

If HES is the only means of storage, then the nominal power (P_{nomel}) must be equal to the maximum power that can be produced by the solar field for maximum production of dihydrogen [27 – 29].

2.2.1.3 HYBRID HES-BATTERIES STORAGE

In this case, the expressed needs in dihydrogen are lower due to the presence of batteries that provide part of the energy demand. There is therefore an interaction between the dimensional parameters K_{el} and C_{nom} (nominal capacity of the batteries) whose adequate values were determined following a sensitivity study [27; 29 – 32].

2.2.2 SENSITIVITY STUDY

This part studies the impact of the dimensional parameters K_{el} for the electrolyser and C_{nom} for the batteries on the performance and the results of the sizing of the PV-HES-Batteries system. The aim is to determine the values of the couple (K_{el} , C_{nom}) which allows to obtain better simulation results [4; 29].

The case studied here concerns the INP-HB Center of Yamoussoukro (Ivory Coast). A load profile corresponding to an unfavorable case was used. The daily variation amplitudes (60% of the daily average power) and seasonal variation (30% of the annual average power) are significant [29]. The daily phase shift is 8 hours compared to noon (higher consumption in the evening) and the seasonal phase shift is 30 days compared to January 1st.

According to the work of BOYA BI et al., (2020) and J. LABBE., (2006), the recommended values of these dimensional parameters are: $K_{el} = 0.8$ and $C_{nom} = 1$.

It is on these values that we will rely to size our system.

2.2.3 FUEL CELL SYSTEM

Regardless of the type of storage used, the nominal power of the fuel cell system is set so that it can ensure the supply of energy to the load. This nominal power of the fuel cell system is given by the following equation [27 – 29]:

$$P_{nomfc} = K_{fc} \times P_{maxload} \quad (2)$$

The coefficient K_{fc} is introduced to take into account the losses in the DC/DC and DC/AC converters. The observation of the converter efficiencies over a year of simulation made it possible to evaluate the value of K_{fc} . Thus, the value of K_{fc} obtained is $K_{fc} = 1.1$ [27 – 29].

2.2.4 BATTERY SYSTEM

The available capacity of the battery pack must be able to allow the hybrid system to be autonomous for a few days during the most unfavorable period. For a PV-Batteries system, this autonomy is set at four days [27 – 32]. For a PV-HES Batteries system, the number of days of autonomy is set at 1 [27 – 32].

2.2.5 CONVERTERS

Their nominal powers correspond to the nominal powers of the components to which they are connected.

2.2.6 PHOTOVOLTAIC (PV) FIELD SIZING

2.2.6.1 CASE OF PV-HES AND PV-HES-BATTERIES SYSTEMS

An optimization algorithm (dichotomy) determines the peak power of the PV field so that the energy initially present in the storage at the beginning of the simulation year is equal to that present at the end of the simulation, which reflects the energy autonomy of the system over the year of operation [29].

For PV-HES and PV-HES-Batteries systems, the observed energy variable is the quantity of dihydrogen in terms of the number of moles in the gas storage. This variable (quantity of dihydrogen) is first set at a high threshold and its variation in the storage must be globally zero over the year [27 – 29; 33]. This assumes that the peak power of the PV field must be determined so that the production of dihydrogen by the electrolyser over the year is equal to the consumption of the fuel cell [29]. The energy management algorithm ensures that the state of charge SOC of the batteries is between the minimum SOC_{min} and maximum SOC_{max} limits allowed for the PV-HES-Batteries system [3; 29; 34].

2.2.6.2 PV-BATTERIES SYSTEM

Here, the peak power of the installed PV field is calculated by optimization so that the state of charge of the battery system (SOC) does not exceed the minimum authorized limit (SOC_{min}).

The energy management algorithm ensures that the battery storage usage condition is respected ($SOC < SOC_{max}$) [3; 19; 29; 34]. This approach is explained by the fact that the batteries are used daily for storage.

2.2.7 SIZING THE GAS STORAGE VOLUME

This consists of calculating the total quantity of dihydrogen produced by the electrolyser and the total quantity of dihydrogen consumed by the fuel cell. The difference between these two quantities every month corresponds to the storage volume [29].

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 PARAMETERS OF THE DIFFERENT COMPONENTS OF THE SYSTEM

The following tables present the different input parameters of the simulator for each component of the systems studied.

Tableau 1. Simulation time parameters

Parameter name	Value	Unit	Description
t_{max}	24×365	Hour	Duration of the simulation

Tableau 2. PV field parameters (PW1650 produced by PHOTOWATT)

Parameter	Value	Unit	Description
N_{PV}	32	No unit	Number of solar modules
P_{max}	165	W	Maximum power of a module
$\mu_{P_{max}}$	-0.0043	W. °C ⁻¹	Coefficient of variation of module power with temperature
NOCT	47.1	°C	Operating temperature of solar modules under standard conditions
$P_{PV-peak}$	$N_{PV} \times P_{max}$	W	Installed peak power of the PV field

Tableau 3. Lead acid battery pack parameters (Battery type: PowerSafe, 12XP160 manufactured by ENERSYS, sealed lead acid battery)

Parameter	Value	Unit	Description
$U_{Bat\ nom}$	12	V	Nominal voltage of a unit block
C_{nom}	140	Ah	Nominal capacity of a unit block
I_{nom}	14	A	Nominal discharge current
ns	4	No unit	Number of branches in series
np	A calculer	No unit	Number of branches in parallel (in the case of SEH-battery hybrid storage: 1 day of autonomy without sun).

Tableau 4. The different states of charge (SOC) of the battery pack [27; 29]

Parameter	Value	Unit	Description
SOC_{min}	30	% C_{nom}	SOC Minimum allowed
SOC_{max}	95	% C_{nom}	SOC Maximum allowed
SOC_{min1}	50	% C_{nom}	SOC Minimum intermediate
SOC_{max1}	90	% C_{nom}	SOC Maximum intermediate

Tableau 5. Electrolyzer parameters

Parameter	Value	Unit	Description
$P_{nom\ el}$	3600	W	Initial nominal power
$N_{cel\ el}$	16	No unit	Number of cells in series
A_{el}	300	cm ²	Cell surface area
V_{EL}	1,84	V	Voltage of an elementary cell of the electrolyser
J_{EL}	0,57	A.cm ⁻²	Current density of an elementary cell of the electrolyser
π_{el}	10	bar _{abs}	Operating pressure of the electrolyser
τ	0,45	m ³ /h	Maximum rate of production of dihydrogen (H ₂)

Tableau 6. Dimensional coefficient of the electrolyser

Parameter	Value	Unit	Description
P_{nom_el}	$K_{el} \times P_{crête\ py}$	W	Nominal power after dimensioning
With HES as the only storage			
K_{el}	1	No unit	Electrolyzer scaling factor
With HES-battery hybrid storage			
K_{el}	0.8	No unit	Electrolyzer scaling factor

Tableau 7. Operating power of the electrolyser

Parameter	Value	Unit	Description
P_{min_el}	$0.1 \times P_{nom_el}$	W	Minimum authorized power
P_{max_el}	P_{nom_el}	W	Maximum authorized power

Tableau 8. Fuel cell parameters (NEXATM module manufactured by Ballard)

Parameter	Value	Unit	Description
P_{nom_fc}	1200	W	Initial nominal power
N_{cel_fc}	50	No unit	Number of cells in series
A_{fc}	100	cm ²	Cell surface area
V_{pac}	0,83	V	Voltage of an elementary cell of the PAC
J_{pac}	0,29	A.cm ⁻²	Current density of an elementary cell of the PAC
S_{H_2}	1,01	No unit	Stoichiometry of dihydrogen
S_{O_2}	1,01	No unit	Stoichiometry of dioxygen
$\pi_{fc_H_2}$	3	bar _{abs}	Operating pressure on the hydrogen side of the fuel cell
$\pi_{fc_O_2}$	3	bar _{abs}	Operating pressure on the oxygen side of the fuel cell
Nb_{fc}	3	No unit	Number of fuel cells started up according to the load to be supplied

Tableau 9. Fuel cell operating power

Parameter	Value	Unit	Description
P_{min_fc}	0	W	Minimum power

Tableau 10. HES-battery hybrid storage

Parameter	Value	Unit	Description
P_{min_el}	$0.1 \times P_{nom_el}$	W	Minimum authorized power
P_{max_el}	P_{nom_el}	W	Maximum authorized power

Tableau 11. Gas storage tank parameters

Parameter	Value	Unit	Description
V	5	m ³	Tank volume (value we have fixed)
P_0	101320	Pa	Atmospheric pressure under standard conditions
P_{min_stock}	3	bar _{abs}	Minimum pressure in the tank
P_{max_stock}	10	bar _{abs}	Maximum pressure in the tank
R	8.314	SI	Ideal gas constant

Tableau 12. Converter parameters

Parameter	Value	Unit	Description
$\eta_{10_DC/DC}$	93	%	Efficiency at 10% of the nominal power of the DC/DC converter
$\eta_{100_DC/DC}$	98	%	Efficiency at 100% of the nominal power of the DC/DC converter
P_{nom_DC/DC_PV}	$P_{max\ load}$	W	Nominal power of the DC/DC converter of the PV field
P_{nom_DC/DC_EL}	$P_{nom\ el}$	W	Nominal power of the DC/DC converter of the electrolyser
P_{nom_DC/DC_FC}	$1.1 \times P_{max\ load}$	W	Nominal power of the DC/DC converter of the fuel cell

Tableau 13. Inverter parameters

Parameter name	Value	Unit	Description
η_{10_ond}	86	%	Efficiency at 10% of the inverter's nominal power
η_{100_ond}	97	%	Efficiency at 100% of the inverter's nominal power
P_{nom_ond}	$P_{max\ load}$	W	Inverter nominal power

3.2 ENERGY MANAGEMENT ALGORITHMS

Various energy management scenarios can be proposed depending on the available energy sources, energy consumption and the state of charge of the batteries for 24 hours to ensure the proper execution of the algorithm [28; 29; 35; 36]. For our study, we used computer simulation software, namely Matlab®-Simulink version R2012a, which allows us to determine, at any time, the operation of the different elements constituting the energy production system.

3.2.1 DIFFERENT OPERATING MODES OF THE SYSTEM

The hybrid energy production system studied is composed of a 5 kW PV field, a fuel cell with a power of 3.6 kW and a battery pack with a nominal capacity of 140 Ah per battery. The hybrid energy production system is designed to supply a load (DC or AC) and an electrolyser. It is considered that:

- The PV field is the main source;
- The battery pack is used as a source or a load depending on whether there is a production deficit or an overproduction of the PV field;
- The fuel cell is a backup source;
- The load is always connected;
- The electrolyser is an auxiliary load to dissipate the surplus production.

To simplify the study, we assume that each component has two states (active and inactive) depending on the periods of the day. Indeed, depending on the available energy sources, the energy consumption and the state of charge of the batteries, different operating scenarios of the system are observed. Tables 14 and 15 give the state of each component of the hybrid system.

Tableau 14. Status of each component constituting the hybrid system [27 – 29]

State		Active	Inactive
Main source	Photovoltaic field	On a sunny day	<ul style="list-style-type: none"> • During the night • During a cloudy day • In case of breakdown
Auxiliary sources	Batteries	<ul style="list-style-type: none"> • During the incapacity of the primary source, for example when : <ol style="list-style-type: none"> 1. The weather conditions are poor ; 2. Load demand exceeds production ; 3. In case of failure of the main source • When the state of charge is between 50 and 90% 	<ul style="list-style-type: none"> • During normal operation of the main source (PV) • Load demand equal to or less than production ($P_{load} \leq P_{PV}$)
	Fuel cell	<ul style="list-style-type: none"> • During main sources incapacity, • Battery SOC below low threshold ($SOC_{min} < 0,5$) 	
Main load	DC & AC	The load is always connected.	
Auxiliary loads	Battery	In case of excess energy and SOC is lower than low threshold	When SOC is above high threshold ($SOC_{max} = 0,90$).
	Electrolyser	In case of excess energy and SOC is higher than high threshold.	In case of energy shortage or demand is satisfied ($P_{load} = P_{SP}$)

Tableau 15. Different operating scenarios of the hybrid system [27 – 29]

Case	Period	PV	Batteries	P_{Diff}	FC	SOC	EL	Description		
1	On a sunny or cloudy day	Ok	Rest	$P_{Diff} = 0$	OFF	$0,5 < SOC < 0,9$	OFF	$P_{load} = P_{PV}$		
2		Ok	Dump (source)	$P_{Diff} < 0$				OFF	$0,5 < SOC < 0,9$	$P_{load} = P_{PV} + P_{Bat}$
3		x								$P_{load} = P_{Bat}$
4		Ok	Rest		$P_{Diff} < 0$	ON		$SOC < 0,5$	$P_{load} = P_{PV} + P_{FC}$	
5		x		$P_{load} = P_{FC}$						
6		Ok	Loaded (load)	$P_{Diff} > 0$	OFF	$SOC > 0,9$		ON	$P_{PV} - P_{load} = P_{Bat}$	
7		Ok	Rest	$P_{Diff} > 0$	OFF	$SOC > 0,9$		ON	$P_{PV} - P_{load} = P_{EL}$	
8	During the night	x	Dump	$P_{Diff} < 0$	OFF	$0,5 < SOC < 0,9$	OFF	$P_{load} = P_{Bat}$		
9		x			Rest		ON	$SOC < 0,5$	OFF	$P_{load} = P_{Bat} + P_{FC}$
		Ok								$P_{load} = P_{FC}$
	Ok	Normal operation (active)								
	x	Inactive								

3.3 SUPERVISION SYSTEM OF THE HYBRID ENERGY PRODUCTION SYSTEM

The energy management between the different components of the hybrid energy production system is ensured by a management technique based on deterministic rules. It is designed taking into account all the operating scenarios of this hybrid system studied. The flowchart in figure 2 gives the operating principle of the energy management strategy of the hybrid system. First, the parameters of the different subsystems and the climatic data (temperature, illumination) were initialized. Then, the total power P_{MS} produced by the main source (PV) and the demand of the load P_{load} evaluated at each moment were estimated, in order to calculate the power difference P_{Diff} .

$$P_{Diff} = P_{MS} - P_{load} \tag{3}$$

If $P_{Diff} = 0$, all the power produced by the main PV source is equal to the power required by the main load ($P_{MS} = P_{load}$). Therefore, the state of charge of the batteries remains constant (batteries at rest) neglecting their self-discharge. The switches S (between the electrolyser and the DC bus) and S_f (between the fuel cell and the DC bus) are in OFF state.

If $P_{Diff} > 0$, the power generated by the main source (PV) is greater than the load demand. Therefore, there is enough energy to power the load and store the excess.

If $P_{Diff} < 0$, the energy produced by the PV source is not enough to power the load. In this case, the batteries and the fuel cell intervene to provide the energy needed to cover the load demand.

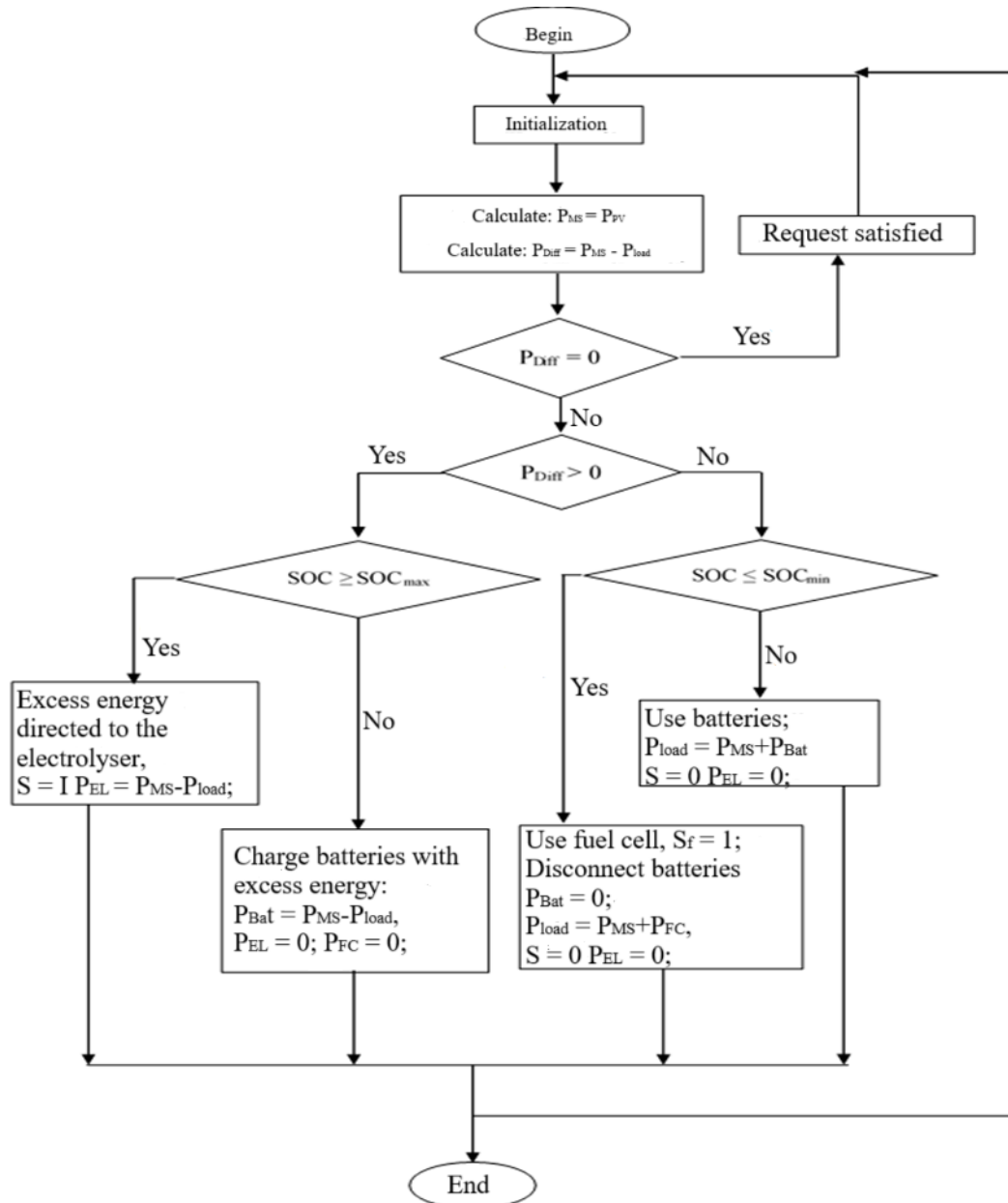


Fig. 2. Energy management flowchart of the hybrid power generation system

3.4 SIMULATOR INPUTS AND OUTPUTS

The input data required to simulate a year of operation are:

- The three annual profiles (Load profile, Sunshine profile, Ambient temperature profile);
- The component parameters.

The input profile for the load is an active power vector (in Watt peak) sampled in ten-minute time steps. An annual profile of global solar irradiation (in Wh.m⁻² and in the same ten-minute time step) is provided for sunshine. Many parameters must be entered before starting the simulation [29].

We can classify these parameters into characteristic parameters of the components (fixed) on the one hand, and on the other hand into component dimension parameters (adjusted during the dimensioning phases).

3.4.1 LOAD PROFILES

Here, the load is of the individual housing type on an isolated site (autonomous over a year of operation).

Our approach is purely deterministic. The probable hazards at the load level (occasional consumption peaks) are not taken into account, the objective being the study of the proposed system according to the climatic conditions.

These synthesized annual load profiles start on January 1 of the year 2023 in Côte d'Ivoire (Yamoussoukro, INP-HB-Centre) and have a time step of ten minutes. Their construction is based on a sinusoidal function of time, whose phase shift and amplitude have a daily and seasonal variation.

All load profiles are defined by five parameters:

1. The annual average power (set at 1.72 kW);
2. The seasonal amplitude (10, 20, 30, 40 and 50% of the annual average power);
3. The seasonal phase shift (30 or 210 days, corresponding to higher consumption depending on the seasons of the year);
4. The daily amplitude (20, 40, 60 and 80% of the daily average power);
5. The daily phase shift (0, 4, 8 and 12 hours).

By combining these different amplitudes and phase shifts, we obtain one hundred and sixty (160 = 5 × 2 × 4 × 4) load profiles that are generated, corresponding to one hundred and sixty different users. Figures 3 and 4 allow us to visualize the different amplitudes and phase shifts on the profiles.

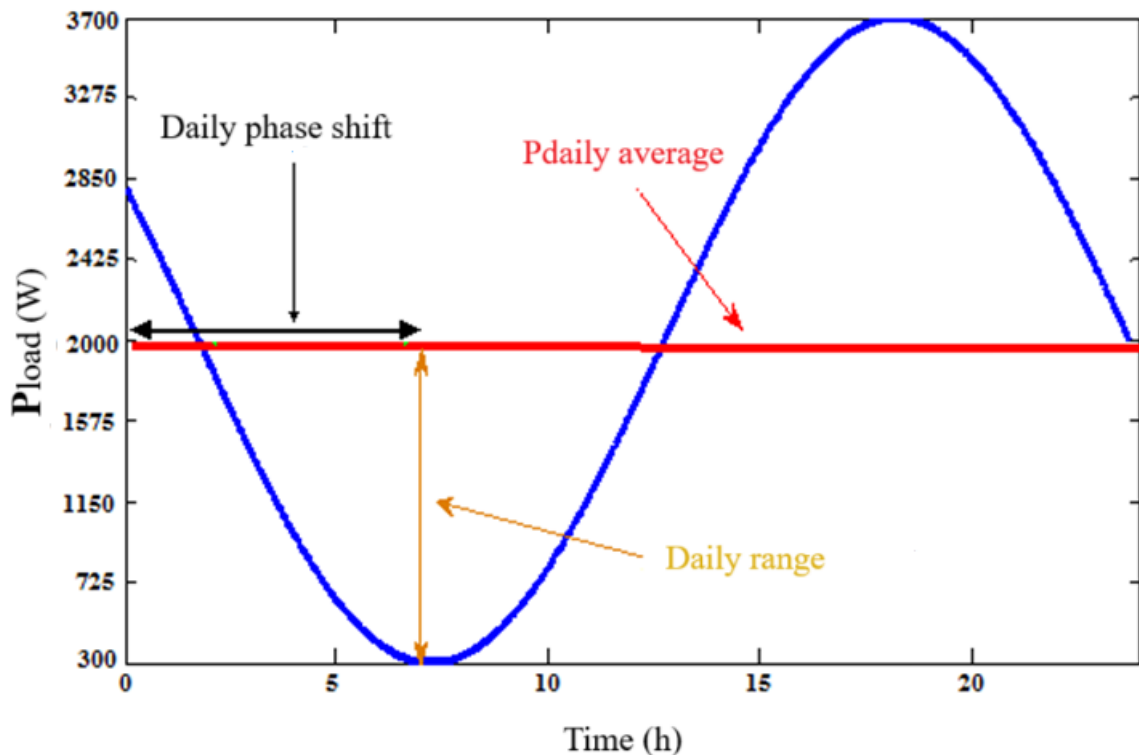


Fig. 3. Daily load profile (Daily variation in consumption)

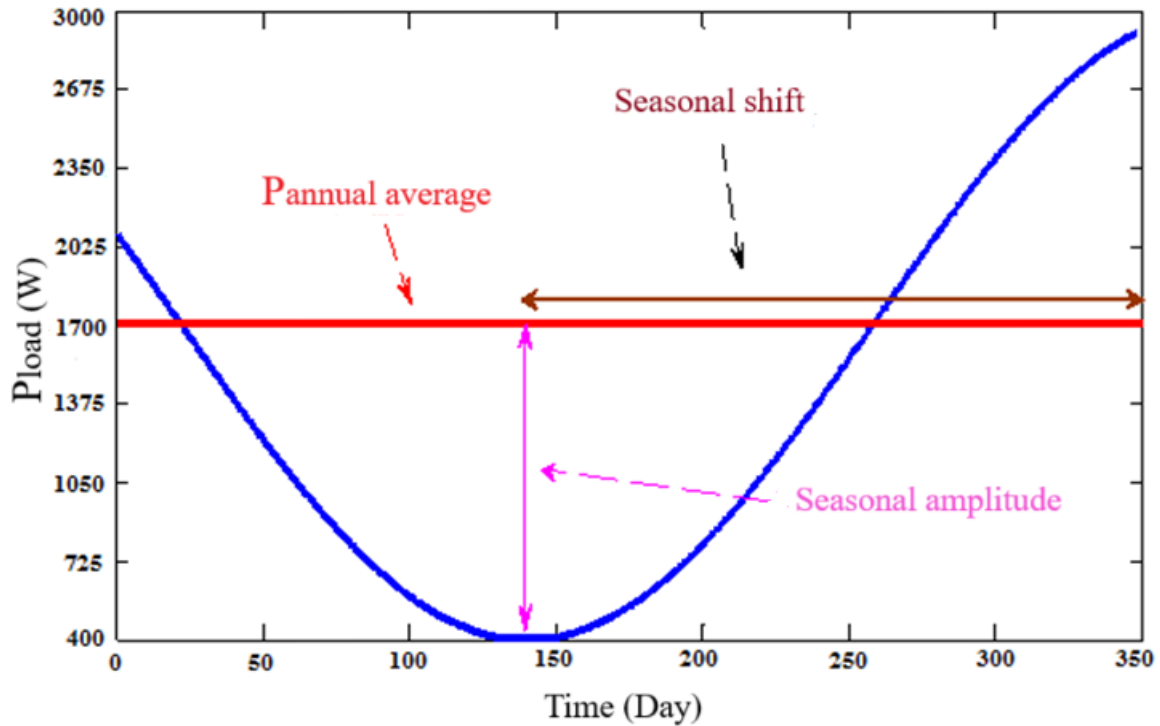


Fig. 4. Annual load profile (Annual variation of average daily power)

3.4.2 SUNSHINE PROFILES

3.4.2.1 SUNSHINE PARAMETERS

Installing a photovoltaic field involves defining several parameters beforehand, namely the inclination of the panels relative to the horizontal plane and the orientation of the panels relative to the cardinal points (azimuth).

The choice of the inclination and azimuth of the photovoltaic panels depends on the needs of the end user.

3.4.2.1.1 THE INCLINATION OF THE PANELS

It allows, depending on the season, the adjustment of the captured solar energy. Thus, low inclinations maximize the production of the solar field over certain periods and high inclinations maximize production during other periods of the year in the northern hemisphere. For a given location and annual solar irradiation profile, an inclination can be determined that maximizes the capture of solar energy over the year. Figure 5 shows an example of variations in solar insolation as a function of the inclination of the solar field for January 1 of a typical year in Yamoussoukro (azimuth: due south). These data are theoretical and were taken from the PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) database.

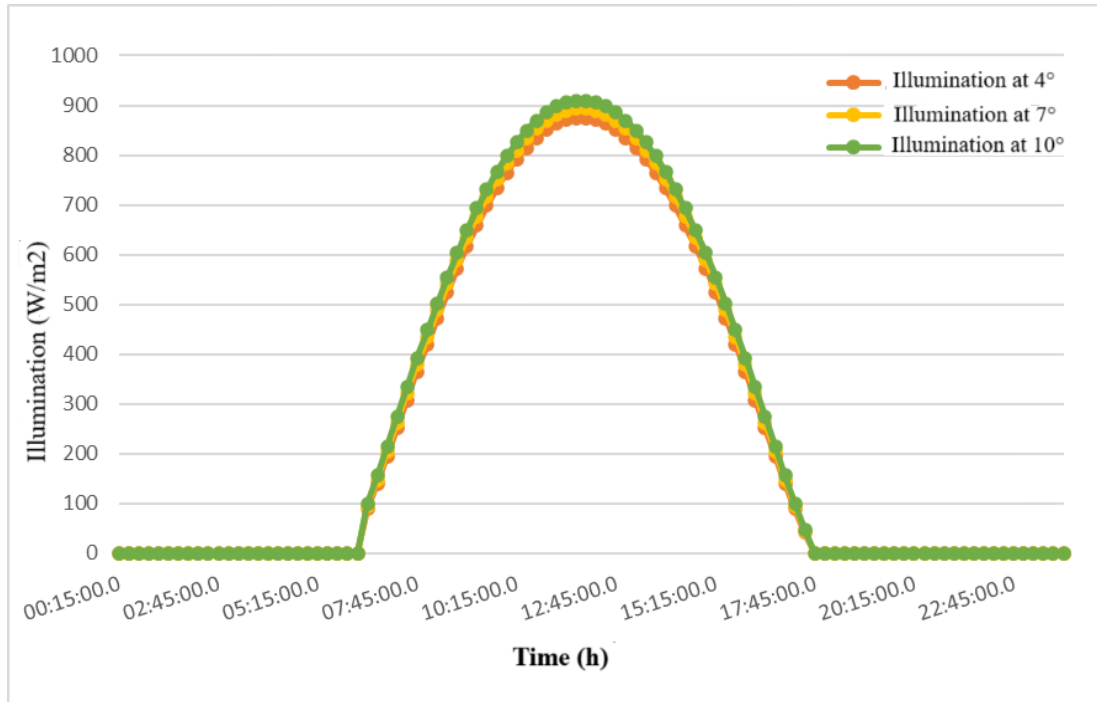


Fig. 5. variation of illumination according to the inclination of the photovoltaic solar panels, for the first day of January for a typical year at INP-HB-CENTRE [37; 38]

Tableau 16. Available sunshine as a function of inclination; the month of January for a typical year at INP-HB-CENTRE [37; 28]

Tilt	4°	7°	10°
Daily sunshine (Wh/m²/j)	4243,67	4361,5	4464

The daily solar energy available for the same day, at the same location but for different inclinations, is presented in Table 16. It is clear that the available solar energy increases with the inclination of the panels.

3.4.2.1.2 CHOICE OF PANEL INCLINATION

The inclination of the panels depends on the consumption profile of the end user and the storage system considered. Regardless of the type of use, the panels are inclined so as to capture the maximum amount of energy during the year.

3.4.2.1.3 AZIMUTH

It allows the adjustment of the daily capture of solar energy. Maximum solar irradiation generally occurs at noon (sun at its zenith), therefore, a due south orientation (in the northern hemisphere) therefore allows the maximum collection of solar energy at the time when irradiation is at its maximum. By directly using the energy captured by the field, if the user’s needs are greater in the morning, a south-east orientation of the panels will be preferred in order to capture as much as possible at this time of day [27; 29].

3.4.2.1.4 CHOICE OF AZIMUTH

The load profiles that we tested have different daily phase shifts. We could have adjusted the azimuth of the solar panels according to the value of the daily phase shift of the tested profile. The number of cases to be considered would have increased considerably.

In order to focus on the most relevant parameters and given that our study is located in the northern hemisphere, the azimuth was therefore deliberately set due south.

3.4.2.1.5 SUNSHINE PROFILES

The sunshine profiles used come from the PVGIS database [39]. These are "typical" year profiles, synthesized from real measurements taken over several years.

The data collected with an hourly step are the overall sunshine (W/m^2) and the ambient temperature ($^{\circ}C$). The data are then interpolated to generate profiles with a ten-minute time step.

The chosen geographical location is Yamoussoukro (INP-HB-CENTRE, Energy Engineering) whose coordinates are: $6^{\circ}52'52''$ North Latitude, $5^{\circ}13'47''$ West Longitude and the azimuth (due south).

There will therefore be two sunshine profiles in reality which correspond to the inclinations maximizing energy capture:

- Over the year (inclination 1),
- Over the most unfavorable period (inclination 2).

The following table 17 presents the information relating to the chosen location [37; 38].

Tableau 17. Coordinates of the chosen location and associated inclinations

Tilt	INP-HB-CENTRE
Coordinates	$6^{\circ}52'52''$ North Latitude, $5^{\circ}13'47''$ West Longitude
Tilt 1	4°
Tilt 2	10°

4 CONCLUSION

The dimensioning allows to obtain a good overall operation and limits the cost of the installation. It allowed us to establish relationships between the powers of the components by simple rules, to define the solar power and the storage volume necessary to meet the demand of a load on a given site. The choice of electrochemical components is difficult because it is necessary to find the best compromise between efficiency, reliability and durability. Thus, the alkaline electrolyser seemed preferable to us for its efficiency and its lifespan. On the other hand, its peripheral must be optimized in terms of reliability and intrinsic consumption. The PEM technology fuel cell was chosen for its fast start-up time, its solid structure, its insensitivity to CO_2 and its compactness. A sensitivity study was carried out in order to determine the values of the torque (K_{el} , C_{nom}) allowing to obtain better simulation results. This study also made it possible to set up an electrical architecture and a control strategy capable of limiting conversion losses and optimizing energy management within the system.

REFERENCES

- [1] V. Khare, S. Nema, P. Baredar, «Solar–wind hybrid renewable energy system», a review. *Renew Sustain Energy Rev*; 58: 23–33, 2016.
- [2] B. Boya Bi, P. Gbaha, « Sizing of an electric energy production hybrid system», *Asian Journal of Science and Technology*, Vol. 08, Issue, 11, pp.6669-6676, November, 2017.
- [3] R. Belfkira, L. Zhang, G. Barakat, «Optimal sizing study of hybrid wind/PV/diesel power generation unit», *Solar Energy* 85 100–110, 2011.
- [4] Y. Sawle, S. C. Gupta, A. K. Bohre, «Review of hybrid renewable energy systems with comparative analysis of off-grid hybrid system», *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 81 2217–2235, 2018.
- [5] M. Y. Masip, V. Javier, C. L. Ramirez, D. Wolfgang, « Assessment of on-site steady electricity generation from hybrid renewable energy systems in Chile», *Applied Energy (Elsevier)*, Vol.250, pp.1548 – 1558, 2019.
- [6] E. Omar, A. Abdulrahman, «Integrated Economic Adoption Model for residential grid-connected photovoltaic systems: An Australian case study», *Energy Reports (Elsevier)*, Vol.5, 310 – 326, 2019.
- [7] K. Ibrahim, S. Chindo, «Renewable energy consumption and economic growth nexus: A fresh evidence from West Africa», *Energy Reports (Elsevier)*, Vol.5, pp. 384 – 392, 2019.
- [8] Razmjoo, R. Shirmohammadi, A. Davarpanah, F. Pourfayaz, A. Aslani, «Stand-alone hybrid energy systems for remote area power generation», *Energy Reports (Elsevier)*, Vol.5, pp.231 – 241, 2019.
- [9] M. Child, C. Kemfert, D. Bogdanov, C. Breyer, «Flexible electricity generation, grid exchange, storage for the transition to a 100% renewable energy system in Europe», *Renewable Energy (Elsevier)*, Vol.139, pp. 80 – 101, 2019.

- [10] M. Hemeidaa, M. H. El-Ahmarb, A. M. El-Sayedc, H. M. Hasaniend, S. Alkhalafe, M. F. C. Esmaila, T. Senjyuf, «Optimum design of hybrid wind/PV energy system for remote area», *Ain Shams Engineering Journal* 11, 11–23, 2020.
- [11] S. Sarangthem, F. Eugene, «Modeling size optimization and sensitivity analysis of a remote hybrid renewable energy system», *Energy*; 143: 719–31, 2018.
- [12] K. Abbla, B. S. Chokri, R. Djamilia, M. M. Faouzi, «Sizing methodology for hybrid photovoltaic/wind/hydrogen/battery integrated to energy management strategy for pumping system», *Energy*; 153: 743–62, 2018.
- [13] G. Narges, K. Alibakhsh, T. Ashkan, B. Leyli, M. Amin, «Optimization a hybrid wind-PV-battery system using GA-PSO and MOPSO for reducing cost and increasing reliability», *Energy*; 154: 581–91, 2018.
- [14] A. Masud, «The application of Homer optimization software to investigate the prospects of hybrid renewable energy system in rural communities of Sokoto in Nigeria», *Int J. Elec Comp Eng (IJECE)*; 7 (2): 596–603, 2017.
- [15] M. Jayachandran, G. Ravi, «Design and optimization of hybrid micro-grid system», *Energy Procedia*; 117: 95–103, 2017.
- [16] R. Dufo-Lopez, I. R. Cristóbal-Monreal, J. M. Yusta, «Stochastic-heuristic methodology for the optimization of components and control variables of PV-wind-diesel-battery stand-alone systems», *Renewable Energy* 99, 919-935, 2016.
- [17] Askarzadeh, L. D. S. Coelho, «A novel framework for optimization of a grid independent hybrid renewable energy system: A case study of Iran», *Solar Energy* 112, 383–396, 2015.
- [18] Alzgoool, M., Khalaf, A.A., Nasan, O., Khatabi, L., Alrifai, M.A. (2023). Design and simulation of a renewable energy-based smart grid for Ma'an City, Jordan: A feasibility study. *International Journal of Energy Production and Management*, 8 (4): 219-227. <https://doi.org/10.18280/ijepm.080403>.
- [19] L. Huang, «Research on optimal configuration of AC/DC hybrid system integrated with multiport solid-state transforms and renewable energy based on a coordinate strategy», *Electrical Power and Energy Systems* 119, 105880, 2020.
- [20] S. Irtaza, «Near-optimal standalone hybrid PV/WE system sizing method», *Sol Energy*; 157: 727–34, 2017.
- [21] Neffati, «Stratégies de gestion de l'énergie électrique d'un système multi-source: décision. Floue optimisée pour véhicule électrique hybride», Thèse de Doctorat, Université de Toulouse III Paul Sabatier, 2013.
- [22] G. Koucoi, D. Yamegueu, Quoc-Tuan Tran, Y. Couliblay, H. Buttin, «Energy Management Strategies for Hybrid PV / Diesel Energy Systems: Simulation and Experimental Validation», *Int J Energy Power Eng*; 5: 6–14. doi: 10.11648/j.ijepe.20160501.12, 2016.
- [23] G. Shen, J. Liu, H. Bin Wu, P. Xu, F. Liu, C. Tongsh, K. Jiao, J. Li, M. Liu, M. Cai, J. P. Lemmon, G. Soloveichik, H. Li, J. Zhu, Y. Lu, «Multi-functional anodes boost the transient power and durability of proton exchange membrane fuel cells», *Nature Communications* | 11: 1191. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14822-y> www.nature.com/naturecommunications, 2020.
- [24] N.M. Sid, M. Becherif, K. Marouani, H. Alloui, «Gestion de l'énergie d'un système hybride pile à combustible/ batterie basée sur la commande optimale», *Mediterranean Journal of Modeling and Simulation*, Vol. 03, pp. 010 – 024, 2015.
- [25] M. Nordio, F. Rizzi, G. Manzolini, M. Mulder, L. Raymakers, M. van S. Annaland, F. Gallucci and, « Experimental and modelling study of an electrochemical hydrogen compressor», *Chemical Engineering Journal (Elsevier)*, Vol.369, pp. 432 – 442, 2019.
- [26] M. A. Elhadidy, S. M. Shaahid, «Parametric study of hybrid (wind + solar + diesel) power generating systems», *Renewable Energy*, vol. 66 n 1, pp 129-139, 1999.
- [27] J. Labbé, «l'Hydrogène électrolytique comme moyen de stockage d'électricité pour systèmes photovoltaïques isolés», Thèse de doctorat de l'École des Mines de Paris, N° d'ordre: 1434, 2006.
- [28] Boya Bi, K. B. Koua, P. Gbaha, E. P. M. Koffi, «Etude d'un système hybride de production d'énergie», *Afrique SCIENCE*, vol.16 n°5, pp 203 – 217, 2020.
- [29] Bati Ernest Boya Bi, « Etude et Modélisation d'un système hybride (Piles à combustible-panneaux solaires photovoltaïques) pour la couverture totale en énergie électrique d'un site isolé en zone rurale», Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique Houphouët Boigny (INP-HB) de Yamoussoukro: 2020.
- [30] Ma, T., Li, M., Kazemian, A. (2020). Photovoltaic thermal module and solar thermal collector connected in series to produce electricity and high-grade heat simultaneously. *Applied Energy*, 261: 114380. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114380>.
- [31] Rahimi, M., Azimi, N., Nouira, M., Shahsavar, A. (2023). Experimental study on photovoltaic panels integrated with metal matrix sheets and bio-based phase change materials. *Energy*, 262: 125371. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125371>.
- [32] Ventura, C., Tina, G.M., Gagliano, A., Aneli, S. (2021). Enhanced models for the evaluation of electrical efficiency of PV/T modules. *Solar Energy*, 224: 531-544. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.06.018>
- [33] E. Ogliari, F. Grimaccia, S. Leva, M. Mussetta, «Hybrid Predictive Models for Accurate Forecasting in PV Systems», *Energies*, Vol.6, pp. 1918 – 1929, 2013.
- [34] H. Shayeghi, Y. Hashemi, «Potentiometric of the Renewable Hybrid System for Electrification of Gorgor Station», *Journal of Operation and Automation in Power Engineering* Vol. 8, No. 1, Pages: 1-14, Feb. 2020.

- [35] J. Li, S. Wang, L. Ye, J. Fang, «A coordinated dispatch method with pumped-storage and battery-storage for compensating the variation of wind power», *Protection and Control of Modern Power Systems* 3: 2 DOI 10.1186/s41601-017-0074-9, 2018.
- [36] X. Li, L. Yao, D. Hui, «Optimal control and management of a large-scale battery energy storage system to mitigate fluctuation and intermittence of renewable generations», *State Grid (Springer)*, Vol.4, n°4, pp. 593 – 603, 2016.
- [37] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?map=africa&lang=fr>, Mai 2017.
- [38] K. N'tsoukpoé, « Effet des angles d'inclinaison et d'orientation des capteurs solaires sur leur production: cas des capitales des pays d'Afrique de l'Ouest et du Centre», *Laboratoire Énergie Solaire et Économie d'Énergie (LESEE)*, Institut International de l'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Avril 2017.
- [39] F. Laurencelle, R. Chahine, J. Hamelin, K. Agbossou, M. Fournier, T. K. Bose, «Characterisation of Ballard MK-E Proton exchange membrane fuel cell stack», *Fuel Cell from fundamentals to systems 2001*, n°1, pp. 66-71, 2001.

Intégration des approches EEDD dans l'enseignement-apprentissage des ressources naturelles au degré terminal de l'Education de Base en RD Congo: Contraintes enseignantes en ville de Bunia (Province de l'Ituri)

[Integration of EEDD approaches in the teaching-learning of natural resources at the final level of Basic Education in RD Congo: Teaching constraints in the town of Bunia (Province of Ituri)]

Cwinya' Ay Wong' A Pascal¹, Charles Niyonkuru², Bapolisi Bahuga Paulin³, Bahati Wihoreye Jean-Marie⁴, and Muhunga Matumwabiri Roger⁵

¹Chef de travaux, Institut Supérieur Pédagogique de Bunia, Province de l'Ituri, ville de Bunia, RD Congo

²Professeur, Institut de Pédagogie appliquée de l'Université de Burundi, Bujumbura, Burundi

³Professeur Ordinaire, Institut Supérieur Pédagogique de Bukavu, Province de Sud-Kivu, Ville de Bukavu, RD Congo

⁴Professeur associé, Institut Supérieur Pédagogique de Idjwi, Province de Sud-Kivu, Ville de Bukavu, RD Congo

⁵Professeur associé à l'Institut Supérieur de Développement Rural de Bukavu, Province de Sud-Kivu, Ville de Bukavu, RD Congo

Copyright © 2024 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 integration in DR Congo of the pedagogical approaches of Environmental Education and Sustainable Development (EEDD) in the teaching of natural resources at the level of Basic Education constitutes a didactic contribution of great importance during this period when we are witnessing a growing phenomenon of degradation of its natural resources, in particular forest resources and farmland. The present study aims to identify the constraints of teachers in the city of Bunia to integrate EEDD approaches into the lessons on the protection of natural resources provided for in the Life and Earth Sciences (SVT) course programs. The questionnaire survey covered 57 teachers spread across 131 secondary schools. The results show that teachers (100%) do not integrate EEDD approaches into the teaching of natural resources. The major constraints that prevent them from integrating these approaches are pedagogical and organizational. For a better integration of EEDD approaches in the teaching of natural resources, teachers must enroll in continuing professional training in EEDD didactics according to Senn's didactic models but also according to the didactic approach called «global school approach». Teachers must also be trained on learning and teaching methods based on EEDD, on the epistemological approaches of sustainable development didactics as proposed by Sauvé and Meunier.

KEYWORDS: integration, EEDD, teaching, natural resources, basic education, constraints.

RESUME: L'intégration en RD Congo des approches pédagogiques de l'Education Environnementale et du Développement Durable (EEDD) dans l'enseignement des ressources naturelles au niveau de l'Education de Base constitue un apport didactique d'une grande importance pendant cette période où on assiste à un phénomène croissant de dégradation de ses ressources naturelles, en particulier les ressources forestières et les terres de culture. La présente étude a pour objectif de relever les contraintes des enseignants de la ville de Bunia à intégrer les approches EEDD dans les leçons de protection des ressources naturelles prévues dans les programmes du cours des Sciences de la vie et de la Terre (SVT). L'enquête par questionnaire a porté sur 57 enseignants répartis dans 131 écoles secondaires. Les résultats montrent que les enseignants (100 %) n'intègrent pas les approches EEDD dans l'enseignement des ressources naturelles. Les contraintes majeures qui les empêchent à intégrer ces approches sont pédagogiques et organisationnelles. Pour une meilleure

intégration des approches EEDD dans l'enseignement des ressources naturelles, les enseignants doivent s'inscrire dans une formation continue en milieu professionnel en didactique de l'EEDD selon les modèles didactiques de Senn mais aussi selon l'approche didactique dite «approche scolaire globale». Les enseignants doivent aussi être formés sur les méthodes d'apprentissage et d'enseignement basés sur l'EEDD et sur les approches épistémologiques de la didactique du développement durable telles que proposées par Sauvé et Meunier.

MOTS-CLEFS: intégration, EEDD, enseignement, ressource sauterelle, éducation de base, contraintes.

1 INTRODUCTION

En 2002, les Nations Unies ont confié à l'Unesco la responsabilité de la promotion de la décennie pour l'éducation en vue du développement durable (2005-2014) et l'élaboration d'un projet de programme d'application international. Ce programme devrait proposer aux gouvernements des moyens de promouvoir et d'améliorer l'intégration de l'éducation en vue du développement durable (EDD) dans leurs politiques, stratégies et plans éducatifs. La réalisation de cet objectif passe par de nouvelles approches pédagogiques en milieu scolaire et en dehors de celui-ci, par la création d'outils nouveaux, ainsi que par le déroulement de manifestations destinées à réfléchir à la mise en place et à la généralisation d'une réelle démarche d'éducation et de formation à l'environnement et au développement durable [1].

En RD Congo à l'année 2016, la réforme du programme de l'enseignement a été effectuée par le Ministère de l'EPST instituant une Education de Base de huit années obligatoires et gratuites composées concrètement, à un continuum cohérent de six années des trois degrés du cycle primaire et du cycle terminal composé de deux années du secondaire général. Par l'introduction du programme éducatif du domaine d'apprentissage des sciences et de sous domaine d'apprentissage des Sciences de la Vie et de la Terre (SVT) au degré terminal, le gouvernement s'était fixé comme objectif d'améliorer des capacités de tous les élèves à contribuer à des sociétés stables, pacifiques, équitables et prospères. En tant que vision nationale, cette réforme exprime la volonté politique de mener à bien cette évolution du système éducatif pour que tous les élèves aient une chance de devenir des acteurs du développement du pays qui passe nécessairement par la protection des ressources naturelles de l'environnement renouvelables et non renouvelables [2].

En dépit de la volonté internationale (ONU et UNESCO) de pouvoir généraliser l'éducation environnementale dans tous les continents du monde, En RD Congo on assiste à un phénomène croissant de dégradation des ressources naturelles, en particulier les ressources forestières et les terres de culture. Cette situation, ayant pour cause aussi bien des facteurs naturels qu'humains, a été exacerbée par une longue période de crise sociopolitique et de guerres. Cela prouve à suffisance que les effets de l'enseignement de l'EE donné aux écoliers ne sont pas visibles [3], [4].

En 2016, la loi cadre N°14/004 de l'enseignement National de la RDC a été promulguée et a retenu les dispositions claires en matières de la protection de l'environnement et de ses ressources. Son article 9 stipule qu'une des options fondamentales de l'Enseignement en RDC est «l'éducation environnementale, la formation au développement durable et aux changements climatiques ». L'article 14 de cette même loi insiste sur le fait que la protection de l'environnement est une valeur à enseigner aux écoliers et son article 17 stipule que «l'enseignement national assure une éducation environnementale, une formation au développement durable et aux changements climatiques dans le but de préparer les élèves, les étudiants et les autres apprenants aux problèmes de l'équilibre écologique » [5].

D'après la référence [6] l'enseignement qu'il soit du niveau primaire, secondaire ou supérieur, est un opérateur essentiel pour former à la protection de l'environnement. L'EEDD devrait permettre à chaque être humain d'acquérir des connaissances, des compétences, des attitudes et des valeurs en lien avec le développement durable ». Sont concernées par l'EEDD, toutes les formes d'éducation formelle, non formelle, informelle, petite enfance, primaire, secondaire, supérieure, y compris l'alphabétisation fonctionnelle.

L'UNESCO insiste sur le fait que les enseignants sont les principaux acteurs de l'éducation formelle à l'environnement. Leurs contributions, leurs pratiques professionnelles ainsi que l'exemple qu'ils offrent aux élèves sont des facteurs primordiaux pour l'élaboration du profil de l'éco-citoyen qu'ils forment [6]. Or la référence [7] montre que la pratique didactique des enseignants congolais s'écarte des approches EEDD alors que les didacticiens de l'E.E ne cessent de vulgariser l'importance de l'école dans la nature. Cette dernière est une forme d'apprentissage expérientiel et de l'éducation dans et par le milieu de vie et peut aider à corriger les limites observées dans les leçons enseignées uniquement dans les salles des classes et qui ne favorisent pas la prise de conscience et la sensibilité environnementale. Pour que les élèves s'approprient les techniques enseignées à l'école pour protéger les ressources naturelles du pays, les enseignants devraient recourir aux approches didactiques EEDD.

La question fondamentale au tour de la quelle s'articule cette étude est: Quelles sont les contraintes que les enseignants rencontrent pour d'intégrer les approches EEDD dans l'enseignement des ressources naturelles ?

La présente étude a pour objectif de relever les contraintes des enseignants de la ville de Bunia à intégrer les approches EEDD dans les leçons de protection des ressources naturelles prévues dans les programmes du cours des Sciences de la vie et de la Terre (SVT).

Hormis l'introduction et la conclusion cet article s'articule au tour des points suivants:

- La méthodologie;
- Les résultats;
- La discussion.

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 POPULATION D'ÉTUDE

La population de cette étude est constituée de tous les enseignants de SVT répartis dans 131 écoles Secondaires fonctionnant dans la sous-division urbaine de Bunia et sont tous titulaires du cours de SVT dans les classes de 7e et 8e années de l'EB.

2.2 CONSTITUTION DE L'ÉCHANTILLON D'ÉTUDE

La détermination de la taille de l'échantillon s'est inspirée de Dépelteau (2010) cité par la référence [8]. D'après Dépelteau, la taille d'un échantillon doit représenter $\pm 10\%$ de la population mère et doit se composer d'un minimum de 30 individus. Pour avoir les écoles où trouver les enseignants à enquêter, on a recouru à l'échantillonnage aléatoire simple tel que suggéré par Amyotte [9]. Par la technique de l'urne, nous avons sectionné les écoles à partir de la population mère. Les unités d'échantillonnage étaient des écoles mais les unités d'analyse étaient des enseignants titulaires des cours de SVT.

Pour trouver la taille de l'échantillon nous avons recouru à la technique de KOTHARI [10].

Ainsi sur un total de 131 écoles retrouvées dans la sous-division urbaine de Bunia, les enseignants de 57 écoles ont répondu au questionnaire d'enquête.

2.3 CARACTÉRISTIQUES DES VARIABLES

Au cours de la présente étude, deux catégories de variables ont été étudiées: il s'agit des variables antécédentes et des variables conséquentes.

Les variables antécédentes retenues pour analyser les contraintes des enseignants pour intégrer les stratégies didactiques EEDD dans l'enseignement des ressources naturelles sont: l'ancienneté des enseignants, le niveau d'étude des enseignants et leurs domaines de formation. La variante conséquente prise en compte était les contraintes enseignantes. En effet, les contraintes pédagogiques sont des difficultés méthodologiques ou organisationnelles que rencontrent les enseignants dans l'exécution des matières inscrites aux programmes d'une discipline [11]. Chevallard (1989) cité par la référence [12], mentionne que c'est dans les classes que l'on découvre les conditions et contraintes qui définissent l'écosystème dans lequel les enseignants évoluent. Pour la référence [13], les contraintes pédagogiques ou didactiques sont des problèmes auxquels l'enseignant est confronté.

2.4 METHODE ET TECHNIQUE DE COLLECTE DES DONNEES

La méthode d'enquête a été utilisée pour récolter les données appuyée par la technique du questionnaire. Ce dernier était constitué de trois types des questions: ouvertes, fermées et semi-fermées.

2.5 TRAITEMENT DES DONNÉES

2.5.1 TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNÉES

Pour vérifier les effets des variables antécédentes sur les variables conséquentes, le test chi-deux (χ^2) a été utilisé. Ce test permet de vérifier si les réponses des enquêtés diffèrent significativement ou non [14], [15].

2.5.2 LOGICIEL DE TRAITEMENT STATISTIQUE

Le calcul manuel étant entaché de beaucoup d'erreurs, les données ont été traitées statiquement par le logiciel SPSS.

3 RÉSULTATS

3.1 RÉSULTATS GLOBAUX

3.1.1 TAUX D'INTEGRATION DES APPROCHES EEDD DANS L'ENSEIGNEMENT DES RESSOURCES NATURELLES

Le taux d'intégration des approches EEDD dans l'enseignement des ressources naturelles au degré terminal de l'éducation de base est présenté dans le tableau 1 ci-dessous:

Tableau 1. *Taux d'intégration des approches EEDD dans l'enseignement des ressources naturelles au degré terminal de l'Education de base*

Approches EEDD intégrées	Fréquence	%
Pas de réponse	34	59,6
Aucune	23	40,4
Total	57	100

Le résultat du tableau 1 montre que 59,6 % des enseignants n'ont pas été en mesure de donner les approches EEDD qu'ils intègrent dans l'enseignement des ressources naturelles et 40,4 % d'entre eux n'ont intégré aucune approche EEDD. Les résultats cumulés montrent que 100 % des enseignants n'intègrent pas les approches EEDD dans l'enseignement des ressources naturelles.

3.1.2 DEGRE DE MAITRISE DES CONTRAINTES D'INTEGRATIONS DES APPROCHES EEDD DANS L'ENSEIGNEMENT DES RESSOURCES NATURELLES

Les résultats se rapportant aux degrés de maîtrise des contraintes des approches EEDD dans l'enseignement des ressources naturelles au degré terminal de l'Education de base sont consignés dans les tableaux ci-dessous.

3.1.2.1 CONTRAINTES DES ENSEIGNANTS DANS LA PREPARATION DES LEÇONS EN RAPPORT AVEC LES RESSOURCES NATURELLES

Les contraintes que les enseignants rencontrent pendant la préparation des leçons en rapport avec ressources naturelles sont consignées dans le tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2. *Contraintes des enseignants dans la préparation des leçons des ressources naturelles*

Contraintes	Fréquence	%	Caractéristiques des contraintes
Manque de matériel didactique	50	87,6	Pédagogique
Manque de moyen financier	1	1,8	Financier
Difficultés à accéder aux sites internet et TICE	4	7,0	Matériel
Des longs exemples de situation	1	1,8	Pédagogique
Des exemples de situation difficiles à comprendre	1	1,8	Pédagogique
Total	57	100,0	

Le résultat du tableau 2 montre que 87,6 % des enseignants manquent les matériels didactiques appropriés pour préparer les leçons des ressources naturelles, 1,8 % déclarent que le manque des moyens financiers est une contrainte dans la préparation des leçons des ressources naturelles, 7% d'entre eux estiment que les difficultés à accéder aux sites internet et aux TICE sont des contraintes, 1,8 % pensent que ce sont des longs exemples des situations prévues dans le programme et 1,8 % ont dit que les contraintes sont des exemples des situations difficiles à comprendre.

L'analyse de ces contraintes montrent qu'elles sont d'abord d'ordre pédagogique, ensuite matériel et en fin financier.

3.1.2.2 CONTRAINTES DES ENSEIGNANTS POUR ENSEIGNER LES RESSOURCES NATURELLES SELON L'APPROCHE EEDD

Les difficultés que les enseignants rencontrent pour enseigner les ressources naturelles sont reprises dans le tableau x ci-dessous.

Tableau 3. Contraintes des enseignants pour enseigner les ressources naturelles

Contraintes	Fréquence	%	Caractéristiques des contraintes
Nous sommes dans un milieu urbain, les élèves n'ont pas vu la forêt, les ressources naturelles	1	1,8	Environnementale
Difficultés d'appliquer l'approche par compétence et par situation	4	7,0	Pédagogique
Manque des manuels scolaires, documents appropriés et MD	21	36,8	Pédagogique
Difficultés aux élèves de comprendre la matière	6	10,5	Méthodologique
Manque des moyens financiers	2	3,5	Financière
Manque de contenu concret dans le programme	2	3,5	Pédagogique
Manque d'internet et TICE	5	8,8	Matérielle
Difficultés d'exploitation des forêts	1	1,8	Environnementale
Aucune réponse	2	3,5	Personnelle
Difficultés de comprendre les exemples de situation	1	1,8	Pédagogique
Temps insuffisant pour traiter les exemples de situation	4	7,0	Organisationnelle
Manque de terrain d'étude	2	3,5	Environnementale
Insuffisance des données sur les ressources naturelles en ville	1	1,8	Environnementale
Inaccessibilité dans le milieu	2	3,5	Environnementale
Les exemples de situation non adaptent au milieu	1	1,8	Pédagogique
Effectifs élevés des élèves dans la classe	1	1,8	Organisationnelle
L'inadaptation des élèves	1	1,8	Pédagogique
Total	57	100,0	

L'analyse du tableau 3 montre que l'absence des matériels didactiques appropriés (36,8%) demeure la contrainte majeure des enseignants pour enseigner les ressources naturelles, vient ensuite la difficulté des élèves à comprendre la matière prévue au programme (10,5%) suivi de manque d'internet et des TICES (8,8%). Les contraintes regroupées par catégorie montrent qu'elles sont d'abord d'ordre pédagogique ensuite environnementales et en fin organisationnelles et temporelles.

3.2 PRESENTATION DES RESULTATS SELON LES VARIABLES ÉTUDIÉES

3.2.1 CONTRAINTES DES ENSEIGNANTS DANS LA PREPARATION DES LEÇONS DES RESSOURCES NATURELLES SELON LES APPROCHES EEDD EN FONCTION DU DOMAINE DE FORMATION

Le tableau 4 ci-dessous présente les contraintes des enseignants dans la préparation des leçons en tenant compte de leurs domaines de formation.

Tableau 4. Contraintes des enseignants selon leurs domaines de formation

Domaine de formation	Contraintes des enseignants dans la préparation des leçons											Statistique			
	Manque de Matériels didactiques	Difficultés à accéder aux sites internet et TICE	Des longs exemples de situation	Manque d' hiérarchisation des chapitres dans le programme DAS	Inaccessibilité aux terrains	Incohérence des MD avec les matières	Les exemples de situation non conforme avec le milieu de l'enfant	Aucune réponse	Temps de la préparation	Des exemples de situation difficiles à comprendre	La préparation des leçons prend beaucoup de temps	Total	χ^2	ddl	p-value
Biologie-Chimie	20	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	26	32,072	40	,787
%	76,9	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	100,0			
Biologie	13	1	0	0	1	0	1	2	1	0	0	19			
%	68,4	5,3	0,0	0,0	5,3	0,0	5,3	10,5	5,3	0,0	0,0	100,0			
Agronomie	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6			
%	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0			
Autres	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	5			
%	40,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,0	20,0	20,0	100,0			
Chimie-physique	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1			
%	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0			
Total	42	2	1	1	2	1	1	2	2	1	2	57			
%	73,7	3,5	1,8	1,8	3,5	1,8	1,8	3,5	3,5	1,8	3,5	100			

Les résultats du tableau 4 montrent que les contraintes des enseignants dans la préparation des leçons basées sur les approches EEDD ne diffèrent pas significativement en fonctions de leurs domaines de formation. L'hypothèse nulle est acceptée (p-value étant supérieur à 0.05). Les enseignants qui dispensent les ressources naturelles éprouvent les mêmes difficultés didactiques quelles que soient leurs domaines de formation.

3.2.2 CONTRAINTES DES ENSEIGNANTS DANS L'APPLICATION DES APPROCHES EEDD EN FONCTION DU DOMAINE DE FORMATION

Le tableau 5 ci-dessous présente les contraintes des enseignants de ressources naturelles à appliquer les approches EEDD en tenant compte de leurs domaines de formation.

Tableau 5. *Contraintes des enseignants des ressources naturelles dans l'application des approches EEDD en fonction du domaine de formation*

Domaine de formation	Contraintes dans l'application des approches EEDD							Statistique		
	Aucune réponse	Insuffisance d'accompagnement des autorités scolaires et politiques	Ignorance de la didactique EEDD	Non maîtrise des certains concepts	Manque des moyens financiers	Ignorance des approches EEDD	Total	χ^2	ddl	p-value
Biologie- Chimie	21	0	0	1	1	3	26	26,389	20	,153
%	80,8%	0,0%	0,0%	3,8%	3,8%	11,5%	100,0%			
Biologie	12	3	1	1	0	2	19			
%	63,2%	15,8%	5,3%	5,3%	0,0%	10,5%	100,0%			
Agronomie	3	0	1	0	2	0	6			
%	50,0%	0,0%	16,7%	0,0%	33,3%	0,0%	100,0%			
Autres	3	0	0	0	0	2	5			
%	60,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	40,0%	100,0%			
Chimie Physique	1	0	0	0	0	0	1			
%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%			
Total	40	3	2	2	3	7	57			
%	70,2%	5,3%	3,5%	3,5%	5,3%	12,3%	100,0%			

L'hypothèse nulle est acceptée (p-value étant supérieur à 0.05). Les enseignants qui dispensent les ressources naturelles éprouvent les mêmes difficultés didactiques dans l'application des approches EEDD quelles que soient leurs domaines de formation.

3.2.3 CONTRAINTES DES ENSEIGNANTS DANS LA PREPARATION DES LEÇONS DES RESSOURCES NATURELLES SELON LES APPROCHES EEDD EN FONCTION DE LEURS NIVEAUX D'ETUDE

Les résultats du tableau 6 ci-dessous présentent les contraintes des enseignants des ressources naturelles à préparer les leçons selon les approches EEDD. Dans ce tableau, nous avons tenus comptes de leurs niveaux d'étude.

Tableau 6. *Contraintes des enseignants des ressources naturelles dans la préparation des leçons en fonction de leurs niveaux d'étude*

Niveau d'étude	Contraintes des enseignants							Statistique		
	Aucune réponse	Insuffisance d'accompagnement des autorités scolaires et politiques	Ignorance de la didactique EEDD	Non maîtrise des certains concepts	Manque des moyens financiers	Non connaissance des approches	Total	χ^2	ddl	p-value
Gradué	10	2	1	1	1	3	18	4,405	10	,927
%	55,6%	11,1%	5,6%	5,6%	5,6%	16,7%	100,0%			
Licencié	27	1	1	1	2	4	36			
%	75,0%	2,8%	2,8%	2,8%	5,6%	11,1%	100,0%			
Diplômé d'état	3	0	0	0	0	0	3			
%	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%			
Total	40	3	2	2	3	7	57			
%	70,2%	5,3%	3,5%	3,5%	5,3%	12,3%	100,0%			

L'hypothèse nulle est acceptée (p-value étant supérieur à 0.05). Les enseignants qui dispensent les ressources naturelles éprouvent les mêmes difficultés didactiques dans la préparation des leçons des ressources naturelles selon les approches EEDD quelles que soient leurs niveaux d'étude.

3.2.4 CONTRAINTES DES ENSEIGNANTS DANS L'APPLICATION DES APPROCHES EEDD EN FONCTION DE LEURS NIVEAUX D'ETUDE

Les résultats du tableau 7 ci-dessous présente les contraintes des enseignants des ressources naturelles à appliquer les approches EEDD tenant compte de leurs niveaux d'étude.

Tableau 7. Contraintes des enseignants des ressources naturelles à appliquer les approches EEDD en fonction de leurs niveaux d'étude

Niveau d'étude	Contraintes enseignantes											
	Manque de matériel didactique	Difficultés à accéder aux sites internet et TICE	Des longs exemples de situation	Manque de hiérarchisation des chapitres dans le programme DAS	Inaccessibilité aux terrains	Incohérence des MD avec la matière	Les exemples de situation non conforme avec le milieu de l'enfant	Aucune réponse	Temps de la préparation	Des exemples de situation difficiles à comprendre	La préparation des leçons prend beaucoup de temps	Total
Licencié	13	1	0	0	1	0	0	2	1	0	0	18
%	72,2%	5,6%	0,0%	0,0%	5,6%	0,0%	0,0%	11,1%	5,6%	0,0%	0,0%	100,0%
Gradué	27	1	1	1	1	1	1	0	1	0	2	36
%	75,0%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	2,8%	0,0%	2,8%	0,0%	5,6%	100,0%
Diplômé d'état	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3
%	66,7%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	33,3%	0,0%	100,0%
Total	42	2	1	1	2	1	1	2	2	1	2	57
%	73,7%	3,5%	1,8%	1,8%	3,5%	1,8%	1,8%	3,5%	3,5%	1,8%	3,5%	100,0%
<i>P-value</i>												,498

L'hypothèse nulle est acceptée (p-value étant supérieur à 0.05). Les enseignants qui dispensent les ressources naturelles éprouvent les mêmes difficultés didactiques dans l'application des approches EEDD quelles que soient leurs niveaux d'étude

3.2.5 CONTRAINTES DES ENSEIGNANTS DANS LA PREPARATION DES LEÇONS DES RESSOURCES NATURELLES SELON LES APPROCHES EEDD EN FONCTION DE LEUR ANCIENNETE

Les contraintes enseignantes dans la préparation des ressources naturelles selon les approches EEDD sont reprises dans le tableau 8 ci-dessous. L'ancienneté des enseignants ont été prises en compte.

Tableau 8. Les contraintes enseignantes dans la préparation des ressources naturelles selon les approches EEDD en fonction de leur ancienneté

Ancienneté	Contraintes des enseignants											Total	ddl	p-value
	Manque de matériel didactique	Difficultés à accéder aux sites internet et TICE	Des longs exemples de situation	Manque d'hiérarchisation des chapitres dans le programme DAS	Inaccessibilité aux terrains	Incohérence des MD avec la matière	Les exemples de situation non conforme avec le milieu de l'enfant	Aucune réponse	Temps de la préparation	Des exemples de situation difficiles à comprendre	La préparation des leçons prend beaucoup de temps			
1 à 5 ans	26	1	1	0	1	1	1	2	0	1	2	36	10	,49
%	72,2%	2,8%	2,8%	0,0%	2,8%	2,8%	2,8%	5,6%	0,0%	2,8%	5,6%	100,0%		
Plus de 5 ans	16	1	0	1	1	0	0	0	2	0	0	21		
%	76,2%	4,8%	0,0%	4,8%	4,8%	0,0%	0,0%	0,0%	9,5%	0,0%	0,0%	100,0%		
Total	42	2	1	1	2	1	1	2	2	1	2	57		
%	73,7%	3,5%	1,8%	1,8%	3,5%	1,8%	1,8%	3,5%	3,5%	1,8%	3,5%	100,0%		

L'hypothèse nulle est acceptée (p-value étant supérieur à 0.05). Les enseignants qui dispensent les ressources naturelles éprouvent les mêmes difficultés didactiques dans la préparation des approches EEDD quelles que soient leurs anciennetés.

3.2.6 CONTRAINTES DES ENSEIGNANTS DANS L'APPLICATION DES APPROCHES PEDAGOGIQUES EEDD EN FONCTION DE L'ANCIENNETE

Les contraintes des enseignants dans l'application des approches EEDD pendant leurs leçons des ressources naturelles tenant compte de leur ancienneté sont reprises dans le tableau ci-dessous.

Tableau 9. Contraintes enseignantes dans l'application des approches EEDD en tenant compte de leurs anciennetés

Ancienneté	Contraintes des enseignants dans l'application des approches EEDD							Statistique		
	Pas de réponse	Insuffisance d'accompagnement des autorités scolaires et politiques	Ignorance de la didactique EEDD	La dégradation du sol, de la forêt, biodiversité, pollution des eaux, des sols, par surutilisation d'engrais, industrie	Manque des moyens financiers	Non connaissance des approches EEDD	Total	χ^2	ddl	p-value
1 à 5 ans	26	2	2	2	1	3	36	4,794	5	,442
%	72,2%	5,6%	5,6%	5,6%	2,8%	8,3%	100,0%			
Plus de 5 ans	14	1	0	0	2	4	21			
%	66,7%	4,8%	0,0%	0,0%	9,5%	19,0%	100,0%			
Total	40	3	2	2	3	7	57			
%	70,2%	5,3%	3,5%	3,5%	5,3%	12,3%	100,0%			

L'hypothèse nulle est acceptée (p-value étant supérieur à 0.05). Les enseignants qui dispensent les ressources naturelles éprouvent les mêmes difficultés didactiques dans l'application des approches EEDD quelles que soient leurs anciennetés.

4 DISCUSSION

Les résultats montrent que 100 % des enseignants n'intègrent pas les approches EEDD dans l'enseignement des ressources naturelles (Tableau1). Les contraintes majeures qui empêchent ces enseignants à intégrer les approches EEDD dans leurs leçons des ressources naturelles sont les difficultés d'accéder aux matériels didactiques. Les contraintes regroupées par catégorie montrent qu'elles sont pédagogiques, environnementales, organisationnelles et temporelles. Les contraintes pédagogiques sont celles liées au faible niveau de formation des enseignants à la didactique de l'EEDD, tandis que les contraintes organisationnelles sont celles liées à la politique de l'enseignement en RD Congo et à l'organisation des écoles (Tableaux 1, 2 et 3). Le test d'hypothèse (test chi-deux) appliqué afin de mesurer l'influence des variables indépendantes sur les variables dépendantes, montre que les niveaux d'étude des enseignants, leurs anciennetés ainsi que leurs domaines de formation n'ont aucune influence sur leurs contraintes dans l'intégration et dans l'application des approches EEDD dans les leçons des ressources naturelles (Tableaux 4 à 9).

Les résultats obtenus dans cette étude ne s'écartent pas des récentes études effectuées en RD Congo en rapport avec l'enseignement de l'Éducation Environnementale en milieu scolaire. En effet, la référence [7] souligne que les enseignants de la RD Congo ont besoin d'une formation continue en didactique de l'EEDD afin qu'ils améliorent la qualité de leurs enseignements de SVT. Cette formation continue devrait être basée sur des outils pédagogiques clairs et adaptés à chaque milieu de l'enfant afin de rendre celui-ci un acteur permanent et réflexif de la protection de l'environnement local et mondial.

Le non-respect des stratégies et approches EEDD par les enseignants serait un frein à l'apprentissage et l'implication des enfants dans la prise en compte des problèmes environnementaux propres à leurs milieux [16], [17], [18], [19], [7].

La référence 20 montre une série d'approches d'E.E (cognitive, sensorielle, affective, pragmatique, morale ou éthique, spiritualiste, expérientielle, coopérative, interdisciplinaire, critique, réflexive) qui devraient être abordées.

A l'instar des autres pays comme par exemple la Madagascar, la RD Congo doit mettre en place une politique l'Éducation au Développement Durable qui implique un changement en profondeur de l'enseignement tel qu'il est généralement pratiqué aujourd'hui et doit intégrer le concept de l'EDD (contenus et méthodes) dans les politiques éducatives et de formation en cours et conduire une réforme du système éducatif et intégrer l'EDD dans cette réforme.

Pour une meilleure intégration des approches EEDD dans l'enseignement des ressources naturelles, les enseignants du degré terminal de l'Education de Base de la RD Congo en général et particulièrement ceux de la ville de Bunia doivent s'inscrire dans une formation continue en milieu professionnel en didactique de l'EEDD. Le modèle didactique de Senn devrait être privilégié dans le cadre de cette formation du personnel enseignant [21]. Pour la référence [21], il faut former les enseignants en tenant compte des caractéristiques du groupe d'apprenants (âge, connaissances, intérêts, capacités), du contexte d'apprentissage (contexte pédagogique, traditions culturelles, climat politique) et des ressources disponibles (compétences des enseignants, matériels pédagogiques, TIC, moyens financiers).

Pour que les enseignants puissent être outillés en didactique de l'EEDD, le contenu de leur formation devrait reprendre les différents types et formes d'apprentissage ci-après [21]:

1. **Apprentissage par la découverte** – l'apprenant est plongé dans un contexte complexe présentant une part de mystère; poussé par la curiosité, il se lance dans une investigation personnelle qui lui permet de comprendre le sens de son expérience.
2. **Apprentissage par la transmission** – un ensemble de règles ou un code de conduite est transmis à l'apprenant au moyen de techniques didactiques (présentation, exposé, histoire racontée, etc.) et d'auxiliaires pédagogiques (manuels, fiches d'instruction, visuels, etc.).
3. **Apprentissage participatif ou collaboratif** – bien que non identiques, ces deux formes d'apprentissage privilégient le travail avec les autres et la participation active, et non passive, au processus d'apprentissage, face à une question ou une tâche commune.
4. **Apprentissage fondé sur la résolution de problèmes** – il s'agit de résoudre des problèmes réels ou simulés pour mieux comprendre une question ou trouver des moyens d'apporter des améliorations dans la vie réelle. Les questions sont identifiées par l'apprenant ou déterminées à l'avance (par exemple par l'enseignant, des experts ou les organes commanditaires).
5. **Apprentissage par discipline** – à partir de questions propres à une discipline particulière (géographie ou biologie, par exemple) vise à mieux faire comprendre les principes sous-jacents et à élargir la base de connaissances dans cette discipline.
6. **Apprentissage interdisciplinaire** – prend pour point de départ des questions ou des problèmes, qui sont ensuite explorés sous l'angle de différentes disciplines de manière à dégager une vision intégrée des solutions ou améliorations possibles.
7. **Apprentissage social multi-parties prenantes** – réunit des personnes d'horizons, de valeurs, de points de vue, de connaissances et d'expérience différents, appartenant ou non au groupe initiateur du processus d'apprentissage, pour une recherche créative visant à résoudre des problèmes pour lesquels il n'existe pas de solutions toutes faites.
8. **Apprentissage fondé sur la réflexion critique** – consiste à examiner les présupposés et les valeurs sur lesquels s'appuient des personnes, des organisations ou des communautés et à en évaluer les mérites d'un point de vue normatif (protection des animaux, écocentrisme, dignité humaine, durabilité, par exemple) et encourage ainsi la réflexion, le débat et les remises en question.
9. **Apprentissage fondé sur la réflexion systémique** – examine les liens, les relations et les interdépendances au sein d'un système, envisagé dans son intégralité et non comme la simple somme de ses parties, pour amener à comprendre comment une intervention sur une partie du système peut avoir des effets sur d'autres parties ou le système tout entier.

Nous proposons également que les enseignants puissent bénéficier d'une formation basée sur l'approche dite "approche scolaire globale" (whole school approach) qui est parmi les approches innovantes recommandées pour éduquer à la durabilité. Le Rapport d'évaluation à mi-parcours de la DNUEDD en 2009 confirme que plusieurs pays, plus particulièrement l'Australie et l'Angleterre, utilisent cette approche qui vise à appréhender la question de la durabilité non seulement dans le cadre de l'enseignement et de l'apprentissage, mais aussi dans celui des opérations de l'école et de ses liens avec l'ensemble de la communauté [22]. L'EDD étant multidisciplinaire, il est normal que les approches préconisées touchent l'établissement scolaire et de formation dans son ensemble. Il est donc important que les établissements scolaires intègrent et mettent le principe de durabilité dans leur propre fonctionnement et que l'EDD fasse partie du quotidien scolaire. Ce qui requiert une certaine refonte qui va toucher les programmes, le fonctionnement de l'établissement, la culture de l'organisation, le leadership et la gestion, les relations avec la communauté, la recherche d'innovation et l'évaluation.

Un autre axe important à intégrer dans la formation de l'enseignant concerne les **méthodes d'apprentissage et d'enseignement basé sur l'EEDD dont les idées majeures** sont:

- Respect du programme scolaire en vigueur et de ses objectifs (principalement transfert de connaissances et compétences);
- L'éducation aux valeurs renforcera l'acquisition de connaissances et de compétences, en affecte le développement personnel et l'épanouissement de l'élève.
- Véhiculer le concept de la durabilité et le développement durable dans la vie quotidienne à travers le programme scolaire;
- Adapter et varier les méthodes d'enseignement et approches d'apprentissage pour (i) le développement personnel et l'épanouissement de l'élève (ii) pour l'acquisition des valeurs et éthiques de l'EDD, (iii) pour une meilleure compréhension de la

culture et des valeurs au sein de leurs sociétés, de celles des autres et des autres pays (iv) pour qu'ils puissent devenir des acteurs dynamiques pour leur avenir et l'avenir de la planète;

- Méthode d'enseignement et d'apprentissage centrée sur l'élève;
- Les approches pédagogiques par compétence (APC) et par situation (APS);
- Offrir aux enseignants l'opportunité de développement professionnel et d'apprentissage tout au long de leur vie et les rendre compétants à enseigner selon les approches EEDD [23], [22].

Il faut aussi intégrer dans les formations des enseignants en RD Congo les aspects épistémologiques de la didactique du développement durable telle que proposée par Sauvé [1]. Pour la référence [20], l'introduction de l'éducation relative à l'environnement (et plus largement au développement durable) à l'école répond à trois problématiques inter-reliées. La première est celle de notre situation environnementale actuelle. L'épuisement et à la détérioration des ressources naturelles mettent en danger notre qualité de vie et même la survie de notre espèce. Cela devient une préoccupation centrale de notre société, il est donc normal que cette thématique se travaille à l'école; cette dernière étant une des caisses de résonance de notre société. Le deuxième argument justifiant l'introduction de l'EDD à l'école concerne les conditions d'enseignement et d'apprentissage. Pour Sauver, celles-ci, très traditionnelles, sont caractérisées, entre autres, par le cloisonnement interdisciplinaire et l'isolement de l'école par rapport aux réalités. Ces facteurs ne seraient pas favorables à une éducation visant le développement des personnes aptes à relever les défis d'un monde contemporain marqué par la rapidité et l'ampleur des changements, la diversité et le caractère multidimensionnel des problèmes environnementaux. L'EDD est vue comme un outil de changement de l'école, une façon de transformer les manières d'apprendre et d'enseigner. Troisièmement, cela répond à une problématique pédagogique. On remarque le manque d'éducation des personnes et des sociétés par rapport à leur milieu de vie. L'être humain est devenu étranger à la nature et il est dominé par un univers technologique qu'il comprend peu et utilise mal. L'école a pour rôle de socialiser, d'apprendre à vivre dans une société et dans un environnement. Ainsi les approches didactiques pour résoudre la détérioration des ressources naturelles doivent s'orienter vers les approches cognitives, sensorielles, affectives, pragmatiques, morales ou éthiques, spiritualistes, expérientielles, coopératives, interdisciplinaires, critiques, réflexives.

Pour la référence [1], il faut former les enseignants en se basant sur les modèles d'éducation environnementale qui ont montré leurs succès dans des nombreux pays depuis une trentaine d'années, notamment chez les Anglo-saxons. Les modèles applicables dans l'enseignement primaire et secondaire sont:

- Le modèle d'action environnementale de Cox et Stapp vise l'éveil et l'appréciation de l'environnement pour les élèves du primaire et l'identification et la résolution de problèmes pour ceux du secondaire. L'enseignant propose aux élèves des activités de contact avec l'environnement afin non seulement de développer le respect de l'environnement, mais aussi leurs capacités à résoudre les problèmes dont l'analyse et la clarification des valeurs. Dans le cadre d'un projet d'action, les élèves vont être amenés à définir le problème, recueillir les informations, identifier des solutions, les évaluer, élaborer un plan d'action, le mettre en œuvre et évaluer l'action.
- Dehan et Oberlinkels, dans le cadre d'une approche constructiviste et pluridisciplinaire, proposent une relation dialectique entre le milieu et l'élève prenant en compte l'ensemble des composantes du milieu de vie à la fois comme source, moyen et but de l'acquisition de connaissances. Il s'agit d'explorer un milieu de vie afin d'en construire une représentation, de penser, d'élaborer, de communiquer et d'évaluer ce projet. La représentation obtenue est alors enrichie si nécessaire par la mise en place d'un nouveau projet.
- Le modèle de Boniver et Goffin amène l'élève (primaire ou secondaire) à développer une approche environnementale systémique, interdisciplinaire, objective et normative. Les élèves vont choisir le sujet (interne ou externe à la classe), formuler des hypothèses en relation avec les différentes disciplines scolaires, vérifier les hypothèses par l'observation, l'expérimentation, la recherche, etc., et enfin s'engager dans des actions communautaires ou adopter des conduites citoyennes.
- Le modèle que proposent Quétel et Souchon relève d'une démarche expérientielle de l'apprentissage dans le cadre d'une démarche cognitive dans, par et pour l'environnement. Les élèves effectuent plusieurs visites sur des sites reliés à une même problématique et vont alors établir un questionnement relatif à l'environnement. L'enseignant va d'abord déterminer les objectifs, l'information et les lieux à visiter, puis s'y rendre avec ses élèves et stimuler leur questionnement, partager leurs découvertes et leurs questions tout en cherchant les informations manquantes, et donc préparer l'investigation de nouveaux savoirs lors de futures visites ou par le développement de projets d'action.
- Vaquette considère que l'éveil sensoriel et conceptuel de l'élève (du primaire) à l'environnement naturel est la première étape de l'éducation à l'environnement global. Dans le cadre d'une sortie ou d'un voyage imaginaire, l'élève est sollicité à entrer en contact avec la nature et à explorer par le biais de jeux sensoriels et écologiques; puis les élèves formulent sous la direction de l'enseignant les connaissances qui en résultent.
- Le modèle de Caduto et Bruchac utilise des contes amérindiens pour favoriser l'acquisition de connaissances et de réflexions sur la terre et la culture amérindienne. L'élève apprend qu'il fait partie de l'environnement et développe pour celui-ci de l'empathie. Les

élèves (début du primaire) sont d'abord réceptifs à l'histoire racontée par l'enseignant puis s'impliquent dans les discussions et les activités, l'école étant ouverte sur le milieu extérieur.

- Le modelé de Bull propose un modèle de recherche-action pour la résolution de problèmes communautaires sociaux ou environnementaux. Les collégiens repèrent un problème dans leur milieu de vie et sont engagés par l'enseignant dans un projet collectif de résolution du problème où l'action est liée à la réflexion critique.
- Le modèle de Cohen vise à montrer que les parties intégrantes de la nature et que les problèmes résultent de l'écart entre la manière dont fonctionne la nature et notre façon de penser et d'agir. Il s'agit d'une approche sensualiste où nos cinquante-trois capteurs sensibles sont stimulés: les élèves (du primaire ou du secondaire) sont amenés dans un milieu naturel par l'enseignant qui propose des activités d'éveil: expériences sensorielles, méditations, jeux de rôles, etc. l'objectivation des expériences vécues est recherchée, notamment à travers la rédaction d'un journal.
- Le modèle de « l'étude de cas élargie » de Hungerford et Ramsey va plus loin que l'évaluation puisqu'elle consiste à choisir et à planifier une action. Après avoir choisi et présenté une question environnementale litigieuse à ses élèves (du primaire ou du secondaire), l'enseignant leur demande de l'analyser à partir d'une grille qui reprend les données et les représentations des différents protagonistes afin de proposer des solutions. Ensuite, ils élaborent et planifient un plan d'action.
- L'éducation à la Terre présentée par Van Matre amène les élèves à vivre en milieu naturel des expériences affectives et cognitives coordonnées par l'enseignant. Ces expériences sont menées dans un contexte d'immersion et de solitude dans la nature, tout en intégrant une dimension magique et le sens de l'aventure.
- Giordan et Souchon se basent sur une approche pragmatique où l'acquisition des connaissances dans une perspective systémique et l'expérience de l'action selon la démarche de résolution de problèmes sont centrales: il s'agit d'identifier le problème, d'analyser les causes et d'en établir une hiérarchisation, de rechercher des solutions de rechange et de proposer des actions. Après avoir créé des conditions d'apprentissage favorables, l'enseignant va guider les élèves (début du secondaire) dans la démarche de résolution de problèmes.

5 CONCLUSION

La présente étude a permis de relever les contraintes des enseignants de l'Education de Base de la ville de Bunia en RD Congo à intégrer les approches EEDD dans les leçons de protection des ressources naturelles prévues dans les programmes des Sciences de la vie et de la Terre (SVT) dans un contexte où le pays est confronté à un phénomène croissant de dégradation de ses ressources naturelles, en particulier les ressources forestières et les terres de culture. Dans cette étude, 57 enseignants répartis dans 131 écoles secondaires qui dispensent les cours de SVT dans les classes de 7^e et 8^e années de l'EB ont répondu au questionnaire d'enquête. Les résultats montrent que 100 % des enseignants n'intègrent pas les approches EEDD dans l'enseignement des ressources naturelles. Les contraintes majeures qui les empêchent à intégrer les approches EEDD dans leurs leçons sont pédagogiques et organisationnelles. Les contraintes pédagogiques sont celles liées au faible niveau de formation des enseignants à la didactique de l'EEDD, tandis que les contraintes organisationnelles sont celles liées à la politique de l'enseignement en RD Congo et à l'organisation des écoles. Le test d'hypothèse (test chi-deux) appliqué afin de mesurer l'influence des variables indépendantes sur les variables dépendantes, montre que les niveaux d'étude des enseignants, leurs anciennetés ainsi que leurs domaines de formations n'ont aucune influence sur leurs contraintes dans l'intégration et dans l'application des approches EEDD dans les leçons des ressources naturelles. Pour une meilleure intégration des approches EEDD dans l'enseignement des ressources naturelles, les enseignants du degré terminal de l'Education de Base de la RD Congo en général et en particulier ceux de la ville de Bunia doivent s'inscrire dans une formation continue en milieu professionnel en didactique de l'EEDD selon certains modèles didactiques en vogue dans la littérature scientifique; notamment le modèle didactique de Senn, l'approche didactique dite "approche scolaire globale" (whole school approach), la formation sur les méthodes d'apprentissage et d'enseignement basée sur l'EEDD, l'approche épistémologique de la didactique du développement durable telle que proposée par Sauvé et les approches didactiques de Meunier.

REFERENCES

- [1] O. Meunier, Education à l'environnement et au développement durable, Institut National de recherche pédagogique, 2006, Lyon France, [en ligne] disponible sur: <http://www.inrp.fr/vst>. <https://www.espace-ressources.org> >2015. (2 Février 2023).
- [2] MINEPST (RDC), Programme Educatif du domaine d'apprentissage des sciences, classes de 7^e et 8^e années de l'Education de Base, sous domaine d'apprentissage: Sciences de la Vie et de la Terre, DIPROMADEPSP, 2016.
- [3] RDC, Programme National de l'Enseignement Primaire (PNEP). *Revue DIPROMAD*, 2016.
- [4] Ceformad, Système éducatif et mise en valeur des richesses naturelles de la RDC, l'Argan Horizon, 2006.
- [5] Loi-cadre n°14/004 du 11 Février 2014 de l'Enseignement National, *dans journal officiel de la RDC*.

- [6] A. Brou, Education relative à l'environnement en milieu scolaire Ivoirien: Réflexion pour un regard critique. *Européen Scientifique Journal*, 2016, [en ligne] disponible sur: <http://dx.doi.org/10.4000/9044/esj.2016.V/2n> (26 Janvier 2023).
- [7] W. P. Cwinya' ay. & al. «Stratégies didactiques de l'éducation environnementale en RD Congo: Regards critiques sur les pratiques enseignantes», *Revue Internationale du chercheur «Volume 5: Numéro 3»* pp: 1220-1240, 2024, [En ligne] disponible sur: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1376485> (1octobre 2024).
- [8] W. Bahati, Innovation Pédagogique et adaptation des programmes scolaires: Intégration des notions des changements climatiques dans les programmes climatiques dans les programmes d'enseignement des sciences et de l'environnement de la 7e année de l'éducation de base à la 2e année des humanités à Bukavu et à Idjwi, Thèse de doctorat, UPN, 2021.
- [9] L. Amyotte, Méthodes quantitatives, application à la recherche en sciences humaines, dans *Renouveau Pédagogique*, InC, Canada, 1996.
- [10] C.R Kothari, *Research Methodology Methods and Techniques*, Second Revised, New Age international Publishers, 2004.
- [11] Caillé, André, *L'enseignement des sciences de la nature au primaire*. Presses de l'Université du Québec, Project MUSE, 2011. [En ligne] disponible sur: <https://dx.doi.org/10.1353/book.15300>, <http://www.emf2012.unige.ch/index.php/actes-emf-2012> (4 juillet 2024).
- [12] C. Maréchal, Effets des contraintes institutionnelles sur les pratiques enseignantes dans l'enseignement spécialisé. In Dorier J.-L., Coutat S. (Eds.) *Enseignement des mathématiques et contrat social: enjeux et défis pour le 21e siècle – Actes du colloque EMF2012 (GT8, pp. 1102–1113)*. 2012. [En ligne] disponible sur: <http://www.emf2012.unige.ch/index.php/actes-emf-2012> (12 juillet 2024).
- [13] Alain Le Bas, *Didactique professionnelle, formation des enseignants et problématisation, Recherches en éducation*, 2007. [En ligne] disponible sur: <https://doi.org/10.4000/ree.3826> URL: <http://journals.openedition.org/ree/3826>.
- [14] D., Schwartz, Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes, Flammarion, France, 1967.
- [15] P. Debaty, La statistique paramétrique, édition Universitaires, Paris, 1967.
- [16] M. Kasele, Education relative à l'environnement en milieu scolaire en RDC, Mémoire de DES, Unikin, 2013.
- [17] M. Muhunga, Intégration des objectifs psychomoteurs congruents avec les questions d'évaluation dans l'enseignement des sciences de la vie de la septième année des humanités de Bukavu-RD-Congo: plaidoyer pour la formation continue des enseignants sur les approches pédagogiques innovantes. Thèse de doctorat. UPN, 2021.
- [18] W. Cwinya' ay & al, Stratégies didactiques de l'éducation environnementale en RD Congo: Les pratiques enseignantes au degré terminal de l'Enseignement primaire dans la ville de Bunia (Province de l'Ituri), 2023, *International journal of Innovation and Applied Studies*, Volume 39. [En ligne] disponible sur: <http://ijias.issr-journals.org/> (18 avril 2024).
- [19] W. Cwinya' ay & al. Stratégies et outils didactiques d'intégration de l'éducation environnementale au degré terminal de l'Ecole primaire en RD Congo: cas de la ville de Bunia, Mémoire de DEA, 2022, ECODISP, BUKAVU, RDC.
- [20] L. Sauvé, « l'éducation relative à l'environnement: possibilités et contraintes», *Connexion, Bulletin international de l'enseignement scientifique et technologique et de l'éducation environnementale de l'UNESCO*, vol. XXVII, n°1-2, Paris, UNESCO, 2003.
- [21] H. Senn, *Education pour le développement durable en milieu scolaire*, 2014. [En ligne] disponible sur: <http://www.wfeu.awsassets.panda.org> (7 Aout 2024).
- [22] P. Clément, Didactique des Sciences et Education Durable: processus et enjeux. *Forêt méditerranéenne*, 32 (2), pp.229, 2011, [en ligne] disponible sur: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01024884> (7 Aout 2024).
- [23] D. Yasmina, et al, *Education au développement Durable-Pourquoi ? Comment ? Guide méthodologique pour les enseignants*, IGEAT, Faculté des Sciences Psychologiques et de l'Education (ULB) et unité de didactique de la Biologie (FUNDP), 2006. [En ligne] disponible sur: <http://www.belspo.be> (7 Aout 2024).

Evaluation de la toxicité subaiguë et des effets d'un extrait aqueux de *Justicia flava* (forsk) Vahl (Acanthaceae) sur les marqueurs sanguins biochimiques et les tissus rénaux

[Evaluation of the subacute toxicity and effects of an aqueous extract of *Justicia flava* (forsk) Vahl (Acanthaceae) on blood biochemical markers and renal tissues]

Djè Kouamé Wenceslas Kouame^{1,2}, Kouadio Frédéric N'Dia², N'Guessan Jean-Baptiste Oussou², Kouakou Léandre Kouakou², and Idrissa Doumbia¹

¹Unité de Formation et de Recherche-Ingénierie, Agronomique, Forestière et environnementale (UFR-IAFE), Université Polytechnique de Man (UP-Man), Côte d'Ivoire

²Laboratoire de Physiologie, Pharmacologie et Pharmacopée (L3P). Unité de Formation et de Recherche-Sciences de la Nature (UFR-SN), Université Nangui ABROGOUA (UNA), 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 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: *Justicia flava* is a plant commonly used because of its several pharmacological properties. In this work seventy (70) rats were divided into 7 groups of 10 animals consisting of five males and five females each in order to check the subacute toxicity and the effects on the kidney of this plant. To do this, the animals were administered daily, orally and for 28 days with doses of 125, 250, 500 and 1000 mg/kg bw of the aqueous extract of *J. flava*. The results showed that this extract was non-toxic on renal function. At these doses, the extract did not cause any significant variation in serum levels of electrolytes (chlorine, sodium, calcium, and potassium). Likewise, renal markers like urea and creatinine showed no significant variation. No structural abnormality in the kidney tissues of treated rats compared to control rats was revealed during this experiment. In conclusion, the aqueous extract of *J. flava* is safe and without toxic effects for the kidney.

KEYWORDS: *Justicia flava*, toxicity, kidney, biochemistry, histology.

RESUME: *Justicia flava* est une plante communément utilisée pour ses nombreuses propriétés pharmacologiques. Dans cette étude, soixante-dix (70) rats ont été divisés en 7 lots de 10 animaux constitués de cinq mâles et cinq femelles chacun pour vérifier la toxicité subaiguë et les effets sur le rein de cette plante. Pour ce faire, Les animaux ont été administrés quotidiennement, par voie orale et pendant 28 jours avec les doses de 125, 250, 500 et 1000 mg/kg pc de l'extrait aqueux de *J. flava*. Les résultats ont montré que cet extrait était non toxique sur la fonction rénale A ces doses, l'extrait n'avait provoqué aucune variation significative des taux sériques des électrolytes (chlore, sodium, calcium, et potassium). De même, les marqueurs rénaux comme l'urée et la créatinine n'ont présenté aucune variation significative. Aucune anomalie de structures au niveau des tissus rénaux des rats traités par rapport aux rats témoins n'a été révélée au cours de cette expérimentation. En conclusion, l'extrait aqueux de *J. flava* est sûr et sans effet toxique pour le rein.

MOTS-CLEFS: *Justicia flava*, toxicité, rein, biochimie, histologie.

1 INTRODUCTION

Les plantes Africaines constituent une source riche et encore peu explorée de produits naturels d'intérêt médical potentiel. Selon l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), environ 80 % de la population mondiale dépend des préparations à base de plantes comme principale source de soins de santé [1]. En Côte d'Ivoire, plusieurs espèces de plantes médicinales et de recettes médicamenteuses ont été recensées [2]. Ainsi, *Justicia flava*, une espèce appartenant à la famille des Acanthaceae et communément appelé *Justicia* jaune est utilisée dans le traitement de plusieurs pathologies en Afrique. Il s'agit du traitement de la toux, de la paralysie, de la fièvre, de la diarrhée, de l'épilepsie, de la convulsion des infections et des troubles de spasmes et de la peau [3]. En Côte d'Ivoire, les feuilles sont utilisées comme hémostatique. Des préparations de la plante sont employées sur les coupures. La pulpe de feuilles sert à frictionner les bébés qui ont des convulsions, des douleurs fiévreuses ou qui souffrent de courbature fébrile et est administré en lavement contre les règles douloureuses ou mélangée avec du jus de *Citrus limon* (citron) et est ingérée pour provoquer la menstruation [4], [5]. Mais, la méconnaissance des effets réels des plantes serait à l'origine de sévères complications. C'est l'exemple de l'étude de [6] qui a montré que 50 personnes ont été atteintes d'insuffisance rénale en 1996 après avoir ingéré une préparation de plantes contenant *Aristolochia fangchi*. De plus, l'utilisation non scientifique des plantes médicinales et leur substance aromatique peuvent présenter des problèmes d'intoxication. Face à ce constat, l'OMS recommande à ses pays membres d'effectuer une étude scientifique sur l'efficacité et l'innocuité des plantes médicinales utilisées de façon empirique [1]. Le rein est un organe bien approvisionné avec le sang et est métaboliquement bien actif. Il joue un rôle important dans la biotransformation et l'excrétion des toxiques. Cet organe est de ce fait une cible plus vulnérable et exposée aux toxiques que les organes ou les tissus mal irrigués ou métaboliquement moins actif tel que la peau et l'os [7]. Cette étude a été conduite sur *J. flava*, une plante qui possèdent plusieurs propriétés pharmacologiques [4], [5]. Cependant, aucune étude toxicologique de cette plante n'a été mentionnée ou prouvé son innocuité sur le fonctionnement du rein. C'est pourquoi, cette étude a donc été réalisée pour évaluer la toxicité sub-aiguë par voie orale de l'extrait aqueux de *J. flava* sur les marqueurs et les tissus rénaux.

2 MATÉRIEL

2.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal utilisé est composé de la plante entière sans les racines (feuilles, fleurs, inflorescences et tige) de *Justicia flava* récoltée à Petit Yapo, dans le département d'Agboville (Côte d'Ivoire) en septembre 2016. L'espèce a été identifiée au Laboratoire de Botanique de l'Université NANGUI ABROGOUA (Côte d'Ivoire), puis le nom de l'espèce a été confirmé au Centre National de Floristique de l'Université Félix Houphouët Boigny où un herbier est conservé sous le numéro 17511 du 29 juillet 1986.

2.2 MATÉRIEL ANIMAL

Le matériel animal est constitué de rats albinos (*Rattus norvegicus*) mâles et femelles, de souche *Wistar* âgés de 6 à 8 semaines et ayant une masse corporelle comprise entre 75 g et 100 g. Ces animaux ont eu un accès libre à l'eau et à la nourriture avec un cycle lumière/obscurité de 12 heures. Ils ont été traités selon les bonnes pratiques de laboratoire [8]. Les différents protocoles expérimentaux ont été suivis conformément aux protocoles de protection des animaux d'expérimentation du Conseil Européen sur la Législation 2012/707 [9].

2.3 RÉACTIFS ET SUBSTANCES PHARMACODYNAMIQUES

Les réactifs et les substances pharmacodynamiques utilisés pour la réalisation de cette étude sont l'extrait aqueux de *Justicia flava*, l'eau distillée, la solution de formol pour la conservation des organes, l'éther di-éthylique pour l'anesthésie, les colorants (hématoxyline, éosine) et l'alcool pour la coloration des organes.

3 MÉTHODES

3.1 PRÉPARATION DE L'EXTRAIT AQUEUX DE JUSTICIA FLAVA

Les plantes entières de *Justicia flava*, à l'exception des racines, ont été lavées avec de l'eau distillée et séchées à température ambiante (22-24°C). Ensuite, elles ont été finement pulvérisées avec un broyeur électrique (SM 100, Allemagne).

Une quantité de 100 g de poudre de *J. flava* a été décoctée pendant 15 min dans 1 L d'eau distillée. La solution aqueuse obtenue est filtrée sur du coton absorbant et du papier filtre Whatman N°3. Un demi-litre d'eau distillée a été ajouté au résidu et bouilli pendant 10 min. Cette solution a également été filtrée. Les filtrats ont été mélangés et séchés dans une étuve (Selecta, Belgique) à 45 °C pendant 48 h. Une poudre de couleur vert foncé a été obtenue correspond à l'extrait aqueux de *J. flava* avec un rendement de 14,37 %.

3.2 EVALUATION DE LA TOXICITÉ SUBAIGÜE

Cette étude de toxicité subaiguë a été réalisée en suivant les lignes directrices de l'OCDE 407 [10] et elle a pour but de révéler d'éventuels effets nocifs pendant et après l'administration orale répétée (28 jours) de EAJf. Elle a consisté en l'administration quotidienne, par voie orale, de l'extrait aqueux de *J. flava* à des animaux, pendant 28 jours. Ainsi, Soixante-dix (70) rats ont été divisés en 7 lots de 10 animaux constitués de cinq mâles et cinq femelles chacun. Le lot 1 (témoin) a reçu de l'eau distillée à 10 mL/kg pc par voie orale. Les lots 2 à 5 ont été gavés avec EAJf aux doses respectives de 125, 250, 500 et 1000 mg/kg pc. Deux lots satellites (lot 6 et lot 7) composés de cinq rats mâles et cinq rats femelles par lots ont été ajoutés. Le lot 6, témoin satellites a reçu de l'eau distillée à 10 mL/kg pc par voie orale. Quant au lot 7, il a été traité oralement avec EAJf à 1000 mg/kg pc. Ces traitements quotidiens ont duré 28 jours pour les lots 1 à 5. Ceux des lots satellites ont continué pendant deux semaines après les 28 jours (c'est-à-dire au jour 42) afin d'observer soit la réversibilité, soit la persistance ou encore l'apparition tardive d'effets toxiques.

3.3 PRELEVEMENTS SANGUINS ET DES REINS DES RATS

Au cours de cette étude, 3 prélèvements sanguins ont été effectués à J₀, J₂₈ et J₄₂. Les prélèvements effectués à J₀ et J₂₈ ont été réalisés sur les rats des lots tests (lots traités et lot témoin), alors que celui effectué à J₄₂ a été réalisé sur les rats des lots satellites. Environ 4 mL de sang ont été recueillis dans des tubes secs pour l'analyse biochimique. Ces prélèvements ont été effectués au cours de l'expérimentation chez des rats préalablement mis à jeûn pendant 15 heures et anesthésiés avec de l'éther di-éthylique, par ponction au niveau du sinus retro orbital de l'œil. A l'aide d'une pipette pasteur introduite dans le sinus retro orbital de l'œil, des mouvements de rotation ont été effectués et le sang qui est monté dans la pipette a été alors introduit dans les tubes. Les reins ont été prélevés après le 28^{ème} jour (lots traités et lot témoin) et le 14^{ème} jour après les 28 jours de traitement, c'est-à-dire au 42^{ème} jour (lots satellites). Ces reins ont été pesés et les poids relatifs ont été ensuite déterminés comme décrite dans les travaux de [11].

$$\text{Poids relatif (\%)} = \frac{\text{Poids de l'organe(g)}}{\text{Poids de l'animal (g)}} \times 100$$

3.4 DOSAGE DES PARAMÈTRES BIOCHIMIQUES RÉNAUX

Le sang recueilli dans les tubes secs a été centrifugé à une vitesse de 3000 tours/min pendant 10 min afin d'obtenir le sérum. Ce dernier a été utilisé pour l'analyse des paramètres biochimiques, grâce à un automate semi-automatique (ROBINIK, Inde). Le sérum obtenu a permis le dosage de l'urée, la créatinine, le potassium, le sodium, le chlore. Les différents dosages ont été réalisés avec le réactif LABKIT selon les méthodes (cinétique, enzymatique et colorimétrique) décrite par [12] et [13].

3.5 TESTS HISTOCHIMIQUES

Les reins sont conservés dans du formol 10 %. La méthode utilisée est la technique de l'inclusion à la paraffine [14]. Des coupes longitudinales ont été effectuées sur les reins, pour prélever des pièces tissulaires. Ces pièces ont été mises dans des cassettes perforées étiquetées. Les tissus imprégnés ont été inclus dans un bloc de paraffine (paraffine liquide refroidit sur une plaque métallique réfrigérée). Les moules contenant les tissus imprégnés ont été remplis. Au bout de 15 min environs, les blocs ont durci et ont été séparés des moules. Des coupes minces de 3 µm d'épaisseur des blocs de paraffine contenant les pièces de tissus ont été réalisées avec un microtome. Une coloration par l'hématoxyline a été effectuée durant 5 min suivie d'un rinçage à l'eau et une introduction dans l'éosine pendant 5 min. Enfin, les coupes ont été passées successivement dans trois bains d'alcool (95°, 100° et 95°) pour être déshydratées. Les coupes ont été observées au microscope optique binoculaire (CYAN, CM001CYANS cope, Belgique) et les photos ont été prises à l'aide d'un appareil photo (TECNO, Camon 12, Chine) monté sur le microscope.

3.6 ANALYSES STATISTIQUES

Les résultats obtenus sont donnés sous forme de moyenne suivie de l'erreur standard sur la moyenne ($M \pm ESM$). L'analyse statistique a été effectuée à l'aide du logiciel Graph Pad Prism 5.01 (San Diego, Californie, USA). Le test t de student et l'ANOVA1 (Analyse de la variance à un facteur) suivi par le test de comparaison de Dunett ont été utilisés pour identifier les différences entre les lots traités et les lots témoins. Les différences sont considérées comme significatives pour $p < 0,05$.

4 RÉSULTATS

4.1 EFFET SUR L'EVOLUTION DES POIDS RELATIF DU REIN

L'administration par voie orale de EAJf aux doses de 125; 250 et 500 mg/kg pc montre que le poids relatif des organes rein des rats traités n'a subi aucune variation significative par rapport à celui des rats du groupe témoin. Il en est de même pour les poids relatifs du rein chez les rats traités par EAJf à 1000 mg/kg pc (Tableau 1).

4.2 EFFET DE EAJF SUR LES ÉLECTROLYTES ET MARQUEURS SERIQUES RENaux

4.2.1 EFFET DE EAJF SUR LA QUANTITE DE SODIUM

Après 28 jours d'administration de EAJf aux doses 125, 250, 500 et 1000 mg/kg pc, la concentration du sodium subit des variations non significatives respectivement de $102 \pm 2,75$; $99,6 \pm 3,51$; $103 \pm 7,36$ et $113 \pm 4,39$ mmol/L par rapport au témoin. Celle des rats du lot témoin est $94,2 \pm 6,57$ mmol/L (Tableau 2).

4.2.2 EFFET DE EAJF SUR LA QUANTITE DE POTASSIUM

Après traitement des rats avec EAJf aux doses comprises entre 125 et 1000 mg/kg pc, aucune variation significative de la quantité de potassium n'est enregistrée par rapport au lot témoin. La concentration de potassium des rats témoins vaut $4,14 \pm 1,25$ mmol/L alors que chez les rats ayant reçu EAJf, la concentration de potassium balance entre $3,99 \pm 0,16$ mmol/L (EAJf 1000 mg/kg pc) à $4,91 \pm 0,74$ mmol/L (EAJf 250 mg/kg de pc) (Tableau 2).

4.2.3 EFFET DE EAJF SUR LA QUANTITE DE CALCIUM

Après 28 jours d'administration de EAJf, la concentration de calcium des rats traités varie de manière non significative par rapport à celle des rats du lot témoin. La concentration de calcium des rats du lot témoin est de $11,0 \pm 1,13$ mmol/L et celles des rats ayant reçu EAJf varient entre $9,90 \pm 0,93$ mmol/L (EAJf 500 mg/kg pc) et $10,5 \pm 2,46$ mmol/L (EAJf 1000 mg/kg pc) (Tableau 2).

Tableau 1. Effet de l'extrait aqueux de *Justicia flava* sur le poids relatif des reins

Lots	Poids relatifs des reins (%)
Témoins (Eau distillée 10 mL/kg pc)	$0,51 \pm 0,13$
EAJf 125 mg/kg pc	$0,54 \pm 0,21$
EAJf 250 mg/kg pc	$0,49 \pm 0,11$
EAJf 500 mg/kg pc	$0,58 \pm 0,24$
EAJf 1000 mg/kg pc	$0,47 \pm 0,36$

$p > 0,05$: aucune différence significative entre les valeurs des lots traités avec l'extrait aqueux de *J. flava* et celles du lot témoin. EAJf: Extrait aqueux *J. flava*; $n = 10$, $m \pm esm$.

4.2.4 EFFET DE EAJF SUR LA QUANTITE DE CHLORE

Après l'administration répétée de EAJf, une augmentation non significative de la concentration du chlore est enregistrée par rapport aux rats du lot témoin. La concentration du chlore chez les rats du lot témoin vaut $114 \pm 25,14$ mg/dL et celle des rats traités avec EAJf atteint $126 \pm 19,50$ mg/dL à la dose 1000 mg/kg pc (Tableau 2).

4.2.5 EFFET DE EAJF SUR LA QUANTITE DE L'UREE

L'administration répétée de EAJf ne cause aucune variation significative de la concentration d'urée par rapport au lot témoin. Chez les rats du lot témoin, la concentration d'urée est de $1,68 \pm 0,41$ g/L et celle des rats traités avec EAJf (125-1000 mg/kg de pc) varie de $1,44 \pm 0,22$ à $1,96 \pm 0,75$ g/L (Tableau 2).

4.2.6 EFFET DE EAJF SUR LA QUANTITE DE CREATININE

Après l'administration orale et répétée de EAJf, une variation non significative de la concentration de créatinine est observée par rapport au lot témoin. Ainsi, la concentration de créatinine des rats du lot témoin est de $0,88 \pm 0,23$ mg/dL et celle des rats traités avec EAJf aux doses étudiées varient de $0,71 \pm 0,17$ mg/dL (EAJf à 250 mg/kg de pc) à $0,94 \pm 0,28$ mg/dL (EAJf 1000 mg/kg de pc) (Tableau 2).

4.2.7 EFFETS DE L'EXTRAIT AQUEUX DE JUSTICIA FLAVA SUR LES ÉLECTROLYTES ET MARQUEURS SÉRIQUES RÉNAUX DEUX SEMAINES APRES L'ARRÊT DES TRAITEMENTS

Quatorze (14) jours après l'arrêt de l'expérimentation, aucune variation significative des électrolytes et des marqueurs sériques rénaux dans les lots traités avec EAJf n'est enregistrée comparativement à celles des différents lots témoins. Aucun effet retardé n'est apparu après l'arrêt du traitement (Tableau 3).

Tableau 2. Variation des paramètres sériques rénaux à la suite d'une administration orale répétée de l'extrait aqueux de *Justicia flava* chez le rat

Paramètres	Doses de EAJf (mg/kg pc)				
	Témoin (Eau distillée 10 mL/kg pc)	125	250	500	1000
Sodium (mmol/L)	94,2 ± 6,57	102 ± 2,75	99,6 ± 3,51	103 ± 7,36	113 ± 4,39
Potassium(mmol/L)	4,14 ± 1,25	4,48 ± 1,09	4,91 ± 0,74	4,09 ± 1,95	3,99 ± 0,16
Calcium (mmol/L)	11,0 ± 1,13	10,3 ± 1,75	10,5 ± 1,49	9,90 ± 0,93	10,5 ± 2,46
Chlore (mg/dL)	114 ± 25,14	119 ± 16,53	115 ± 23,94	123 ± 27,06	126 ± 19,50
Urée (g/L)	1,68 ± 0,41	1,44 ± 0,22	1,87 ± 0,19	1,46 ± 0,42	1,96 ± 0,75
Créatinine (mg/dL)	0,88 ± 0,23	0,86 ± 0,42	0,71 ± 0,17	0,89 ± 0,32	0,94 ± 0,28

$p > 0,05$; aucune différence significative entre les valeurs des lots traités avec l'extrait aqueux de *Justicia flava* et celles du lot témoin. EAJf: extrait aqueux de *J. flava*. $n = 10$, $m \pm esm$.

Tableau 3. Effet de l'extrait aqueux de *Justicia flava* sur les marqueurs biochimiques deux semaines après l'arrêt des différents traitements

Paramètres	Jour 28		Deux semaines après arrêt du traitement (J ₄₂)	
	Témoin (Eau distillée)	EAJf (1000 mg/kg pc)	Témoin (Eau distillée)	EAJf (1000 mg/kg pc)
Sodium (mmol/L)	94,2 ± 6,57	113 ± 4,39	89,9 ± 3,02	91,8 ± 3,66
Potassium (mmol/L)	4,14 ± 1,25	3,99 ± 0,16	4,56 ± 0,36	4,49 ± 0,16
Calcium (mmol/L)	11,0 ± 1,13	10,5 ± 2,46	9,44 ± 0,76	11,0 ± 0,35
Chlore (mg/dl)	114 ± 25,14	126 ± 19,50	117 ± 2,22	119 ± 4,24
Urée (mg/dl)	1,68 ± 0,41	1,96 ± 0,75	1,58 ± 0,03	1,61 ± 0,12
Créatinine (mg/dl)	0,88 ± 0,23	0,94 ± 0,28	0,61 ± 0,02	0,59 ± 0,02

$p > 0,05$; aucune différence significative des rats des lots traités avec EAJf par rapport aux rats du lot témoin. EAJf: Extrait aqueux de *J. flava*; $n = 10$, $m \pm esm$.

4.3 EXAMEN HISTOLOGIQUE DES REINS DES RATS

4.3.1 EFFET DE L'EXTRAIT AQUEUX DE JUSTICIA FLAVA SUR L'HISTOLOGIE DES REINS

L'analyse histologique effectuée sur les reins des rats traités avec l'extrait aqueux de *Justicia flava* (125, 250, 500 et 1000 mg/kg de pc) montre que le rein est resté normal et ne présente pas de différences histologiques majeures comparativement à celui du lot témoin. Aucune nécrose, ni calcification n'ont été observées (Figure 1).

4.3.2 EFFET DE L'ADMINISTRATION DE L'EXTRAIT AQUEUX DE JUSTICIA FLAVA SUR L'HISTOLOGIE DES REIN DEUX SEMAINES APRES L'ARRET DES DIFFERENTS TRAITEMENTS

Quatorze (14) jours après l'arrêt des différents traitements, l'histologie du rein présente toujours un aspect normal et aucun effet toxique retardé n'est observé (Figure 2).

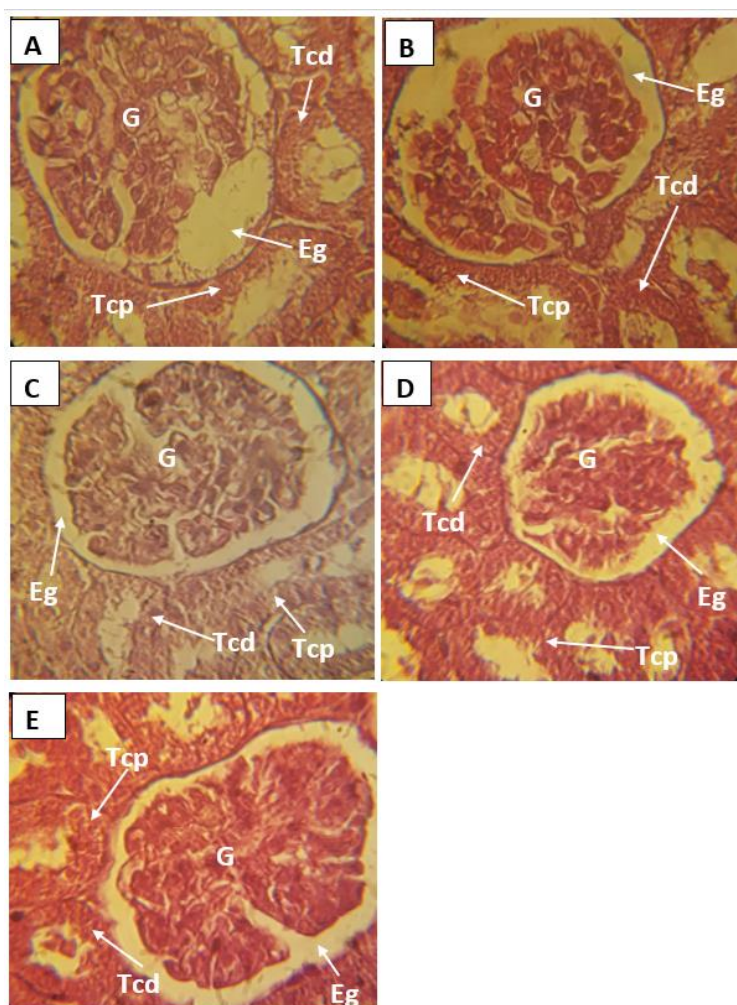


Fig. 1. Microphotographie du tissu rénal des rats après 28 jours de traitement avec l'extrait aqueux de *Justicia flava*

A: tissu rénal de rat témoin; **B:** tissu rénal de rat traité à la dose 125 mg/kg pc; **C:** tissu rénal de rat traité à la dose 250 mg/kg pc; **D:** tissu rénal de rat traité à la dose 500 mg/kg pc; **E:** tissu rénal d'un rat traité à la dose 1000 mg/kg pc; **G:** glomérule; **Eg:** espace glomérulaire; **Tcp:** tube contourné proximal; **Tcd:** tube contourné distal; Coloration Hématoxyline-éosine; (G X 1000)

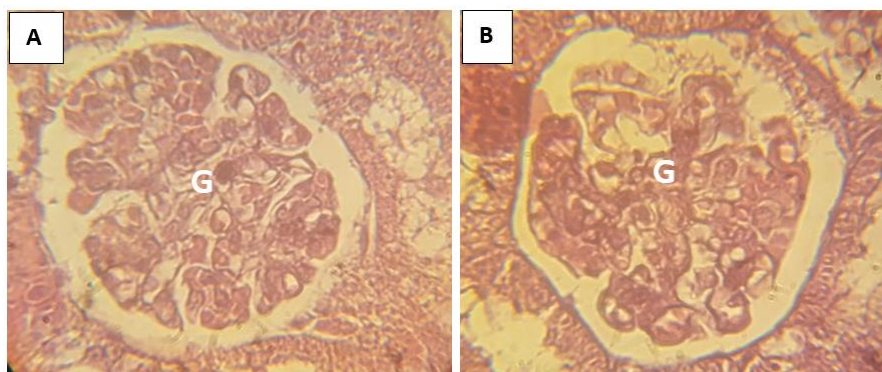


Fig. 2. Microphotographie du tissu rénal des rats 14 jours après l'arrêt des traitements (J₄₂)

A: tissu rénal d'un rat témoin; B: tissu rénal d'un rat traité à la dose 1000 mg/kg pc. Coloration Hématoxyline-éosine; (G X 1000)

5 DISCUSSION

Le poids relatif du rein des rats traités par l'extrait aqueux de *Justicia flava* n'a subi aucune variation significative des poids relatifs des reins prélevés à la fin de l'expérience. Ces résultats sont semblables à ceux de [15]. Ces chercheurs ont montré qu'aucune variation significative du poids corporel et du poids des organes vitaux des animaux traités par *Secamone afzeli* (200, 300 et 400 mg/kg) n'a été enregistrée par rapport aux témoins. L'évaluation de la fonction rénale est très importante dans l'évaluation de la toxicité des extraits des plantes [16], [17]. L'extrait aqueux de *J. flava* n'a provoqué aucune variation significative des taux sériques des électrolytes (sodium, potassium, calcium et du chlore) et des marqueurs sériques rénaux (urée, créatinine). En effet, l'élévation des marqueurs sériques rénaux et de certains électrolytes serait liée à l'altération de la fonction rénale. Encore, la créatinine est connue comme un marqueur important dans le fonctionnement du rein et surtout sur la filtration du glomérule [18]. Les taux sériques de créatinine et d'urée sont élevés chez les patients présentant une insuffisance rénale, en particulier une diminution de la filtration glomérulaire. Au stade précoce des lésions rénales, l'augmentation du taux d'urée sérique précède généralement l'augmentation de créatinine sérique observée dans les lésions rénales chroniques [19]. Or, l'administration répétée de l'extrait aqueux de *J. flava* n'a provoqué aucune variation significative des taux sériques des électrolytes par rapport à ceux du lot témoin. Cela suggère que cet extrait n'entraîne pas des lésions rénales. Ces résultats sont semblables à ceux de [20]. Ces auteurs ont montré que l'extrait total aqueux de *Sacoglottis gabonensis* est sans effet sur les paramètres biochimiques plasmatique et urinaire. De même, les travaux de [21] ont montré que les extraits aqueux et éthanoliques de *Ipomoea carnea* administrés aux doses 250; 500 et 1000 mg/kg de pc pendant 28 jours traitement n'ont présenté aucune anomalie sur les paramètres hématologiques et biochimiques. Sur le plan histologique, les reins des rats n'ont subi aucun dommage. Cela suggère que EAJf n'aurait pas d'effet toxique significatif sur le rein après une utilisation répétée pendant 28 jours. Deux semaines après l'arrêt des traitements, aucun effet retardé ou réversible n'a été également observé sur la structure du rein. Ces résultats sont semblables à ceux de [22]. En effet, ces auteurs ont montré que l'extrait aqueux de *Sida veronicifolia* à la dose de 60 mg/kg de pc n'a aucun effet nuisible observé sur la structure des reins des rats expérimentaux. De même, [23] ont montré que les extraits aqueux et éthanolique de feuilles de *Pterocarpus mildbraedii* sont sans effets toxiques sur la fonction rénale des rats. Les travaux de [24] ont montré que les extraits éthanoliques de fruits de *Xylopia aethiopica* et des graines et feuilles de *Piper guineense* n'ont pas d'effet toxique sur la fonction rénale chez des rats.

6 CONCLUSION

Cette étude a montré que l'extrait aqueux de *Justicia flava* administré par voie orale est non toxique et n'entrave pas le fonctionnement des néphrocytes.

REFERENCES

- [1] OMS, Stratégie de l'OMS pour la médecine traditionnelle pour 2002-2005. Vol. 1, n° 78, 2002.
- [2] L. Aké-Assi, «Rapport sur le colloque international de la médecine traditionnelle africaine à Abidjan- Côte d'Ivoire». *Bulletin de la Médecine Traditionnelle en Pharmacopée*, Acte vol.4, n°2, pp. 184-198, 1991.
- [3] C. Agyare, A. Asase, M. Lechtenberg, M. Niehues, A. Deters and A. Hensel. «An ethnopharmacological survey and *in vitro* confirmation of ethnopharmacological use of medicinal plants used for wound healing in Bosomtwi-Atwima-Kwanwomaarea, Ghana». *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 125, pp. 393 – 403, 2009.
- [4] A. Bouquet, M. Debray, Plantes médicinales de Côte d'Ivoire. *Edition de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-mer*, vol. 32, pp. 10-12. 1974.
- [5] G.J.H. Grubben, O.A. Denton, Plant resources of tropical Africa-2, *Nordic Journal of Botany*, vol. 23, n° 3, pp. 298-324, 2004.
- [6] A.A. Zeggwagh, Y. Lahlou, Y. Bousliman, Enquête sur les aspects toxicologiques de la phytothérapie utilisée par un herboriste à Fes Maroc, *Pan African Medical Journal*, vol. 14, pp. 125-174, 2013.
- [7] G. Lapointe, Notions de toxicologie. 2nd ed. *Commission de la santé et de la sécurité du travail* (Québec, Canada), pp.16-20, 2004.
- [8] OCDE, Série sur les principes de bonnes pratiques de laboratoire et vérification du respect de ces principes. *ENV/MC/CHEM (98)*, 17, pp. 22-23, 1998.
- [9] EU, Commission implementing decision of 14 november 2012 establishing a common format for the submission of the information pursuant to Directive 2010/63/EU of the European parliament and of the council on the protection of animals used for scientific purposes (notified under document C (2012) 8064) text with EEA relevance. *Special Education Croatian*, vol. 15 n° 28, pp. 163-180, 2012.
- [10] OCDE, Lignes directrices de l'OCDE pour les essais de produits chimiques du protocole 407. Étude de toxicité orale à dose répétée pendant 28 jours sur les rongeurs. OCDE, (425): pp. 1-14, 2008.
- [11] L. Kharchoufa, M. Bouhrim, N. Bencheikh, S. El Assri, A. Amirou, A. Yamani, M. Elachouri, Acute and subacute toxicity studies of the aqueous extract from *Haloxylon scoparium* Pomel (*Hammada scoparia* (Pomel)) by oral administration in rodents. *BioMed Research International*, pp. 1-11, 2020.
- [12] N.W. Tietz, Clinical Guide to Laboratory tests. 3rd ed *Philadelphia WB Saunders*, pp. 268-273, 1995.
- [13] D.S. Young, Effects of drugs on clinical laboratory tests. *Annals of Clinical Biochemistry: International Journal of Laboratory Medicine*, vol. 34, pp. 579-581, 1997.
- [14] Hould R, Technique d'histopathologie et de cytopathologie. *Maloine edition. Paris (France)*, p. 399, 1984.
- [15] D.S. Koné, G. Gnahoue, I.O. Tra-Bi, A. Bamba, K.R. Kouakou, H.F. Yapi, Acute and sub-acute (28-Day) oral toxicity studies of aqueous extract of *secamone afzelii* leaves in wistar rats. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, vol. 9 n° 4, pp. 60-64, 2020.
- [16] A. Aydina, G. Aktayb, E. Yesiladac, A Guidance manual for the toxicity assessment of traditional herbal medicines. *Natural Product Communications*, vol. 11 n° 11, pp. 1763-1773, 2016.
- [17] N. Petejova, A. Martinek, J. Zadrzil, V. Teplan, Acute toxic kidney injury. *Renal Failure*, vol. 41 n°1, pp. 576-594, 2019.
- [18] M. Monge-Zamorano, M.I. Luis-Yanes, V. García-Nieto, Renal function tests also exist. *Journal of Pediatric Urology*, vol. 12 n° 2, pp. 131-132, 2016.
- [19] R.G. Craig, Interactions between chronic renal disease and periodontal disease. *Oral Diseases*, vol. 1491, pp. 1-7, 2007.
- [20] M. Koné, N.M. Bleyere, A.P. Yapo, O.M. Vangah, E.E. Ehile, Evaluation de la toxicité d'un extrait aqueux de *Sacoglottis gabonensis* (Baille) Urban (Humiriaceae) chez les rongeurs, une plante utilisée dans le traitement de l'ulcère de Buruli en Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 3 n° 6, pp. 1286-1296, 2009.
- [21] S.R. Kushwaha, S. Gupta, K. Choukiker, S. Jain, Evaluation of acute and sub-acute oral toxicity study of aqueous and ethanolic extracts of *Ipomoea carnea* on experimental rats. *International Journal of Drug Discovery and Herbal Research*, vol. 10 n° 4, pp. 883-891, 2020.
- [22] M.D. Yemele, P.B. Telefo, H.S.I. Mapon, C. Nangue, C.S.P. Fodouop, N.S. Njina, J.T. Mbemya, L.L. Lienou, S.R. Tagne, C.S. Goka, F. Ngoula, F. Nguemo, P.F. Moundipa, Acute and sub-acute toxicity of *Sida veronicifolia* aqueous extract in female wistar rats. *International Journal of Toxicological and Pharmacological Research*, vol 8 n° 4, pp. 210-218, 2016.
- [23] C.N. Ezekwesili, A.V. Adegbite, O.C. Okani, Effects of aqueous and ethanolic leaf extracts of *Pterocarpus mildbraedii* on renal and heart functions of albino rats. *Animal Research International*, vol. 13 n° 2, pp. 2446 -2453, 2016.
- [24] C. Imo, K.A. Arowora, C.S. Ezeonu, J. Ikwebe, O.E. Yakubu, N.G., Imo, G.C. Danlami, Biochemical and histological effects of ethanolic extracts of fruits of *Xylopiya aethiopica* and seeds and leaves of *Piper guineense* on liver and kidney function in male albino rats. *Future Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol 7 n° 35, pp. 1-12, 2021.

Analyse de la perception des PME sénégalaises sur l'application des Mesures Non Tarifaires dans les exportations de fruits frais et légumes

[Analysis of Senegalese SMEs' perceptions of the application of Non-Tariff Measures to fresh fruit and vegetable exports]

Malick Touré¹, Lesfran Sam Agbahoungba²⁻³, Idrissa Wade⁴, and Ibrahima Thiam⁵

¹Institut supérieur de Formation agricole et rurale (ISFAR), Université Alioune Diop (UAD), Senegal

²Centre de Recherche en Economie et Finance Appliquées de Thiès (CREFAT), Université Iba Der Thiam de Thiès (UIDT), Senegal

³Université Mercure Internationale, Guinea

⁴École nationale supérieure d'Agriculture (ENSA), Senegal

⁵Centre de Recherche en Economie et Finance Appliquées de Thiès (CREFAT), Université Iba Der Thiam de Thiès (UIDT), Senegal

Copyright © 2024 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 analyzes Senegalese companies' perceptions of non-tariff measures and their application in fresh fruit and vegetable trade. The methodology relies on secondary data to focus on stylized facts, and a survey of SME exporters of fresh fruit and vegetables to analyze their perceptions of the application of non-tariff measures. The survey reveals that the main products exported are mangoes, melons and beans. The main destination countries are France and Spain. The results also show that the measures that significantly affect fresh fruit and vegetable exports are, in order of importance: sanitary and phytosanitary measures, rules of origin, technical barriers to trade, pre-shipment inspection and the regime of non-automatic licensing, quotas, prohibitions, quantitative control measures and other restrictions. The main recommendations put forward for greater efficiency in the export of fresh fruit and vegetables are: improving the diversification of products marketed, improving access to legal and regulatory texts, strengthening the capacity of players in international trade techniques, circuits and mechanisms for applying non-tariff measures, organizing companies into consortia for greater efficiency in implementing measures, and improving foreign trade infrastructure and logistics to reduce trade transaction costs.

KEYWORDS: Foreign trade, non-tariff measures, fresh fruit, vegetable, SME.

RESUME: Cet article analyse la perception des entreprises sénégalaises sur les mesures non tarifaires et leur application dans les échanges commerciaux des fruits frais et légumes. La méthodologie s'appuie sur des données secondaires permettant de mettre l'accent sur les faits stylisés et une enquête auprès des PME exportatrices de fruits frais et légumes pour analyser leurs perceptions sur l'application des mesures non tarifaires. L'enquête révèle que les principaux produits exportés sont les mangues, les melons et les haricots. Les principaux pays destinataires sont la France et l'Espagne. Les résultats montrent également que les mesures qui affectent considérablement les exportations de fruits frais et légumes sont, par ordre d'importance: les mesures sanitaires et phytosanitaires, les règles d'origine, les obstacles techniques au commerce, l'inspection avant expédition et le régime de licences non automatiques, de contingents, prohibitions, mesures de contrôle quantitatif et autres restrictions. Les principales recommandations formulées pour une meilleure efficacité dans l'exportation des fruits frais

et légumes sont: l'amélioration de la diversification des produits commercialisés, l'amélioration de l'accès aux textes juridiques et réglementaires, le renforcement de la capacité des acteurs sur les techniques du commerce international, les circuits et les mécanismes d'application des mesures non tarifaires, l'organisation des entreprises en consortium pour une meilleure efficacité dans la mise en œuvre des mesures et l'amélioration des infrastructures et logistiques liées au commerce extérieur pour réduire les coûts de transactions sur le commerce.

MOTS-CLEFS: Commerce extérieur, mesures non tarifaires, fruits frais, légume, PME.

1 INTRODUCTION

La structure des exportations et des importations du Sénégal a connu ces dernières années des changements tant sur les produits commercialisés que leur destination. La composition des expéditions du Sénégal s'est modifiée en faveur des produits horticoles (fruits frais, légumes et plantes) et de certains biens manufacturés (ANSD, 2020). Les produits agricoles tels que les fruits et légumes ont connu une tendance haussière sur la période 2016-2020. Malgré une baisse de 7,5 % des exportations totales du Sénégal entre 2019 (2446,7 milliards de FCFA) et 2020 (2261,3 milliards), les expéditions en fruits frais et légumes ont connu une amélioration de 7,2 % et représentent 3,9 % des ventes du Sénégal (ANSD, 2020). Avec le démarrage de l'exploitation de nouveaux domaines agricoles communautaires (DAC), le sous-secteur a tiré profit du renforcement de la production horticole. Ainsi, les productions de légumes et fruits, en quantité, ont respectivement augmenté de 4,9 % et 1,2 % en 2021.

C'est un secteur en plein essor que le Sénégal peut exploiter davantage pour renforcer la compétitivité des entreprises exportatrices. En termes d'avantages comparatifs, selon la Banque mondiale (World Bank Group, 2014) ¹, les produits horticoles sont l'avenir de l'agriculture sénégalaise. Au moment où la productivité agricole est en baisse, les produits horticoles représentent le sous-secteur le plus performant, soutenu par une forte augmentation des investissements directs étrangers. La capacité du Sénégal à exporter par voie maritime et routière vers les marchés de l'UE en seulement 5 à 6 jours est aussi un avantage concurrentiel. Les exportations sont principalement orientées vers l'UE avec un pourcentage de 63 % et l'Afrique subsaharienne en deuxième lieu avec 21 %. Cependant, les nouvelles mesures contraignantes issues des tensions géopolitiques notamment entre les pays de l'OCDE et la Russie ainsi que le blocus de certains produits en destination du Mali, peuvent entraîner quelques perturbations sur les expéditions de produits fruits frais et légumes (FFL). Il faut rappeler que le Mali est le principal pays destinataire des exportations du Sénégal dans la zone CEDEAO avec une part évaluée à 21% en 2020 (DPEE, 2022).

L'une des contraintes relevées sur les échanges extérieurs, notamment sur les exportations, demeure les mesures non tarifaires. Le principal problème est l'augmentation des interceptions de lots de certains fruits frais et légumes (FFL) (comme les mangues) pour cause de mouches des fruits. Cela est préoccupant à la lumière du nouveau règlement européen sur la santé des plantes concernant la mouche des fruits non européenne qui est entré en vigueur en décembre 2019. Il met en place des mesures spécifiques relatives aux importations de mangues.

Cette situation s'inscrit dans un contexte où la politique commerciale de l'UEMOA est principalement axée sur l'élimination ou la réduction des mesures tarifaires et non tarifaires (MTN). En effet, la part des échanges intracommunautaires se chiffre à 11,6 % du total des échanges commerciaux très loin de l'objectif de 25 % fixé par le programme régional de développement des échanges commerciaux dans l'espace UEMOA. Une des raisons de la faible part des échanges commerciaux intracommunautaires est la mise en œuvre imparfaite des instruments de la politique commerciale. En effet, les barrières non tarifaires sont persistantes et constituent un frein sur le développement socioéconomique de la zone. Selon Henson et Jaffee (2006) les exigences sanitaires rigoureuses peuvent créer des barrières au commerce, particulièrement pour les pays en développement qui peuvent avoir du mal à satisfaire ces normes.

Selon la classification de la Conférence des Nations-Unies pour le commerce et le développement (CNUCED), les mesures non tarifaires sont diverses et portent principalement sur: i) les mesures sanitaires et phytosanitaires; ii) les obstacles techniques au commerce; iii) les inspections avant expédition et autres formalités; iv) les mesures contingentes de protection du commerce; v) le régime de licences non automatiques, contingents, prohibitions, mesures de contrôle quantitatif et autres

¹ "World Bank Group. 2014. Situation économique du Sénégal : apprendre du passé pour un avenir meilleur. Senegal economic update; no. 1. Washington, DC. © World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/21504> License: CC BY 3.0 IGO."

restrictions, hors mesures sanitaires et phytosanitaires; vi) les mesures de contrôle des prix, dont taxes et impositions additionnelles; vii) les mesures financières; viii) les mesures affectant la concurrence; ix) les restrictions de distribution; x) les règles d'origine.

C'est pourquoi, la performance du commerce extérieur du Sénégal est tributaire à la capacité des entreprises commerciales à surmonter les barrières non tarifaires dans un environnement juridique et institutionnel adéquat. En outre, la mise en œuvre de la Zone de Libre Echange continental africain (ZLECAf) pourrait constituer un outil de promotion de la croissance et du commerce international des pays, en phase avec les orientations des stratégies nationales de développement économique et social. En effet, la ZLECAf, en réussissant la suppression des barrières commerciales et la libéralisation des échanges à l'échelle continentale, d'une part, et l'instauration d'un cadre harmonisé propice à la concurrence, à l'investissement et à l'innovation, d'autre part, pourrait générer des bénéfices substantiels du point de vue de l'économie et de la société.

Ainsi, cette présente recherche a pour objectif d'analyser la perception des entreprises sénégalaises d'exportation de fruits frais et légumes sur l'application des mesures non tarifaires. De manière spécifiques, il s'agit de: (i) mener un état des lieux des échanges commerciaux en FFL et la mise en œuvre des MNT; et (ii) appréhender la perception des entreprises sur l'application des MNT dans les exportations de FFL. La suite de l'article est structurée de la manière suivante. La première section présente les faits stylisés sur les échanges commerciaux et les mesures non tarifaires. La deuxième section expose la méthodologie de recherche. La troisième et dernière section présente et analyse les principaux résultats et discussions.

2 COMMERCE EXTERIEUR ET MESURES NON TARIFAIRES AU SENEGAL: FAITS STYLISES

2.1 EVOLUTION DES ÉCHANGES COMMERCIAUX ENTRE LE SENEGAL ET SES PARTENAIRES

Le graphique ci-après montre l'évolution mondiale des exportations et importations du Sénégal sur la période 2001 – 2020. L'analyse du graphique fait ressortir que les exportations et les importations sénégalaises présentent la même allure croissante depuis 2001. Sur la période d'observation, les importations dominent largement les exportations. Cela témoigne que, à l'instar de la plupart des pays en développement d'Afrique au sud du Sahara, le Sénégal est encore un pays importateur net.

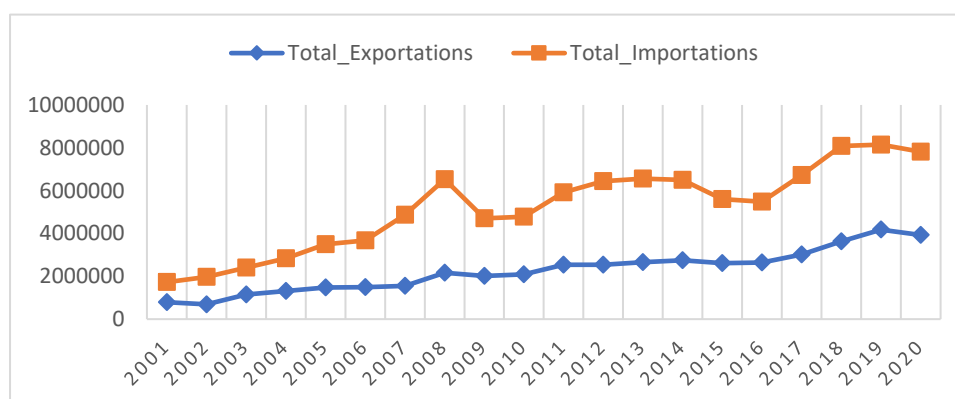


Fig. 1. Volume des échanges commerciaux du Sénégal sur la période 2001 – 2020

Source: Auteurs à partir des données de Trade Map

2.2 PRINCIPAUX PARTENAIRES COMMERCIAUX ET ÉVOLUTION DU VOLUME ÉCHANGE

En moyenne sur la période 2001 – 2020, le Mali est le premier pays importateur des produits sénégalais. En moyenne, la valeur des importations du Mali en provenance du Sénégal s'élève à 428 489 (milliers USD). Le Sénégal exporte également vers les pays tels que la Suisse (199 086 milliers USD), l'Inde (197 930 milliers USD), la France (108 983 milliers USD), etc. Les premiers pays de la CEDEAO avec lesquels le Sénégal échange le plus en termes d'exportation sont la Guinée et la Côte d'Ivoire dont les valeurs moyennes exportées sur la période ont atteint 83 181 milliers USD et 81 135 milliers USD. En ce qui concerne les importations, le Sénégal est principalement tourné vers les pays hors UEMOA. En effet, la France est le principal et premier pays d'importation du Sénégal. Sur la période 2001 – 2020, les importations du Sénégal en provenance de ce pays ont atteint en moyenne 923 321 milliers USD. Elle est suivie du Nigéria (451 374 milliers USD) et de la Chine (397 972 milliers USD).

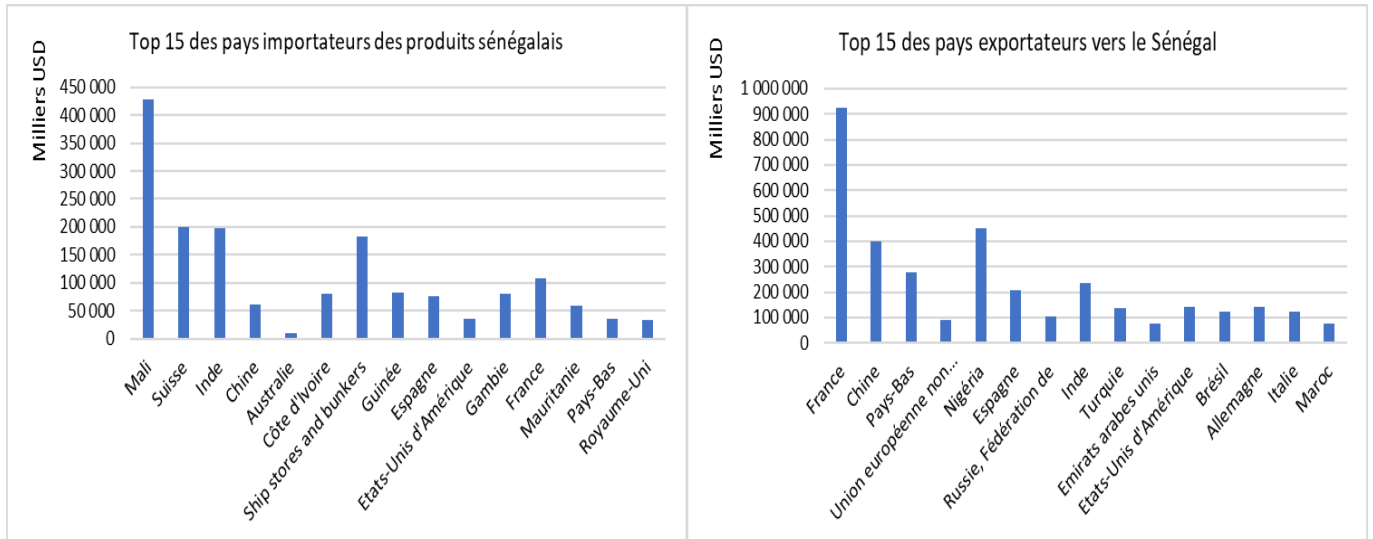


Fig. 2. Principaux partenaires commerciaux du Sénégal (2001 – 2020)

Source: Auteurs à partir des données de Trade map

2.3 CAS DE L'EXPORTATION DES FRUITS FRAIS ET LEGUMES (FFL)

Selon la nomenclature des produits par le centre du commerce international, les fruits appartiennent à la classification des produits N°8: Fruits comestibles, Ecorces d'agrumes et melons tandis que les légumes appartiennent au lot de produits N°7: Légumes, plantes, racines et tubercules alimentaires. Le graphique ci-après montre l'évolution des exportations des fruits et légumes du Sénégal vers ses partenaires sur la période 2001 – 2020.

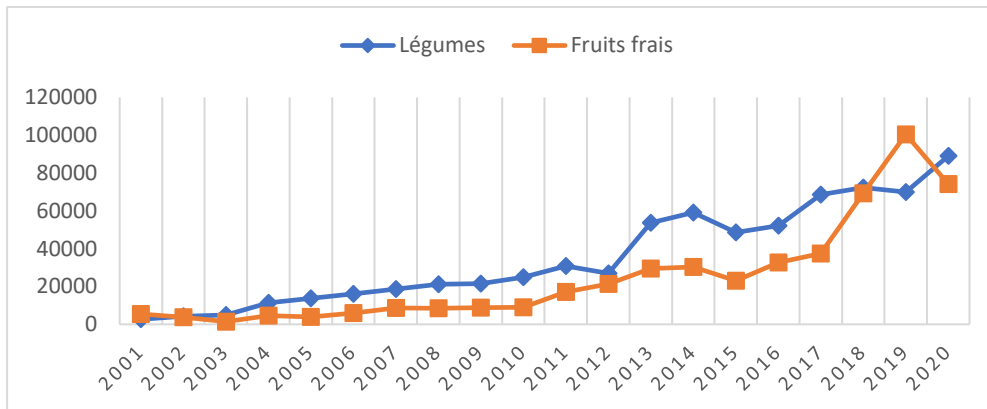


Fig. 3. Evolution du volume exporté des fruits frais et légumes sur la période 2001-2020

Source: Auteurs à partir des données de Trade Map

L'analyse du graphique suivant montre que le Sénégal est dans une phase croissante de ses exportations des fruits et légumes. Sur la période d'étude, il est observé que les exportations des légumes sont sensiblement supérieures à celles des fruits. Toutefois, on note également au début des années 2016, une croissance relativement plus forte des exportations des fruits frais sur celles des légumes atteignant 100 479 milliers USD en 2019. En moyenne sur la période 2001 – 2019, les exportations des légumes et des fruits du Sénégal ont atteint 35 528 milliers USD et 24 763 milliers USD.

Les principaux pays partenaires commerciaux des exportations de légumes du Sénégal sont le Royaume-Uni, les Pays-Bas et la France. En moyenne, sur la période 2001 – 2020, ces pays ont importé les légumes sénégalais à hauteur de 13 766 milliers USD, 9 099 milliers USD et 6 523 milliers USD respectivement pour le Royaume-Uni, les Pays-Bas et la France. Cela montre le caractère essentiellement tourné vers l'extérieur de la zone CEDEAO et du continent Africain des exportations de légumes

sénégalais. Dans ce contexte, les entreprises sénégalaises dans la production et l'exportation des légumes, outre les obstacles non tarifaires rencontrés au Sénégal, seront très sensibles aux mesures non tarifaires mises en place par ces pays. De façon similaire, les principaux pays d'exportation de fruits du Sénégal sur la période d'étude sont principalement l'Inde (3 970 milliers USD), la France (4 059 milliers USD), l'Espagne (6 721 milliers USD), le Vietnam (2 550 milliers USD) et les Emirats arabes Unis (2 064 milliers USD). Ces pays à eux-seuls ont importé environ 90 % des fruits frais exportés par le Sénégal sur cette période. Ainsi, les mesures non tarifaires (MNT) mises en œuvre dans ces pays sont susceptibles d'affecter les entreprises du secteur d'exportation des fruits au Sénégal.

2.4 LES MESURES NON TARIFAIRES (MNT)

Les mesures non tarifaires (MNT) sont définies par la Conférence des Nations Unies sur le Commerce et le Développement (CNUCED) comme étant des mesures de politique générale autres que les droits de douane ordinaires, qui peuvent avoir une incidence économique sur le commerce international des marchandises, en modifiant les quantités de marchandises échangées, les prix des biens ou bien les deux. Les différentes MNT appliquées dans le commerce international sont confinés dans le tableau suivant.

Tableau 1. Classification des différentes mesures non tarifaires

Mesures techniques	Mesures sanitaires et phytosanitaires
	Obstacles techniques au commerce
	Inspection avant expédition et autres formalités
Mesures non techniques	Mesures contingentes de protection du commerce
	Régime de licences non automatiques, contingents, prohibitions, mesures de contrôle quantitatif et autres restrictions, hors mesures sanitaires et phytosanitaires ou mesures liées aux obstacles techniques au commerce
	Mesures de contrôle des prix, dont taxes et impositions additionnelles
	Mesures financières
	Mesures affectant la concurrence
	Mesures concernant les investissements et liées au commerce
	Restrictions de distribution
	Restrictions concernant les services après-vente
	Subventions et autres formes de soutien
	Restrictions concernant les marchés publics
	Propriété intellectuelle
	Règles d'origine

Source: Auteurs

Selon une étude du Centre du Commerce internationale sur la perception des entreprises sur les MNT, le secteur privé a identifié cinq (05) principales MNT qui affectent les exportations de produits agricoles, à savoir: (i) les exigences techniques (pour 62% des MNT); (ii) l'évaluation de la conformité (pour 28% des MNT); (iii) les redevances, taxes et autres mesures paratariétaires (pour 4% des MNT); (iv) l'inspection avant expédition (pour 3% des MNT); les règles et certificats d'origine (pour 3% des MNT). Les exigences techniques concernent:

- Les exigences en matière d'emballage qui sont imposées notamment par les pays de l'Union Européenne (France, Italie, Pays Bas et Espagne) et frappent surtout les fruits et légumes et les préparations alimentaires;
- Les conditions d'entreposage et de transport: ces mesures, considérées comme des obstacles procéduraux, frappent davantage les poissons, les crustacés et les fruits à destination de l'Europe (France, Italie, Espagne, Grèce);
- Les exigences relatives au processus de production et les autres exigences techniques: ces mesures frappent les produits de la pêche et sont imposées par les pays de l'Union Européenne et la Turquie.

L'évaluation de la conformité vise à déterminer si le produit ou le procédé de production correspond aux exigences techniques spécifiées (identité, qualité et performance du produit, exigences en matière d'hygiène, conditions d'entreposage et de transport, etc.). Ces mesures concernent davantage: les exigences en matière d'essai, les exigences en matière de certification et d'inspection des produits et enfin les informations en matière de traçabilité. Les redevances, taxes et autres

mesures para-tarifaires sont constituées principalement des frais d'entreposage ou de manutention qui sont imposés par les autorités aéroportuaires des Pays-Bas, de l'Allemagne et de la France, sur les fruits exportés. L'inspection avant expédition est une MNT particulièrement contraignante pour les produits de la pêche, en raison des procédures appliquées par les autorités portuaires des pays destinataires, notamment en France, en Algérie, en Allemagne. La contrainte liée à cette MNT est relative aux inspections nombreuses, les conditions et coûts de stockage.

Selon l'étude du Centre du Commerce international sur la perception des entreprises sur les MNT, près d'un quart des MNT contraignantes rencontrées par les exportateurs de produits agricoles et alimentaires sont appliquées par le Sénégal. On distingue quatre principaux types de mesures nationales contraignantes. Il s'agit principalement des exigences en matière de certification requises par le pays exportateur (34% des cas) et des exigences en matière d'inspection à l'exportation (22%). Ces dernières sont suivies par les mesures de restrictions quantitatives (20 %) et les taxes de redevances perçues à l'exportation (14 %).

Selon les destinations, les pays de l'UE arrivent en tête des partenaires du Sénégal qui appliquent des MNT les plus stricts. En effet, selon l'étude du CCI, près de 75% des exportations de produits agricoles sont frappées par des MNT strictes appliquées par les pays de l'Union Européenne. En Afrique de l'Ouest, la Côte d'Ivoire est le seul pays qui applique des MNT strictes sur les exportations de produits agricoles originaires du Sénégal.

D'après l'enquête de l'International Trade Centre (ITC) sur les MNT au Sénégal en 2014, les exportateurs sont légèrement moins affectés par les MNT que les importateurs (51% des entreprises affectés à l'exportation contre 55% à l'importation). Il existe toutefois une grande disparité selon que les entreprises exercent une seule ou les deux activités. En effet, les entreprises ayant uniquement une activité d'exportation sont davantage touchées par des MNT contraignantes que les autres entreprises. D'autre part, si de nombreuses entreprises qui exportent et importent font également face à des MNT contraignantes cela ne s'applique en général que pour l'une des deux activités. Les entreprises qui exportent et importent sont davantage confrontées à des barrières non tarifaires lors de l'importation des produits que lors de leur exportation. Enfin, seule la moitié des entreprises qui importent uniquement sont affectées par des MNT contraignantes. Ces différences de perception peuvent s'expliquer par le fait que la conquête des marchés étrangers peut s'avérer plus difficile à cause de nombreuses barrières à franchir que lorsqu'il s'agit de faire venir des marchandises sur le marché intérieur.

3 METHODOLOGIE

La démarche méthodologique adoptée se décline en plusieurs étapes essentielles à savoir:

- **La recherche documentaire:** elle a permis d'exploiter les travaux de recherche et/ou rapports d'analyse portant sur les exportations des fruits frais et légumes au Sénégal et dans la sous-région ouest africaine. La collecte de données secondaires a permis ainsi de faire l'état des lieux sur: les échanges commerciaux entre le Sénégal et ses partenaires, l'évolution du volume des exportations en fruits frais et légumes et les mesures non tarifaires applicables aux échanges commerciaux. Cela a conduit à une bonne compréhension des obstacles, soit tarifaires et/ou non tarifaires qui inhibent le développement des activités du secteur agricole (notamment les FFL) vers et en provenance des partenaires commerciaux européens.
- **Elaboration et administration d'un questionnaire et conduite d'une enquête de collecte de données:** Sur la base du recensement des entreprises exportatrices des FFL, un questionnaire d'enquête pour la collecte des données a été élaboré. Le déploiement du questionnaire par les agents enquêteurs ont permis de collecter les données nécessaires auprès des entreprises cibles. L'enquête s'est effectuée principalement dans les régions de Dakar et de Thiès qui concentrent une grande partie de la production des spéculations retenues. Le nombre d'entreprise ciblé est de 25. Cet échantillon est retenu selon les données de base de la situation des imports et exports en fruits frais et légumes contrôlés de la Division de la protection des végétaux (DPV) du Sénégal. En effet, en 2021, la moyenne des nombres d'entreprises enregistrées dans la base de données DPV est de 300 et la moyenne des nombres d'entreprises suivies est de 25.
- **Traitement et analyse des données collectées:** cette dernière étape de la démarche méthodologique consiste au dépouillement et au traitement statistique des données. Les statistiques descriptives et l'analyse des interrelations entre les différentes variables sont utilisées. Un accent est mis sur l'analyse croisée selon le statut juridique des PME est les différentes variables (les différentes mesures non tarifaires appliquées). Ainsi, les principaux résultats issus des traitements de données font objet d'analyse et d'interprétation au regard des objectifs de la recherche.

4 PRINCIPAUX RESULTATS

4.1 LE STATUT JURIDIQUE DES ENTREPRISES ENQUETÉES

Le choix du statut est très important car il a des conséquences juridiques. L'objectif est de voir son influence sur le régime fiscal des entreprises, le régime social applicable, les obligations comptables et les processus de décision au sein de l'entreprise. Ainsi, le graphique ci-dessous présente la répartition des entreprises sénégalaises engagées dans les échanges commerciaux des produits agricoles tels que les fruits frais et légumes. Il ressort de l'analyse qu'en majorité, soit 48 % de ces entreprises, sont des Sociétés à Responsabilité Limitée (SARL). Elles sont suivies par les entreprises individuelles (24 %) et les Groupements d'intérêt Economiques (20 %). Les autres formes juridiques sont faiblement représentées dans le commerce des fruits frais et légumes (Sociétés Anonymes (4 %), sociétés coopératives (4 %)) ou inexistantes (Sociétés en Nom Collectifs et Sociétés en Commandité Simple).

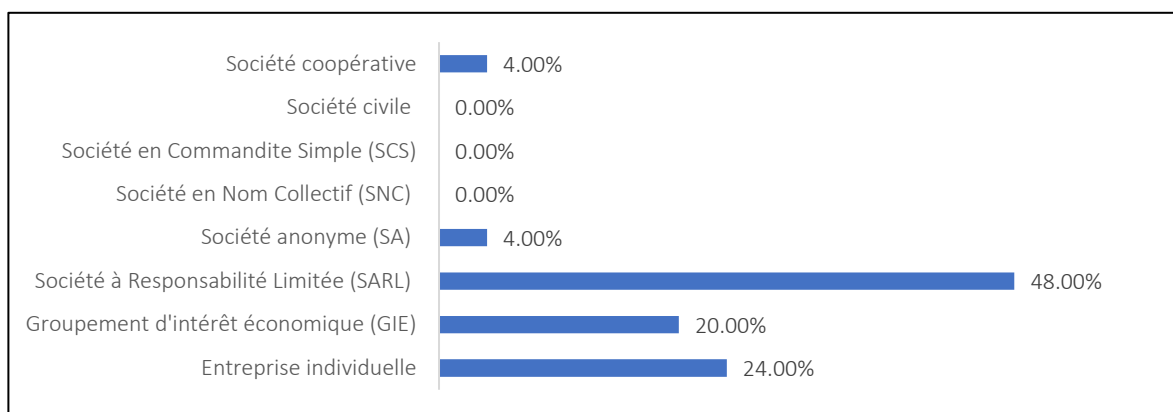


Fig. 4. Répartition des entreprises selon la nature juridique

Source: Auteurs à partir des données de l'enquête

4.2 PRINCIPAUX MARCHES ET POIDS DES EXPORTATIONS DES FFL

Cette section fournit des informations statistiques sur les principaux marchés de destination des exportations des Fruits Frais et Légumes (FFL) et sur le poids de l'exportation des FFL dans les activités des entreprises cibles. Il ressort de l'analyse du tableau 2 que l'essentiel de la production des entreprises enquêtées est orienté vers le marché international. En effet, 22 des 25 entreprises enquêtées évoluant dans le commerce des FFL déclarent produire prioritairement pour le marché externe contre seulement 3 entreprises dont la production et/ou la commercialisation vise le marché intérieur sénégalais. Selon leur statut juridique, les marchés internationaux comme destination des produits FFL sont en priorité visés par les entreprises organisées en sociétés à responsabilité limitée (SARL), les groupements d'intérêt économique (GIE) et les entreprises individuelles.

Tableau 2. Principal marché de la principale ligne de produit

	National	International
Entreprise individuelle	33,30%	22,70%
Groupement d'intérêt économique (GIE)	0,00%	22,70%
Société à Responsabilité Limitée (SARL)	33,30%	50,00%
Société anonyme (SA)	0,00%	4,50%
Société coopérative	33,30%	0,00%

Source: Auteurs, à partir des données d'enquête

Parmi les entreprises enquêtées, l'exportation des FFL occupe un poids non négligeable, représentant plus de 50 %. Ainsi, 19 entreprises sur 25 enquêtées ont un poids des exportations des FFL dans leur activité pour les cinq dernières années qui

dépasse 50 %. En termes de nombre d'entreprises, cette importance des exportations des FFL est plus prépondérante chez les entreprises constituées en SARL. Cependant, les groupements d'intérêt économique (GIE) et les entreprises individuelles sont également spécialisés dans les exportations des FFL dont le poids est de plus en plus non négligeable dans les chiffres d'affaires.

Tableau 3. Poids des exportations des FFL dans l'activité des entreprises enquêtées

Statut juridique	11%-25%	26%-50%	51%-90%	100,0%
Entreprise individuelle	50,0%	25,0%	26,7%	0,0%
Groupement d'intérêt économique (GIE)	0,0%	0,0%	26,7%	25,0%
Société à Responsabilité Limitée (SARL)	0,0%	75,0%	40,0%	75,0%
Société anonyme (SA)	50,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Société coopérative	0,0%	0,0%	6,7%	0,0%

Source: Auteurs, à partir des données d'enquête

4.3 EVOLUTION DU CHIFFRE D'AFFAIRES MOYEN DES TROIS DERNIERES ANNEES DES ENTREPRISES

La performance et l'état de santé des entreprises dépendent fortement de leur chiffre d'affaires. En effet, plus le chiffre d'affaires est élevé, plus l'entreprise est considérée comme économiquement solide. D'où la nécessité d'étudier l'évolution du chiffre d'affaires des entreprises enquêtées dans cette étude. Les entreprises intervenant dans le secteur des produits agricoles identifiées dans le cadre de cette recherche (Fruits frais et légumes) ont connu une amélioration sensible de leur chiffre d'affaires au cours des trois dernières années comme en témoigne le tableau ci-après. En effet, d'un niveau de chiffre d'affaires annuel de 750,5 millions FCFA en 2019, les entreprises ont enregistré un chiffre d'affaires équivalent à 1 000 250 000 FCFA en 2020 et à 1 500 500 000 FCFA en 2021. Il s'agit là d'une performance remarquable avec des taux de croissance du chiffre d'affaires de 33,3% en 2020 et de 50% en 2021, dans un contexte marqué par la survenue de la crise provoquée par la pandémie COVID-19. Il faut noter que les valeurs maximales du chiffre d'affaires atteignent 2 milliards FCFA et 3 milliards FCFA en 2020 et 2021 respectivement. En effet, les chiffres d'affaires des entreprises enquêtées sont très variables d'une entreprise à une autre avec un minimum de 1 million de FCFA et un maximum de 3 milliards de FCFA en 2021.

Tableau 4. Evolution du chiffre d'affaires des entreprises enquêtées

Année	Chiffre d'affaires Max	Chiffre d'affaires Min	Moyenne	Evolution
2019	1 500 000 000	1 000 000	750 500 000	
2020	2 000 000 000	500 000	1 000 250 000	33,3%
2021	3 000 000 000	1 000 000	1 500 500 000	50,0%

Source: Auteurs à partir des données de l'enquête

4.4 PRINCIPAUX PRODUITS COMMERCIALISES PAR LES ENTREPRISES ENQUETEEES

Les produits commercialisés par les entreprises enquêtées sont divers et représentent des parts de marché différentes. Ce qui va déterminer leur avantage comparatif vis-à-vis de leurs concurrents, les opportunités à exploiter et l'évolution de leur chiffre d'affaires. Dans le cadre de cette recherche, plusieurs produits entrent dans les activités et contribuent à cette performance du chiffre d'affaires des entreprises. Le graphique ci-dessous montre que les principaux produits qui contribuent à accroître le chiffre d'affaires de ces entreprises sont essentiellement les mangues (52%), les haricots (32%) et les melons (28%). D'autres produits contribuent dans une moindre mesure à l'accroissement du chiffre d'affaires des entreprises de l'échantillon. Il s'agit, notamment, de l'aubergine amer (16%), du Gombo (12%), des tomates (8%) et la pastèque (8%). Les céréales, notamment, le maïs et le blé sont toutefois faiblement commercialisés.

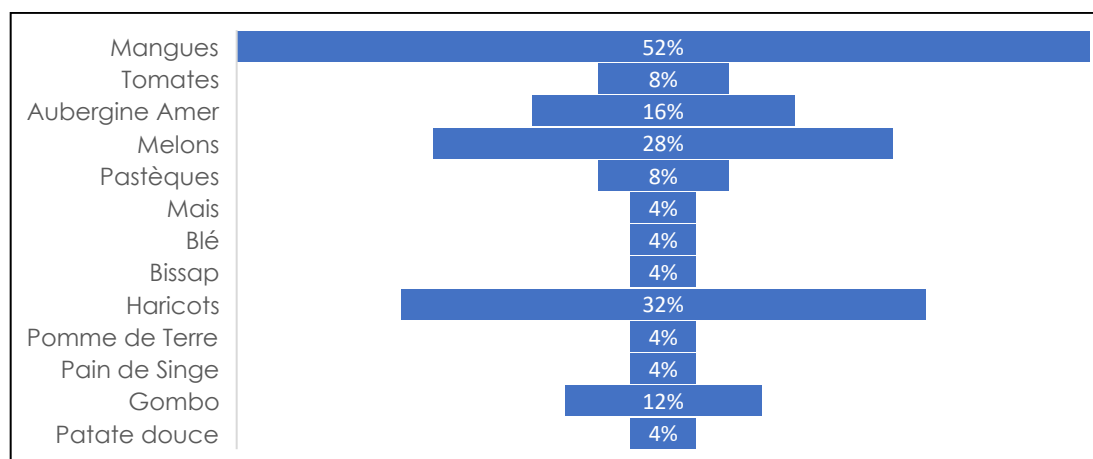


Fig. 5. Composition des produits commercialisés par les entreprises enquêtées

Source: Auteurs à partir des données de l'enquête

Ces produits agricoles mentionnés ci-haut sont destinés à divers marchés mais ils visent principalement les marchés internationaux. En effet, pour 22 entreprises considérées dans cette enquête, les principaux marchés de destination de ces produits sont constitués des marchés internationaux (88%) contre seulement trois (03) entreprises dont les produits sont en direction des marchés nationaux (12%). Le graphique ci-dessous présente ainsi les principaux marchés de destination des produits agricoles (fruits frais et légumes) produits et/ou commercialisés. Il apparaît que la France, l'Espagne et les Pays bas sont les trois principaux pays de destination des exportations des entreprises retenues dans cette étude.

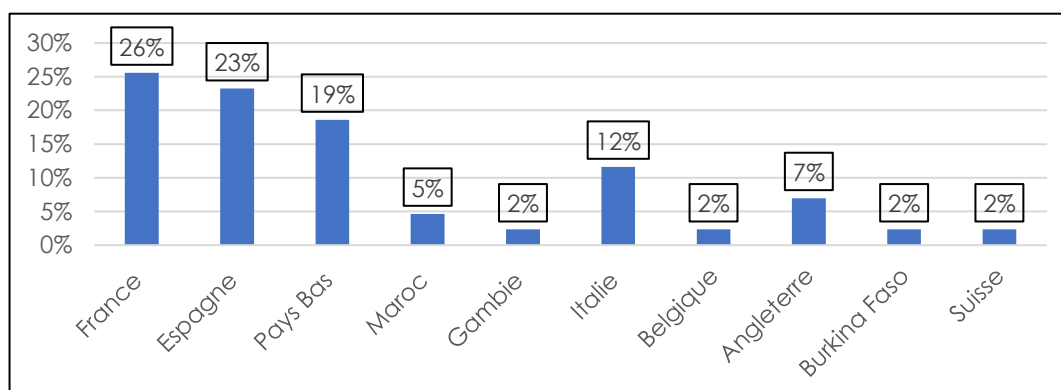


Fig. 6. Principaux marchés d'exportation des fruits frais et légumes et céréales

Source: Auteurs à partir des données de l'enquête

4.5 PERCEPTION DES ENTREPRISES SUR LES EFFETS DES MNT SUR LES EXPORTATIONS DE FFL

Le développement des échanges commerciaux passe fortement par l'élimination ou la réduction des contraintes tarifaires et non tarifaires. Dans le contexte de l'UEMOA, les mesures non tarifaires persistent et constituent un frein pour le développement socio-économique. Tout comme elles affectent les échanges commerciaux en général, les mesures non tarifaires affectent également les exportations des FFL en provenance du Sénégal. En effet, d'après les données de l'enquête, la totalité des entreprises déclarent être confrontée aux restrictions non tarifaires qui affectent le volume commercialisé.

Le graphique ci-après décrit la proportion dans laquelle les mesures non tarifaires affectent les FFL du Sénégal. Il ressort de l'analyse du graphique qu'en moyenne la totalité des entreprises exportatrices des FFL subissent les contraintes liées aux mesures non tarifaires spécifiques à savoir les mesures sanitaires et phytosanitaires. De plus, 96% et 88% reconnaissent les règles d'origine et les obstacles techniques au commerce comme étant les mesures non tarifaires rencontrées lors de

l'exportation des FFL. En dehors de ces trois (03) principales mesures soulevées par la majorité des entreprises, il faut noter les mesures relatives à l'inspection avant expédition, les régimes de licences non automatiques, etc. pour lesquelles 63% et 60% des enquêtées respectivement considèrent comme entravant les exportations des FFL.

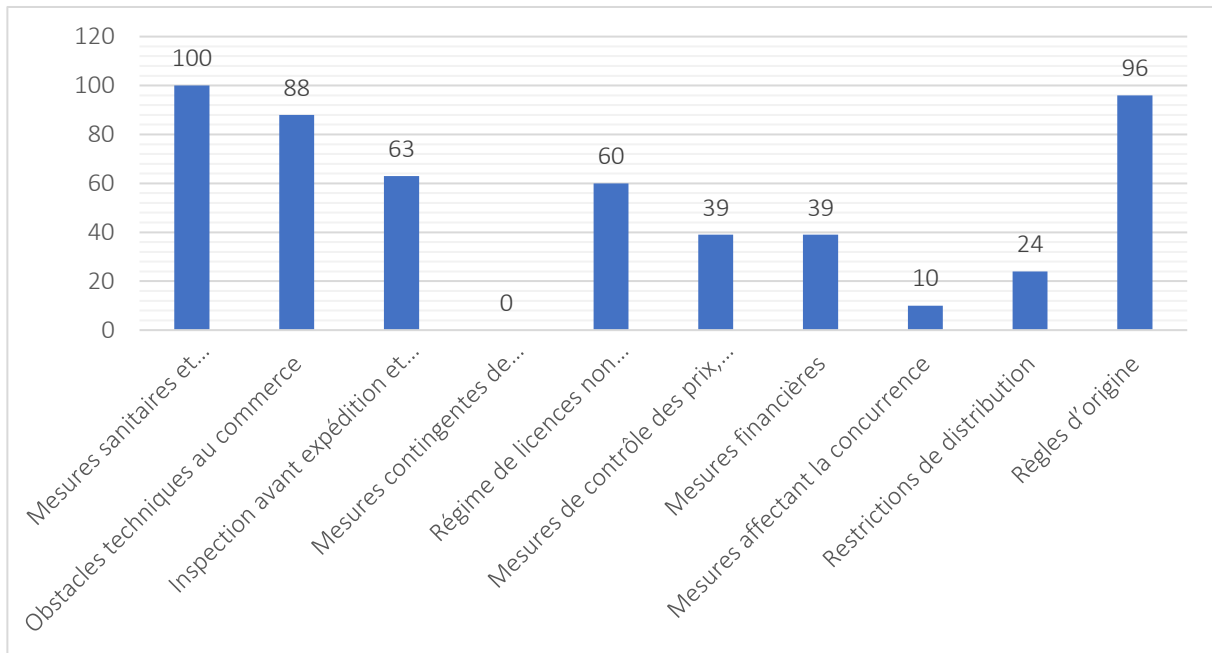


Fig. 7. Mesures non tarifaires affectant les exportations des FFL du Sénégal

Source: Auteurs à partir des données de l'enquête

4.6 MNT APPLIQUEES À L'EXPORT POUR LES ENTREPRISES SENEGALAISES, DANS LE PAYS DESTINATAIRE

Le graphique suivant présente les entreprises (selon le statut juridique) soumises aux MNT, dans le pays destinataire. Les résultats montrent, pour chaque mesure:

- *L'inspection avant expédition et autres formalités:* Le résultat de l'interaction montre que 83,3% des Entreprises individuelles, 80,0% des GIE et 91,7% des SARL enquêtés sont soumis à l'inspection des produits FFL avant leur expédition. Pour la SA et la SC qui complètent l'échantillon sont à 100% contrôlées avant leur expédition. Ceci montre que plus l'entreprise est formalisée plus elle est soumise à la vérification avant les expéditions de sa production aux principales régions destinataires.
- *Les mesures sanitaires et phytosanitaires, les obstacles techniques au commerce et les règles d'origine:* Quel que soit le statut juridique, les entreprises enquêtées sont toutes soumises à ces mesures non tarifaires appliquées aux régions de destination. Contrairement aux mesures d'inspection avant expédition, les entreprises exportatrices de FFL dans le cadre de cette recherche respectent les mesures sanitaires et phytosanitaires et autres obstacles techniques au commerce, ainsi que les règles d'origine. Ceci montre l'exigence particulière à laquelle les pays destinataires portent sur ces mesures non tarifaires.
- *Le Régime de licences non automatiques:* les résultats révèlent que 66,7 % des entreprises individuelles, 80 % des GIE, 58,3 % des SARL et 100 % des SA sont soumis à ces mesures non tarifaires. Au total, 64 % des entreprises enquêtées sont tenues au respect de ces mesures avec les coûts inhérents. Les mesures de contrôle visent également à limiter la quantité de biens pouvant être importés, qu'ils proviennent d'un seul fournisseur ou de plusieurs fournisseurs. Ces mesures peuvent prendre la forme de l'octroi de licences non automatiques, de fixation de contingents ou d'interdictions.
- *Les mesures de contrôle des prix, dont les taxes et impositions additionnelles:* Les résultats montrent que 76 % des entreprises enquêtées sont impactées par ces mesures non tarifaires. Il s'agit également de 83,3 % des entreprises individuelles, 80 % des GIE, 67,7 % des SARL et 100 % des SA.

- *Les mesures financières*: les résultats montrent que 72 % des entreprises enquêtées en sont impactées; soit 50 % des entreprises individuelles, 60 % des GIE, 83,3 % des SARL et 100 % des SA enquêtées.

Tableau 5. MNT appliquées à l'export dans le pays destinataires

	Entreprise individuelle	Groupement d'intérêt économique (GIE)	Société à Responsabilité Limitée (SARL)	Société anonyme (SA)	Société coopérative
Nombre	6	5	12	1	1
Inspection avant expédition et autres formalités	83,3%	80%	91,7%	100%	100%
Mesures sanitaires et phytosanitaires généralement	100%	100%	100,0%	100%	100%
Obstacles techniques au commerce	100%	100%	100,0%	100%	100%
Régime de licences non automatiques, contingents, prohibitions, mesures de contrôle quantitatif et autres restrictions	66,7%	80%	58,3%	100%	0%
Mesures de contrôle des prix, dont taxes et impositions additionnelles	83,3%	80%	66,7%	100%	100%
Mesures financières	50%	60%	83,3%	100%	100%
Règles d'origine	100%	100%	100,0%	100%	100%

Source: Auteurs à partir des données de l'enquête

4.7 MNT APPLIQUEES À L'EXPORT POUR LES ENTREPRISES SENEGALAISES, DANS LE PAYS D'ORIGINE

Les entreprises exportatrices de FFL sont soumises, selon le statut juridique à des mesures non tarifaires, au pays d'origine (Sénégal). Le tableau suivant présente les résultats de l'enquête sur les MNT appliquées au pays d'origine:

- *Obstacles techniques au commerce*: Les résultats révèlent que 66,7 % des entreprises individuelles enquêtées, 80,0 % des Groupements d'Intérêt économique (GIE) et 33,3 % des Société à Responsabilité Limité (SARL) rencontrent des obstacles techniques. Globalement l'étude montre que 52 % des entreprises sont confrontées à des obstacles techniques au niveau du pays d'origine, notamment le Sénégal qui les applique ces mesures non tarifaires.
- *Inspection avant expédition*: Les Sociétés Anonymes et les Sociétés Coopératives enquêtées ne sont pas confrontées à des difficultés liées ces formalités au niveau interne. Cependant, 50% des Entreprises Individuelles, 40% des Groupement d'intérêt économique et 58,3% des Société à Responsabilité Limitée sont exposées à ces mesures non tarifaires visant à un contrôle obligatoire de la qualité et de la quantité et du prix des marchandises avant expédition du pays exportateur, effectué par un organisme de contrôle indépendant, mandaté par les autorités du pays importateur.
- *Interdiction d'exportation*: Il en résulte que 50% des EI, 40% des GIE et 33,3 % des SARL sont frappées d'interdiction d'exporter par fautes de respect à certaines normes non tarifaires. Les interdictions peuvent être des restrictions à la quantité de biens exportés vers un pays ou des pays donnés par le gouvernement du pays exportateur pour des raisons telles que: pénurie de biens sur le marché national, réglementation des prix intérieurs, contournement des mesures antidumping ou raisons d'ordre politique.
- *Contingents limitant la valeur ou le volume des exportations*: les résultats montrent que 66,7 % des EI, 40 % des GIE et 50 % des SARL sont impactés par ces mesures contingentes. Globalement 52 % des entreprises enquêtées sont confrontées aux contingents limitants la valeur ou le volume des exportations.
- *Prescriptions relatives aux licences et permis d'exportations*: Il s'agit d'une obligation d'obtenir du gouvernement du pays exportateur, en l'occurrence le Sénégal, une licence ou un permis d'exportation. Le tableau ci-dessous présente les résultats relatifs aux licences et permis d'exportations exigés aux entreprises commerciales au niveau national. Pour les entreprises enquêtées, 50 % des EI, 80 % des GIE et 91,7 % des SARL sont confrontées à cette mesure dans le cadre de l'exportation des FFL.

- *Prescriptions relatives aux formalités de déclaration des exportations*: les résultats montrent que 50 % des EI, 60 % des GIE et 75 % des SARL des entreprises enquêtées sont confrontées à ces formalités de déclarations d'exportations au niveau national. Pour les deux autres entreprises enquêtées, la SA rencontre les mêmes difficultés de déclarations tandis que la SC ne rencontre pas ces contraintes de déclarations concernant leurs expéditions.

Tableau 6. MNT appliquées à l'export dans le pays destinataires

	Entreprise individuelle	Groupement d'intérêt économique (GIE)	Société à Responsabilité Limitée (SARL)	Société anonyme (SA)	Société coopérative
Nombre	6	5	12	1	1
Obstacles techniques au commerce	66,7%	80,0%	33,3%	100,0%	0,0%
Inspection avant expédition	50,0%	40,0%	58,3%	100,0%	0,0%
Interdiction d'exportation	50,0%	40,0%	33,3%	0,0%	0,0%
Contingents limitant la valeur ou le volume des exportations	66,7%	40,0%	50,0%	100,0%	0,0%
Prescriptions relatives aux licences et permis d'exportations	50,0%	80,0%	91,7%	100,0%	0,0%
Prescriptions relatives aux formalités de déclaration des exportations	50,0%	60,0%	75,0%	100,0%	0,0%

Source: Auteurs à partir des données de l'enquête

5 CONCLUSION

Cette recherche avait pour objectif d'analyser la perception des entreprises sénégalaises d'exportation des FFL sur l'application des mesures non tarifaires au niveau local et dans le pays destinataire. A l'aide d'une enquête sur un échantillon de 25 entreprises, la recherche a permis d'obtenir plusieurs résultats intéressants pour une meilleure compréhension des forces et faiblesses pour un accès plus important au marché régional et international des produits concernés. Il apparaît ainsi que la forme juridique des entreprises enquêtées est dominée par les SARL et les entreprises individuelles. L'étude montre également que les principaux produits exportés sont les mangues, les haricots, les melons, qui contribuent de manière significative à l'augmentation des chiffres d'affaires des entreprises.

Par ailleurs, en partant de la classification de la Conférence des Nations-Unies pour le commerce et le développement (CNUCED), en ce qui concerne les mesures non tarifaires, il apparaît que l'essentiel de ces mesures affectent le commerce extérieur des FFL. Il s'agit principalement, par ordre d'importance: des mesures sanitaires et phytosanitaires; des règles d'origine; des obstacles techniques au commerce; des Inspections avant expédition et autres formalités. Les autres mesures affectent également dans une moindre mesure les exportations à savoir: les mesures de contrôle des prix, dont taxes et impositions additionnelles; les mesures financières; les restrictions de distribution...

Ainsi, Pour une meilleure efficacité de l'accès des entreprises sénégalaises engagées dans le commerce extérieur de fruits frais et légumes, cette présente étude préconise de mettre l'accent sur les principaux points suivants:

- *Améliorer la diversification des produits commercialisés pour mieux faire face à la concurrence*: il s'agit de mieux mettre l'accent sur les produits à forte valeur ajoutée où les entreprises ont un avantage comparatif et des parts de marché de plus en plus importantes;
- *Améliorer l'accès aux textes juridiques et réglementaires relatifs au commerce extérieur aux exportateurs sénégalais*: il s'agit de mettre en place une stratégie d'information auprès des différents acteurs sur la réglementation du commerce extérieur des biens et services et la connaissance des marchés;
- *Renforcer la capacité des acteurs sur les techniques du commerce international, les circuits des marchés d'exportations et la connaissance des différentes mesures tarifaires et non tarifaires en confectionnant notamment des guides pratiques ciblés sur ces questions au profit des acteurs*;
- *Aider les entreprises à s'organiser en consortium pour être plus résilientes face aux chocs et plus compétitives sur le marché des biens et services*: La mise en œuvre de cette recommandation passe nécessairement par la sensibilisation auprès des

micro entreprises sur les avantages liés au consortium pour avoir des financements et une efficacité sur toute la chaîne de valeur agricole (de la production à la commercialisation en passant par la transformation et le transport);

- *Améliorer les infrastructures et logistiques liées au commerce extérieur pour réduire les coûts de transactions sur le commerce*: il s'agira de développer les réseaux routiers et ferroviaires car leur qualité et le coût du transport ont un impact négatif sur le commerce souvent même supérieur aux mesures tarifaires et non tarifaires; le rapport volume-valeur des fruits frais et légumes et céréales est en effet faible comparativement aux produits à forte intensité technologique;
- *S'appuyer sur les accords commerciaux notamment la Zone de libre Echange continentale Africaine (ZLECAF) pour améliorer les exportations de fruits frais et légumes et maîtriser les importations de céréales*: la ZLECAF offre des opportunités importantes pour les entreprises par notamment l'élargissement des marchés et la mise à l'échelle de la production qui devrait se traduire par la création d'emplois.

REFERENCES

- [1] Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (ANSD) (2020), « Note d'analyse du Commerce Extérieur », NASE, Edition 2020.
- [2] Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (2019), « Situation Economique et Sociale du Sénégal », Rapport ANSD, SES 2019.
- [3] Agence Sénégalaise de promotion des exportations (2015), Stratégie de développement des exportations (2016-2020), ministère du commerce, du secteur informel, de la promotion des produits locaux et des PME.
- [4] Direction de la Prévision et des Etudes économiques (2022), « Situation économique et financière en 2021 et perspectives 2022 ». DPEE, mars 2022.
- [5] FMI (2022), Perspectives de l'économie mondiale, mise à jour, Fonds Monétaire International.
- [6] Fresh Plaza (2015), Horticulture: the future of Senegalese agriculture. Fresh Plaza, 23 février.
- [7] Henson, S., & Jaffee, S. (2006). Food Safety Standards and Trade: Enhancing Competitiveness and Consumer Protection. FAO/WHO.
- [8] ITC (2016), Faciliter le commerce dans la CEDEAO, enseignements de l'enquête de l'ITC sur les mesures non tarifaires; document de travail pour la table ronde régionale de haut niveau sur les MNT à Abidjan, 14-15 juin 2016.
- [9] OMC ITC CNUCED (2021), Mesures non tarifaires: Estimation des indicateurs analytiques par le Système d'analyse et d'information commerciales de la CNUCED (TRAINS) Profils tarifaires dans le monde 2021.
- [10] OMC (2012), Rapport sur le commerce mondial, Inventaire des mesures non tarifaires et des mesures relatives aux services.
- [11] «World Bank Group. 2014. Situation économique du Sénégal: apprendre du passé pour un avenir meilleur. Senegal economic update; no. 1. Washington, DC. © World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/21504> License: CC BY 3.0 IGO.».
- [12] Centre du commerce international (ITC) (2014), Sénégal: Perspectives des entreprises – Série de l'ITC sur les mesures non tarifaires, enquête 2012 Genève: ITC, xvi, 96 p. Document technique N° MAR-14-247.F.
- [13] Conférence des Nations unies sur le commerce et le développement (CNUCED) (2020), «The world by development status», Handbook of Statistics.

Effets des pratiques agroécologiques sur les propriétés chimiques du sol et les rendements du coton biologique en zone Nord-soudanienne du Burkina Faso

[Effects of agroecological practices on soil chemical properties and yields of organic cotton in the North-Sudanese zone of Burkina Faso]

Ibrahim Ouedraogo^{1,2}, Bazoumana Koulibaly¹, Nongma Zongo¹, Ouango Maurice Savadogo¹, Adama Traore¹, and Hassan Bismarck Nacro²

¹Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Département Gestion des Ressources Naturelles et Systèmes de Production, INERA-Farako-Bâ, Laboratoire Sol-Eau-Plante (SEP), 01 BP 910 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

²Université Nazi BONI, Laboratoire d'étude et de recherche sur la fertilité du sol et les systèmes de production, 01 BP: 1091 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

Copyright © 2024 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 decline in soil fertility and the rainfall deficit strongly limit the cultivation of organic cotton in Burkina Faso. Zaï, a water and soil fertility management technique, can be explored to improve soil and organic cotton productivity. The objective is to determine the effects of zaï on the evolution of the chemical properties of the soil and on the productivity of organic cotton. A trial was implemented in the North Sudanese zone of Burkina Faso in an experimental design in completely randomized Fisher blocks with three (3) treatments including L1 (plowing + 1 t/ha of compost), L5 (plowing + 5 t/ha of compost), Z1 (zaï+1 t/ha of compost). The parameters measured focused on carbon, nitrogen, phosphorus, potassium, exchangeable bases, cation exchange capacity and soil pH and seed cotton yields. The study shows that plowing combined with 5 t/ha compost and zaï combined with 1 t/ha compost significantly improve the chemical properties of the soil. Plowing combined with 5 t/ha of compost (L5) presented the highest average yield (1114±65 kg/ha). Zaï and plowing combined with 1 t/ha of compost recorded identical average yields (782±81 kg/ha and 752±23 kg/ha). Zaï combined with 1 t/ha of compost can be vulgarized in the North Sudanese zone of Burkina Faso and can be a means of adapting to increasingly difficult rainfall conditions marked by pockets of drought.

KEYWORDS: organic cotton, plouwing, zaï, yield, Burkina Faso.

RESUME: La baisse de la fertilité des sols et le déficit pluviométrique limitent fortement la culture du coton biologique au Burkina Faso. Le zaï, une technique de gestion de l'eau et de la fertilité du sol, peut être exploré pour améliorer le sol et la productivité du coton biologique. L'objectif est de déterminer les effets du zaï sur l'évolution des propriétés chimiques du sol et sur la productivité du coton biologique. Un essai a été implanté dans la zone Nord-soudanienne du Burkina Faso dans un dispositif expérimental en blocs de Fisher complètement randomisés avec trois (3) traitements dont L1 (labour+1 t/ha de compost), L5 (labour+5 t/ha de compost), Z1 (zaï+1 t/ha de compost). Les paramètres mesurés ont porté sur le carbone, l'azote, le phosphore, le potassium, les bases échangeables, la capacité d'échange cationique et le pH du sol et les rendements en coton graine. Il ressort de l'étude que le labour combiné à 5 t/ha compost et le zaï combiné à 1 t/ha compost améliorent significativement les propriétés chimiques du sol. Le labour combiné à 5 t/ha de compost (L5) a présenté le rendement moyen le plus élevé (1114±65 kg/ha). Le zaï et le labour combiné à 1 t/ha de compost ont enregistré des rendements moyens identiques (782±81 kg/ha et 752±23 kg/ha). Le zaï associée 1 t/ha de compost peut être vulgarisé dans la zone Nord-

soudanienne du Burkina Faso et peut être un moyen de d'adaptation aux conditions pluviométriques de plus en plus difficiles marquées par des poches de sécheresse.

MOTS-CLEFS: coton biologique, labour, rendement, zaï, Burkina Faso.

1 INTRODUCTION

La production de coton conventionnel est la principale culture de rente et contribuait à 47% des recettes totales d'exportations en 2020 au Burkina Faso [1]. Sa production est pratiquée par plus de 350 000 producteurs et représente en moyenne 65% des revenus monétaires des ménages du Burkina Faso [2]. Elle est basée sur un système de production exigeant l'utilisation des pesticides et des engrais chimiques qui est susceptible d'induire des effets négatifs sur la santé humaine et l'environnement [3]. Au regard de ses effets néfastes, la production biologique apparaît comme une alternative à la réduction de l'utilisation des pesticides chimiques pour une production agricole soucieuse de la protection de l'environnement et de la santé humaine et animale. En effet, la culture du coton biologique est basée sur l'utilisation de la fumure organique et les cultures intercalaires ou de rotation avec des légumineuses fixatrices d'azote [3]. La protection phytosanitaire est basée sur l'utilisation des pesticides biologiques tels que les extraits de plantes [3]. Au Burkina Faso, depuis les années 2004 la production du coton biologique a connu une forte adhésion des producteurs, passant de 72 producteurs en 2004 à 8382 producteurs en 2015 [4]. Cependant, la culture du coton biologique, comme toutes les autres cultures au Burkina Faso est confrontée à la baisse de la fertilité des sols, à la pression anthropique sur les terres cultivables et à un déficit pluviométrique de plus en plus marqué par le changement climatique [5]. Majoritairement produite par les femmes sur des sols relativement moins fertiles, la culture du coton biologique arrive très peu à pouvoir mobiliser la dose de 5 t/ha de fumure organique recommandée par an, et ne se contentant que d'environ 1 t/ha [6]. En plus, l'irrégularité des pluies en début de saison retarde la réalisation du labour et des semis, entraînant ainsi des pertes importantes de rendement du coton due à la pression des nuisibles [7].

Au regard de ce qui précède, le maintien de la fertilité des sols et des semis précoces s'imposent dans la culture du coton biologique au Burkina Faso. Cette étude qui opte pour des solutions agroécologiques s'est focalisée sur la gestion efficiente de la fumure organique et de l'eau à l'échelle de la parcelle. La technique du « zaï », pratique endogène développée dans le Nord du Burkina Faso, pourrait être une solution efficiente. En effet, le zaï consiste à faire très tôt des trous dans lesquels sont déposés du fumier ou du compost et les semis sont réalisés après les premières pluies [8]. Des études antérieures ont montré l'efficacité du zaï à concentrer les faibles quantités d'eau de pluie en eau disponible après les premières pluies permettant de réaliser les semis précoces [9]. Elles ont aussi montré l'efficacité du zaï à améliorer les propriétés bio-physico-chimiques du sol, et à accroître la productivité agricole [10], [11], [8]. Cependant, peu d'études ont examiné les effets du zaï sur la fertilité des sols sous culture du coton biologique.

La présente étude s'inscrit dans une perspective de recherche afin de contribuer à l'intensification de la production du coton biologique par la technique du zaï au Burkina Faso. A cet effet, nous formulons l'hypothèse que le zaï améliore les propriétés chimiques du sol et les rendements en coton graine comparativement au labour. L'étude s'est fixée comme objectif de déterminer les effets de la pratique du zaï sur l'évolution des propriétés chimiques du sol et sur les rendements du coton biologique.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATERIEL

2.1.1 DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

La présente étude a été conduite en milieu paysan en 2021 et 2022, sur un Lixisol dans le village de Tanvousse (12°20'26" de la latitude Nord et 1°12'35" de la longitude Ouest) situé dans la commune rurale de Nagréongo, région du Plateau Central au Burkina Faso. La pluviométrie moyenne annuelle de cette zone varie entre 800 et 900 mm. Les pluviométries sont soumises à une grande variabilité spatio-temporelle [12], avec une fréquence élevée des épisodes sèches. Les années 2021 et 2022 ont été excédentaires avec des cumuls pluviométriques respectives de 927 mm en 52 jours et de 874 mm en 49 jours.

2.1.2 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal utilisé au cours de cette étude a été la variété de cotonnier FK64. Cette variété a un cycle semis-maturité de 150 jours avec un rendement potentiel en coton graine de 2 600 kg/ha [13]. Elle est adaptée aux zones sèches du Burkina Faso [13].

2.1.3 FUMURE ORGANIQUE

Le compost utilisé est issu d'un procédé de compostage en tas en utilisant des tiges de cotonnier comme matière à composter et du fumier comme activateur. Les teneurs en matière organique (MO), N-total et P-total sont élevées par rapport à la norme FAO (Tableau 1). Pour les traitements sous labour (L1, L5), le compost a été enfoui au moment de l'hersage. Quant aux traitements sous pratique de zaï (Z1), le compost a été apporté au poquet avant le semis.

Tableau 1. Composition chimique du compost utilisé dans l'expérimentation

Paramètres chimiques du compost utilisé	pH_eau	C-total (%)	MO (%)	N-total (%)	C/N	P-total (mg/kg)	K-total (mg/kg)
Valeurs	6,96	23	39	1,22	19	3362	10831
Norme FAO	-	-	10-30	0,4-0,5	15-20	-	4000-2300

MO: matière organique; C-total: carbone total; N-total: azote total; P-total: phosphore total; K-total: potassium total.

2.2 METHODES

2.2.1 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Le dispositif expérimental est un bloc de Fisher randomisé comportant trois (03) traitements répétés quatre (04) fois. Il a été mis en place en 2021. Chaque parcelle élémentaire mesurait 10 m de longueur sur 5 m de largeur soit une superficie de 50 m². Elle comportait sept (07) lignes avec vingt-cinq (25) poquets de semis par ligne. Les parcelles élémentaires étaient séparées de 2 m et les blocs d'une allée de 2 m. Le zaï a été comparé au labour conventionnel qui est la pratique des producteurs de la zone. La dose de 5 t/ha de compost représente la dose de compost vulgarisée en production de coton biologique. Quant à la dose de 1 t/ha de compost, elle correspond à la dose moyenne de fumure organique appliquée par les producteurs de coton biologique au Burkina Faso. Les traitements étudiés sont dans le tableau 2.

Tableau 2. Traitements appliqués

Traitement	Nature du traitement	Travail du sol	Dose de compost (t/ha)
L1	Labour combiné à la dose de fumure organique en pratique paysanne dans la culture du coton biologique	Labour	1
L5	Labour combiné à la dose de fumure organique vulgarisée dans la culture du coton biologique	Labour	5
Z1	Zaï combiné à la dose de fumure organique en pratique paysanne dans la culture du coton biologique	Zaï	1

2.2.2 CONDUITE DE L'ÉTUDE

Pour cette étude, des trous de zaï de 15 cm de diamètre sur 10-15 cm de profondeur ont été utilisés afin de réduire les problèmes d'engorgement en eau des trous de zaï. Les trouaisons ont été faites à la main à l'aide une pioche selon un rayonnage croisé avant l'installation effective des pluies. Les écartements entre les trous de zaï ont été de 80 cm entre les lignes et 40 cm sur les lignes. La densité des trous a été de 31250 trous/ha. La technique a consisté à ouvrir des trous et à déposer la terre de déblai en aval des trous suivant le sens de la pente du terrain. Le labour à plat a été réalisé à la traction animale après l'installation des pluies. La profondeur de labour était de 20 cm.

Le compost a été apporté aux poquets dans le traitement avec zaï (Z1) et par épandage uniforme suivi d'enfouissement par hersage dans les traitements sous labour (L1; L5). Ces traitements sont concernés par la présente étude.

Un démariage à deux plantes/poquet a été réalisé au 14^{ème} jour après levée (JAL) pour ramener la densité théorique à 62 500 plantes/ha. La gestion des mauvaises herbes a été effectuée par des sarclages à la demande, suivi de buttage dans les parcelles sous labour. Durant les deux années d'expérimentations, la protection phytosanitaire a été assurée par l'insecticide biologique E-CODAOLEO K du 30^{ème} au 70^{ème} JAL à la dose de 2 l/ha tandis que le H-N a été appliqué du 80^{ème} au 110^{ème} JAL à 5 l/ha pour 200 l/ha de bouillie.

2.2.3 PRELEVEMENT ET ANALYSES CHIMIQUES DES ÉCHANTILLONS DE SOLS

Avant la mise en place de l'essai, des échantillons représentatifs de sol ont été constitués pour établir la situation de référence. Après les deux campagnes d'expérimentation, c'est-à-dire après les récoltes de 2022, un autre prélèvement de sols a été effectué pour évaluer les effets des traitements sur les variations des paramètres chimiques (pH, carbone total, azote total, phosphore, potassium, bases échangeables, capacité d'échange cationique) par rapport au sol de départ. Dans chaque parcelle élémentaire (PE), un échantillon composite a été constitué à partir de cinq (05) prélèvements à la tarière sur les diagonales dans la profondeur 0-20 cm des parcelles des traitements sous labour et dans les poquets des parcelles sous zaï.

Les analyses chimiques et granulométriques des échantillons ont été réalisées au Laboratoire Sol-Eau-Plante (SEP) de l'Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) de Farako-Bâ. Les échantillons collectés ont été préalablement séchés à l'ombre puis tamisés à 2 mm avant d'être analysés selon les méthodes standards. La granulométrie 3 fractions du sol a été déterminée par la méthode densimétrique élaborée par [14]. La détermination du carbone total a été faite selon la méthode de [15]. L'azote total a été dosé par la méthode Kjeldahl [16]. Après cette minéralisation, l'azote total a été dosé directement à l'auto-analyseur. De même, après la minéralisation, le phosphore total et le potassium total ont été dosés respectivement à l'auto-analyseur et au photomètre à flamme [14]. Le phosphore assimilable a été déterminé par la méthode Bray I [17] en utilisant une solution mixte de fluorure d'ammonium (0,03M) et d'acide chlorhydrique (0,025M). Le dosage a été effectué par colorimétrie au spectrophotomètre. Le potassium disponible a été dosé selon la méthode décrite par [18] en utilisant une solution d'acide chlorhydrique (0,1N) et d'acide oxalique (0,4N). Le pHeau a été mesuré par électrométrie en utilisant un pH-mètre à électrode en verre dans une solution sol / eau (1: 2,5 m / v) selon la norme NF ISO 10390 [19]. La Capacité d'Echange Cationique (CEC) et les bases échangeables (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) ont été déterminées par la méthode extraction à l'acétate d'ammonium (NH_4Oac) 1N et à pH 7 [20].

2.2.4 DETERMINATION DE LA NUTRITION MINERALE DES COTONNIERS

Un prélèvement foliaire a été effectué sur les cotonniers au 70^{ème} jour après semis (JAS) pour un diagnostic foliaire selon la méthode du diagnostic foliaire (DF, IRCT) décrit par [21]. Les feuilles prélevées ont été celles situées à l'aisselle d'une fleur ouverte le même jour, appelée fleur du jour de couleur blanche et situées au niveau des premiers nœuds des branches fructifères. Sur chaque parcelle élémentaire, trente (30) feuilles ont été prélevées. Les échantillons prélevés ont été séchés à l'air libre et soumis aux analyses après broyage. Les limbes et les pétioles ont constitué deux sous-échantillons. Les teneurs en anions N et P ont été déterminées sur les limbes et les teneurs en cations K ont été déterminées sur les pétioles [21]. La nutrition en N et en K est bonne si les teneurs en N et K sont comprises entre 3-5%. La nutrition en P est bonne si les teneurs en P sont supérieures ou égales à 0,3% [21].

2.2.5 DETERMINATION DU RENDEMENT EN COTON GRAINE

Le rendement en coton graine a été déterminé à partir du poids de coton graine récolté dans les trois (3) lignes centrales de chaque parcelle élémentaire (PE); qui sont de 10 m longueur sur 5 m de largeur. Le rendement coton graine a été calculé par la méthode utilisée par [22]. La formule ci-après a été utilisée:

$$RCG \left(\frac{kg}{ha} \right) = y(kg) \times \frac{10000 (m^2)}{L (m) \times D (m)}$$

RCG: rendement coton graine à l'hectare;

y (kg): poids de coton graine récolté sur les trois (3) lignes centrales;

L (m): longueur de la ligne centrale égale à 10;

D (m): distance entre les lignes de chaque PE égale à 0,8.

2.2.6 DETERMINATION DES VARIATIONS DES PARAMETRES CHIMIQUES DU SOL

La variation des teneurs des paramètres chimiques du sol entre les teneurs avant la mise en place de l'essai et celles en année 2 a été calculée selon la méthode de [23].

$$\Delta X (\%) = 100 \times \left(\frac{X_2 - X_1}{X_1} \right)$$

ΔX correspondant à la variation du paramètre au cours de la campagne agricole;

X_1 correspondant à la valeur du paramètre considéré avant la mise en place de l'essai;

X_2 correspondant à la valeur du paramètre considéré en deuxième année de mise en culture.

Selon la formule, les variations négatives indiquent des pertes des teneurs en éléments minéraux du sol, et les variations positives traduisent une amélioration des teneurs en éléments minéraux du sol.

2.2.7 ANALYSES STATISTIQUES DES DONNÉES

Les analyses statistiques des données collectées ont été effectuées avec le logiciel R version 3.6.2. Un test d'analyse de variance (ANOVA) a permis de déterminer les effets des traitements sur les propriétés chimiques du sol et le rendement en coton graine. La séparation des moyennes statistiquement significatives a été effectuée par le test de Student Newman et Keuls au seuil de 5 % de probabilité.

3 RESULTATS

3.1 CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DU SOL AVANT LA MISE EN CULTURE

Les résultats des analyses granulométriques à trois fractions du sol avant la mise en place de l'essai (Tableau 3) ont montré que le sol a une texture sableux - limono-argileux. Sur le plan chimique, le sol du site avant la mise en place de l'essai a présenté un pH légèrement acide (6,08) et pauvre en matière organique (MO = 1%) et en éléments minéraux totaux et assimilables.

3.2 EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LES PROPRIETES CHIMIQUES DU SOL

Le tableau 4 présente les variations du pH_{Heau}, des teneurs en C-total, N-total, P-total, K-total, P-assimilable et en K-disponible du sol. L'analyse de variance a montré que les traitements ont différemment affecté les variations des teneurs en N-total, P-total, K-total et K-disponible du sol. Cependant, l'analyse de variance a montré que les traitements n'ont pas différemment affecté les variations du pH_{Heau}, des teneurs en C-total, P-assimilable, les concentrations en bases échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) et en CEC du sol.

Pour le N-total du sol, la plus forte hausse (13±5,2%) a été enregistrée dans le traitement zaï combiné 1 t/ha. Cette hausse a été significativement supérieure aux variations obtenues dans les traitements labour combinés à 1 et 5 t/ha de compost (L1 et L5), qui ont été statistiquement identiques. Les traitements labour combinés à 1 et 5 t/ha de compost (L1 et L5) ont enregistré respectivement une augmentation de 6±4,6% et une baisse de 12±7,5%. Pour le P-total du sol, des variations à la hausse ont été observées dans les traitements. Le traitement labour combiné à 5 t/ha de compost (L5) a enregistré la variation significativement la plus élevée (157±7%). Cette variation a été suivi par celle du zaï combiné à 1 t/ha de compost (Z1), avec une augmentation de 140±15%. La plus faible variation a été obtenue avec le labour combiné à 1 t/ha compost (L1), avec une variation de 112±4%. Concernant le K-total, une hausse a été observée dans tous les traitements. Les traitements labour combinés à 5 t/ha et zaï combiné à 1 t/ha de compost ont enregistré des variations statiquement similaires avec respectivement des augmentations de (108±4,6%) et (116±1,7%). La plus faible variation a été obtenue avec le labour combiné à 1 t/ha compost (L1), avec une variation de 75±2,2%. Pour le K-disponible du sol, le traitement labour combiné à 5 t/ha de compost (L5) a enregistré la variation significativement la plus élevée (306±14,3%). Cette variation a été suivi par celle zaï combiné à 1 t/ha de compost (Z1), avec une augmentation de 232±1,4%. La plus faible variation a été obtenue avec le labour combiné à 1 t/ha compost (L1), avec une variation de 189 ±0,9%.

Tableau 3. Paramètres chimiques du sol avant la mise en culture

Paramètres	Valeur moyenne sur la profondeur 0-20 cm
<i>Granulométrie 3 fractions</i>	
Argile (%)	33
Limons totaux (%)	31
Sables totaux (%)	36
Texture du sol	Sableux-limono-argileux
<i>Statut organique</i>	
Matière Organique (%)	1
C-total (g/kg)	0,603
N-total (g/kg)	0,550
C/N	10,9
<i>Statut minéral</i>	
P-total (mg/kg)	59
P-assimilable (mg/kg)	1,5
K-total (mg/kg)	617
K-disponible (mg/kg)	35
Ca ²⁺ (cmol/kg)	8,6
Mg ²⁺ (cmol/kg)	5,4
Na ⁺ (cmol/kg)	0,2
K ⁺ (cmol/kg)	0,1
CEC (cmol/kg)	19,3
<i>Acidité</i>	
pHeau	6,1
pHKCl	5,18

C-total: carbone total, N-total: azote total, P-total: phosphore total, K-total: Potassium total, P-assimilable: phosphore assimilable, K-disponible: potassium disponible, Ca²⁺: calcium échangeable, Mg²⁺: magnésium échangeable, Na⁺: sodium échangeable, K⁺: potassium échangeable, CEC: capacité d'échange cationique.

Tableau 4. Valeur moyenne (\pm erreur standard) des variations des propriétés chimiques du sol par rapport au sol de départ

Traitement	Δ pHeau	Δ C-total	Δ N-total	Δ P-total	Δ P-assimilable	Δ K-total	Δ K-disponible	Δ Ca ²⁺	Δ Mg ²⁺	Δ Na ⁺	Δ K ⁺	Δ CEC
	(%)											
L1	7 \pm 0,4	0,1 \pm 9,9	6 ^{ab} \pm 4,6	112 ^b \pm 4	39 \pm 7,6	75 ^b \pm 2,2	189 ^c \pm 0,9	-8 \pm 4,8	-11 \pm 0,5	-38,5 \pm 5,6	1 \pm 5	-9 \pm 0,05
L5	5,4 \pm 1,1	-14 \pm 5,3	-12 ^{ab} \pm 7,5	157 ^a \pm 7	51 \pm 7,2	108 ^a \pm 4,6	306 ^a \pm 14,3	-3,8 \pm 2,87	-2,9 \pm 9,4	-27,5 \pm 3,8	22 \pm 12	-10 \pm 0,04
Z1	4,6 \pm 1,4	6 \pm 5	13 ^a \pm 5,2	140 ^{ab} \pm 15	66 \pm 6,6	116 ^a \pm 1,7	232 ^b \pm 1,4	-14,1 \pm 4	-11,8 \pm 4,7	-31,8 \pm 7	46 \pm 17	-18 \pm 0,01
Probabilité	0,288	0,199	0,0395	0,0309	0,0672	<0,001	<0,001	0,233	0,548	0,413	0,0793	0,214
Signification	ns	ns	s	s	ns	s	s	ns	ns	ns	ns	ns

L1: labour+1 t/ha de compost; L5: labour+ 5 t/ha de compost; Z1: zai+1 t/ha de compost (32 g/poquet). ns = non significatif, s =significatif. Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey.

3.3 EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LA NUTRITION MINERALE DES COTONNIERS

Le tableau 5 montre les teneurs en azote, phosphore et potassium dans les feuilles de cotonniers à 70 JAS. Les résultats indiquent que les teneurs en azote dans les feuilles des cotonniers sont comprises entre 2,65 à 2,67% et 2,51 à 2,93% respectivement en 2021 et 2022. Pour le P, les teneurs sont comprises entre 0,17 à 0,18% et 0,18 à 0,24% respectivement en 2021 et 2022. En ce qui concerne le K, les teneurs sont comprises entre 2,93 à 3,47% et 2,38 à 2,46% respectivement en 2021 et 2022.

Les teneurs en azote et en potassium inférieures à 3% et celles en phosphore inférieures à 0,3% sont celles qui montrent une déficience en nutrition azotée et phosphatée des cotonniers en 2021 et 2022. Cependant, les teneurs en potassium ont

été supérieures à 3% dans les traitements en 2021, ce qui indique que la nutrition potassique a été bonne. L'analyse de variance montre que les traitements n'ont pas différemment affecté les teneurs en azote, phosphore et potassium dans les feuilles des cotonniers en 2021 comme en 2022.

Tableau 5. Valeurs moyennes (\pm erreur standard) des teneurs en N, P et K dans les feuilles de cotonniers

Traitement	N (%)		P (%)		K (%)	
	2021	2022	2021	2022	2021	2022
L1	2,65 \pm 0,11	2,51 \pm 0,25	0,18 \pm 0,006	0,18 ^b \pm 0,011	3,47 \pm 0,26	2,44 \pm 0,71
L5	2,68 \pm 0,09	2,93 \pm 0,02	0,17 \pm 0,002	0,24 ^a \pm 0,005	3,13 \pm 0,42	2,38 \pm 0,64
Z1	2,67 \pm 0,06	2,81 \pm 0,05	0,18 \pm 0,011	0,22 ^a \pm 0,007	3,18 \pm 0,55	2,46 \pm 0,58
Probabilité	0,977	0,176	0,722	< 0,001	0,682	0,957
Signification	ns	ns	ns	s	ns	ns

L1: labour+1 t/ha de compost; L5: labour+ 5 t/ha de compost; Z1: zaï+1 t/ha de compost (32 g/poquet). ns = non significatif, s =significatif. Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey.

3.4 EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LES RENDEMENTS EN COTON GRAINE

Le tableau 6 présente les rendements en coton graine obtenus en 2021, 2022 et rendement moyen des deux années. Le traitement sous labour combiné à 5 t/ha de compost (L5) a enregistré les rendements les plus élevés en coton graine, avec 1088 \pm 12 kg/ha et 1141 \pm 135 kg/ha respectivement en 2021 et 2022. Ce traitement a enregistré également le rendement moyen en coton graine le plus élevé (1114 \pm 65 kg/ha) pendant ces deux années de culture. Par ailleurs, les rendements obtenus avec les traitements zaï combiné à 1 t/ha de compost (Z1) et labour combiné à 1 t/ha de compost (L1) ont enregistré des rendements en coton graine statistiquement identiques en 2021 et 2022. Quant aux rendements moyens, le traitement labour combiné à la dose vulgarisée de compost (L5) a permis d'obtenir un gain supplémentaire moyen de 332 kg/ha et de 362 kg/ha comparativement aux traitement L1 et Z1.

Tableau 6. Rendements en coton graine en fonction des traitements

Traitement	Rendement coton graine (kg/ha)		
	2021	2022	Moyenne
L1	691 ^b \pm 92	873 ^b \pm 86	782 ^b \pm 81
L5	1088 ^a \pm 12	1141 ^a \pm 135	1114 ^a \pm 65
Z1	735 ^b \pm 30	769 ^b \pm 15	752 ^b \pm 23
Probabilité	0,001	0,0496	0,004
Signification	S	S	S

L1: labour+1 t/ha de compost; L5: labour+ 5 t/ha de compost; Z1: zaï+1 t/ha de compost (32 g/poquet). ns = non significatif, s =significatif. Les valeurs suivies de la même lettre dans chaque colonne ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey.

4 DISCUSSION

4.1 CARACTERISTIQUES INITIALES DU SOL AVANT LA MISE EN CULTURE

La caractérisation du sol avant la mise en culture montre que le sol est pauvre en matière organique avec de faibles teneurs en éléments minéraux totaux et assimilables (azote total, potassium total, phosphore total, phosphore assimilable et potassium disponible) et légèrement acide [24]. Cette pauvreté du sol en matière organique, en azote, en phosphore et en potassium et le caractère légèrement acide du sol est liée à la pauvreté originelle qui caractérise les sols de type ferrugineux tropicaux lessivés indurés du Burkina Fasso [25]. Cette pauvreté du sol en matière organique et en éléments minéraux le rend peu propice à la culture du coton biologique et, montre la nécessité d'assurer des restitutions organiques pour améliorer sa fertilité [24].

4.2 EFFETS DES TRAITEMENTS SUR L'ÉVOLUTION DES PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DU SOL

Au terme de notre analyse, il ressort que les traitements affectent significativement les variations des teneurs en nutriments totaux (N-total, P-total et K-total) et en K-disponible du sol. Pour les variations de la teneur en azote totaux du sol, il ressort que des variations similaires ont été enregistrées dans le labour combiné à 5 t/ha de compost (L5) et zaï combiné à 1 t/ha compost. Cette forte variation dans le zaï combiné avec la faible dose (1 t/ha) de compost est liée au mode d'apport localisé du compost dans les poquets de zaï [12], [29]. Ce qui aurait favorisé une meilleure séquestration du carbone entraînant un relèvement des taux de carbone et d'azote totaux du sol [12] et une diminution des pertes de la matière organique par l'érosion hydrique. Des résultats similaires ont été trouvés aussi par [26] et [29], qui ont observé une amélioration des teneurs en carbone et en azote totaux dans la pratique du zaï associé à la fumure organique. Concernant le phosphore et le potassium totaux du sol, les variations dans les traitements labour combinés à 5 t/ha de compost (L5) et zaï combiné à 1 t/ha compost sont aussi similaires. Ces résultats s'expliqueraient par le fait que le compost constitue une source importante de nutriment [28], [29], [30]. Ainsi, Le phosphore et le potassium dans le sol proviennent du compost apporté [28], [29], [30]. L'apport localisé du compost dans le poquet du zaï aurait permis sa concentration en ces éléments dans le poquet de zaï [12], [29]. En plus, la faible mobilité du phosphore dans les sols entraînerait aussi une diminution de sa perte par lixiviation dans le poquet de zaï [31]. Pour les concentrations en bases échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) et en CEC du sol, la tendance générale montre une baisse des concentrations en bases échangeables (Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) et en CEC du sol dans les traitements. Ces baisses sont plus élevées avec la faible dose de compost (1 t/ha) sous culture de zaï et sous labour. Selon [32], les concentrations en bases échangeables et en CEC du sol sont dépendantes de la quantité de la matière organique du sol. [39] explique que les baisses des concentrations en bases échangeables et en CEC du sol sous culture sont imputables à la désaturation du complexe en bases échangeables du sol d'une part, et d'autre part, aux prélèvements des bases échangeables par les plants pour assurer leurs besoins nutritionnels et aussi aux pertes des ions nutritifs par lixiviation. La baisse de la matière organique du sol entraîne une baisse des bases échangeables et de la CEC du sol et par conséquent une diminution de la disponibilité des nutriments pour la plante.

Au terme de l'analyse, il ressort des résultats que la dose de compost en pratique paysanne (1 t/ha) appliqué en apport localisé dans la pratique du zaï (L1) améliore les propriétés du sol au titre que la dose vulgarisée (5 t/ha) de compost (L5) dans le labour.

4.3 EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LA NUTRITION MINÉRALE EN AZOTE, PHOSPHORE ET POTASSIUM DES COTONNIERS

Les teneurs en azote et potassium ont été inférieures à 3% ainsi que les teneurs en phosphore ont été inférieures à 0,3%. Cela montre que la nutrition des cotonniers en azote, phosphore et potassium dans les traitements a été dans l'ensemble déficient selon les seuils d'écrits par [21]. Ces résultats seraient liés selon [21] aux quantités d'éléments minéraux mobilisés par le cotonnier, qui ont augmenté constamment durant sa phase de croissance végétative. Bien que le traitement labour associé à 5 t/ha a induit une amélioration significative des propriétés chimiques du sol comparativement aux traitements zaï et labour combiné à 1 t/ha (Z1 et L1), les nutriments présents dans le sol ont été insuffisants pour compenser les besoins nutritionnels en azote, phosphore et potassium des cotonniers. Cela s'explique par le fait que la décomposition du compost n'a pas fourni pendant cette période critique des cotonniers, les éléments minéraux en quantité suffisante pour leurs besoins nutritionnels. C'est pour cela que dans la production du coton biologique, il est indispensable d'apporter de la fertilisation organique améliorée aux périodes indiquées pour assurer une nutrition adéquate des plantes. Ces résultats sont en accord avec les travaux de [34], qui a montré que même en ce qui concerne les exploitations riches, les apports de fumure organique sont insuffisants pour compenser les besoins nutritionnels des cotonniers en culture biologique. Les travaux de [35] sur le recyclage des résidus de récolte en compost ont montré que le compost obtenu n'affecte pas significativement la nutrition minérale des cotonniers. Bien que le labour associé à 5 t/ha et le zaï associé à 1 t/ha améliorent significativement les teneurs en nutriments du sol, ces traitements restent en dessous du traitement optimal de satisfaction des besoins nutritionnels en azote, phosphore et potassium des cotonniers dans la production du coton biologique.

4.4 EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LES RENDEMENTS MOYENS EN COTON GRAINE

Les rendements obtenus en 2021 sont inférieurs à ceux de 2022. Cela s'expliquerait par les dates de semis. En effet, le semis a été tardif en 2021 et précoce en 2022. Selon les explications de [36], la fructification dans les semis tardifs coïncide avec la deuxième génération de *H. armigera*, entraînant des pertes importantes de rendement du coton.

Nos résultats montrent que le traitement labour combiné à la dose vulgarisée (5 t/ha) de compost (L5) a permis d'obtenir un gain supplémentaire de 332 kg/ha et 362 kg/ha comparativement aux traitement labour et zaï associé à la dose en pratique

paysanne (1 t/ha) de compost (L1 et Z1). En effet, l'application de la quantité de 5 t/ha de compost a fourni les éléments nutritifs nécessaires aux plants, ce qui aurait favorisé un bon développement des cotonniers et une augmentation des rendements en coton graine dans ce traitement. Les auteurs tel que [37] et [38] expliquent que la minéralisation de la matière organique contribue à la nutrition des cultures par l'apport aussi bien en éléments majeurs (N, P et K), en bases échangeables (Ca²⁺, Mg²⁺) et en oligo-éléments (bore, cuivre, zinc, manganèse). Ces résultats sont en accords avec ceux de [39] au Paskistan sur l'effet de différents niveaux de matière organique sur le rendement du coton biologique. Ces auteurs ont montré qu'en augmentant la quantité de matière organique apportée, il y avait aussi augmentation significative de 40% à 100% du rendement en fonction du niveau d'amendement organique.

Bien que les rendements enregistrés dans les traitements labour et zaï combiné à 1 t/ha (L1 et Z1) soient statistiquement similaires, le rendement enregistré dans le traitement labour combiné à 1 t/ha (L1) est plus élevé que celui du zaï combiné à 1 t/ha (Z1). Ce résultat s'expliquerait par le fait que les pluies ont été excessives au cours des expérimentations (2021 et 2022). Cela a provoqué des inondations des poquets de zaï. Ces excès d'eau dans les poquets de zaï au moment de la floraison auraient causé la chute des fleurs et partant la baisse des rendements. [40] rapporte que le cotonnier est plus sensible au stade de floraison au cours duquel un stress hydrique provoque des désordres physiologiques aboutissant à la chute des fleurs et à la baisse de rendement. Selon [41], l'efficacité de la technique du zaï reste tributaire à la bonne répartition des précipitations dans le temps et dans l'espace au cours de la saison des pluies. En cas d'excès d'eau, les cultures semées dans les poquets de zaï souffrent d'engorgement [41].

5 CONCLUSION

L'étude a été conduite en milieu paysan en zone nord soudanienne du Burkina Faso. En vue de déterminer les effets de la pratique du zaï sur l'évolution des propriétés chimiques du sol et sur les rendements en coton graine comparativement au labour. Le zaï combiné avec la dose en pratique paysanne (1 t/ha) de compost (Z1) et la pratique vulgarisée (L5) améliorent significativement les propriétés chimiques du sol. Cependant, ces doses de compost restent en dessous de la dose optimale pour la satisfaction des besoins nutritionnels en N, P et K des cotonniers dans la pratique du labour et du zaï. Il ressort des résultats que le labour combiné avec la dose vulgarisée (5 t/ha) de compost (L5) a enregistré le rendement moyen en coton graine le plus élevé. Cependant, sa pratique accélère la baisse des teneurs en carbone et en azote totaux du sol. Dans un contexte de faible disponibilité de la fumure organique et dans ce contexte de changement climatique ponctués par une mauvaise répartition spatio-temporelle des pluies le zaï combiné à la dose 1 t/ha compost (Z1) serait un moyen d'adaptation pour assurer la production durable du coton biologique. Il est donc nécessaire que des recherches plus approfondies soient menées pour mieux apprécier les rendements du coton biologique sous la technique du zaï mécanique et dans un système de rotation culturale.

REFERENCES

- [1] FAO, «Les pays du Coton-4 (C-4) dans le cadre du marché mondial du coton: Situation et perspectives à court et moyen termes,» 2022.
- [2] MECV, «Analyse Economique du Secteur du Coton. Liens Pauvreté et Environnement. Rapport Final,» 2011.
- [3] O. Institute, «La production de coton biologique en Afrique de l'Ouest,» 2000.
- [4] UNPCB, «Etude de la caractérisation des sols sous culture de coton biologique au Burkina Faso,» 2015.
- [5] E. N. Kohio, A. G. Toure, M. P. Sedogo, and K. J. M. Ambouta, «Contraintes à l'adoption des bonnes pratiques de Gestion Durable des Terres dans les zones soudanienues et soudano-sahéliennes du Burkina Faso,» *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 11, no. 6, p. 2982, 2017, doi: 10.4314/ijbcs.v11i6.34.
- [6] N. Ouédougua, «Caractérisation des modes de gestion de la fertilité des sols dans les systèmes de production à base de coton biologique dans les provinces du loba et de la Bougouriba au Burkina Faso. Diplôme d'Ingénieur du Développement Rural. Option : Agronomie,» Université Polytechnique de Bobo (UPB), Burkina Faso, 2016.
- [7] B. Djibril, M. T. Gueye, E. Victor, and O. Faye, «Gestion intégrée des principaux ravageurs du cotonnier au Sénégal et en Afrique occidentale,» *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 9, no. 5, pp. 2654–2667, 2015. DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i5.36>.
- [8] S. W. K. Muchai, F. K. Ngetich, M. Baaru, and M. W. Mucheru-Muna, «Adoption and utilisation of Zai pits for improved farm productivity in drier upper eastern Kenya,» *J. Agric. Rural Dev. Trop. Subtrop.*, vol. 121, no. 1, pp. 13–22, 2020, doi: 10.17170/kobra-202002281030.
- [9] O. C. Zoure, «Etude des performances hydrologiques des techniques culturales dans un contexte de changement climatique en zone sahéenne du Burkina Faso,» Institut 2iE, Burkina Faso, 2019.

- [10] A. Dabre, E. Hien, D. Some, and J. J. Drevon, «Effets d' amendements organiques et phosphatés sous zaï sur les propriétés chimiques et biologiques du sol et la qualité de la matière organique en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso Effects of organic and phosphate amendments in zaï system on soil,» *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 11, no. 1, pp. 473–487, 2017, doi: 10.4314/ijbcs.v11i1.38.
- [11] A. Barro, S. Sankara, and C. P. Kondombo, «Effect of zaï and micro dose on root biomass and the grain and straw yield so sorghum at Tangaye in the North region in Burkina Faso,» *Int. J. Environ. Agric. Biotechnol.*, vol. 3, no. 5, pp. 1913–1921, 2018, doi: 10.22161/ijeab/3.5.44.
- [12] F. Saba, S. Jean, B. Taonda, I. Serme, A. A. Bandaogo, and A. P. Sourwema, «Effets de la microdose sur la production du niébé, du mil et du sorgho en fonction la toposéquence,» *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 11 (5), vol. 11, no. 5, pp. 2082–2092, 2017, doi: 10.4314/ijbcs.v11i5.12.
- [13] CNS, Catalogue National des Espèces et Variétés Agricoles du Burkina Faso. 81p. 2014.
- [14] BUNASOLS, Méthodes d'analyse physique et chimique des sols, eaux et plantes, Bureau National des Sols du Burkina Faso, Documentations techniques, N°3. 1987.
- [15] A. Walkley and R. N. Black, «An examination of the method Dedjareff for determining soil organic matter and to propose modification of the chromic acid titration method,» *Soil Sci.*, vol. 37, pp. 29–38, 1934.
- [16] W.F. Hillebrand, G.E. Lundell, H.A. Bright. and J.I. Hoffman, *Applied inorganic analysis*, 2nd editio. 1953.
- [17] L.T. Kurtz and R.H. Bray, «Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils,» *Soil Sci.*, vol. 59, pp. 39 – 45, 1945.
- [18] A. Gray, S. T. Parthey, «Plant analysis procedures,» *Wageningen Agric. Univ.*, pp. 197–200, 1989.
- [19] AFNOR, Détermination du pH. In AFNOR ISO 10390, Qualité des sols. 1981.
- [20] B. Koulibaly, T. Ouola, Z. Prosper N, and D. Dakuo, «Effet des amendements sur l'enracinement et la production du cotonnier sur un sol ferrugineux tropical de l'Ouest du Burkina Faso,» *Sci. Tech. Sci. Nat. Agron.*, vol. 29, no. 1 et 2, pp. 131–142, 2007.
- [21] M. Braud, «La fertilisation d'un système de culture dans les zones cotonnières soudano-sahéliennes,» *Supplément à Cot. Fib. Trop., série Doc., Etudes synthèse*, no. 8, p. 35, 1987.
- [22] L. Bourgou, W. V. Tarpaga, S. K. Diane, and D. Sanfo, «Assessment and selection of a cultivar of cotton (FK64, *Gossypium hirsutum* L.) in Burkina Faso,» *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 14, no. 3, pp. 869–882, 2020, doi: 10.4314/ijbcs.v14i3.18.
- [23] F. Kaho, M. Yemefack, P. Feujio-Teguefouet, and J. C. Tchantchaouang, «Effet combiné des feuilles de *Tithonia diversifolia* et des engrais inorganiques sur les rendements du maïs et les propriétés d'un sol ferrallitique au Centre Cameroun,» *Tropicicultura*, vol. 29, no. 1, pp. 39–45, 2011.
- [24] BUNASOLS, Manuel technique pour l'évaluation des terres, documentations techniques n°6. Ouagadougou, Burkina Faso, 1990.
- [25] F. J. P. Pallo and L. Thiombiano, «Les sols ferrugineux tropicaux lessives à concrétions du Burkina Faso : caractéristiques et contraintes pour l'utilisation agricole,» *BUNASOLS. SOLTROP* 89, pp. 307–327, 1989.
- [26] D. Some, «Contribution des légumineuses dans le système zaï céréalier à la réhabilitation des sols dégradés (Zipella) et à la production : Cas du niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) sur sol ferrugineux tropical dans la Région Nord du Burkina Faso. Thèse de d,» Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 2015.
- [27] M. Gnissien, K. Coulibaly, M. Traore, M. Hien, and B. Mathieu, «Effets des pratiques agro-écologiques sur les caractéristiques chimiques majeures et le stock de carbone du sol à l' Est du Burkina Faso,» vol. 39, no. 39, pp. 1–14, 2021, doi: 10.25518/2295-8010.1862.
- [28] F. Kaho, M. Yemefack, P. Feujio-Teguefouet, and J. C. Tchantchaouang, «Effet des téguments de fèves de cacao sur la fertilité chimique d'un ferralsol et quelques paramètres de croissance du manioc, à Ahoué, Sud-Est Côte d'Ivoire,» *J. Appl. Biosci.*, vol. 121, no. 1, pp. 12144–12156, 2018, doi: 10.4314/jab.v121i1.5.
- [29] A. Ouedraogo, L. Yombi, S. Dombia, F. Eyhorm, and R. Dischl, Guide de production du coton biologique et équitable. Un manuel de référence pour l'Afrique de l'Ouest. Zurich, Suisse : Helvetas. 2008.
- [30] P. Bazongo, K. Traore, B. Kiemtore, I. A. N. Da, A. Coulibaly, and O. Traore, «Effets du compost de *Jatropha curcas* L. et de la fumure minérale vulgarisée sur les propriétés chimiques du sol et des rendements du maïs (*Zea mays*) à l'ouest du Burkina Faso,» *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 17, no. 5, pp. 2025–2036, 2023, doi: 10.4314/ijbcs.v17i5.20.
- [31] D. M. Soma, D.I. Kiba, Z. Gnankambary, N. Ewusi-Mensah, M. Sanou, H. B. Nacro, F. Lompo, M. P. Sedogo, and R. C. Abaidoo, «Effectiveness of combined application of Kodjari phosphate rock, water soluble phosphorus fertilizer and manure in a Ferric Lixisol in the centre west of Burkina Faso,» *Arch. Agron. Soil Sci.*, vol. 64, no. 3, pp. 384–397, 2018, doi: 10.1080/03650340.2017.1353216.
- [32] S. P. Mze, «Influence d'apports en matières organiques sur l'activité biologique et la disponibilité du phosphore dans deux sols de la région des grands lacs d'Afrique. Thèse de doctorat. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux. Gembloux,» Gembloux, 2008.

- [33] S. Der, «en Géoresources Contribution des légumineuses dans le système zaï céréalier à la réhabilitation des sols dégradés (Zipella) et à la production : Cas du niébé (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) sur sol ferrugineux tropical dans la Région Nord du Burkina,» Thèse unique de doctorat en Géoresources. Option: Pédologie. Université de Ouagadougou, p.156.
- [34] C. Assogba, T. R. Cocou, and L. Philippe, «Diversité des pratiques paysannes de gestion de la matière organique dans les exploitations productrices de coton biologique à Kandi,» *Ann. UP, Série Sci. Nat. Agron*, vol. 8 No., pp. 85–93, 2018.
- [35] B. Koulibaly, O. Traoré, D. Dakuo, P. N. Zombré, and D. Bondé, «Effets de la gestion des résidus de récolte sur les rendements et les bilans culturaux d ' une rotation cotonnier-maïs-sorgho au Burkina Faso,» *TROPICULTURA*, vol. 28, no. 3, pp. 184–189, 2010.
- [36] O. Traore, «Les succès de la lutte intégrée contre les ravageurs du cotonnier en Afrique de l'Ouest, 67ème réunion plénière de l'ICAC,» (Ouagadougou) Burkina Faso, 2008.
- [37] B. Koulibaly, D. Dakuo, A. Ouattara, O. Traoré, F. Lompo, P. N. Zombré and A. Yao-Kouamé, «Effets de l'association du compost et de la fumure minérale sur la productivité d ' un système de culture à base de cotonnier et de maïs au Burkina Faso,» *TROPICULTUR*, vol. 33, no. 2, pp. 125–134, 2015.
- [38] B. M. Pouya, I. Serme, Z. Gnankambary, G. Zoumboudre, B.B. Somda, D. I. Kiba, M.P. Sedogo and F. Lompo, «Perceptions paysannes d ' options technologiques de gestion intégrée de la fertilité des sols sous cultures de sorgho et de niébé dans la région Est du Burkina Faso,» *Int. J. Innov. Appl. Stud.*, vol. 32, no. 1, pp. 113–122, 2021, [Online]. Available: <http://www.ijias.issr-journals.org/>.
- [39] S. Ahmad, M. Iqbal, M. Akram, M. R. Shahid, M. Shahid, T. Muhammad, M. I. Ullah, Z. Saeed, M. Ali «Effect of Different Levels of Organic Matter and Genotypes on Seed Yield and Fiber Quality in Cotton (*Gossypium hirsutum* L),» *Sarhad J. Agric.*, vol. 39, no. 3, pp. 665–671, 2023, doi: 10.17582/JOURNAL.SJA/2023/39.3.665.671.
- [40] FAO, Gestion intégrée de la production et des déprédateurs du coton. Guide du facilitateur pour les champs-écoles des producteurs. 2014.
- [41] D. Fatondji, «Organic amendment decomposition, nutrient release and nutrient uptake by millet (*Pennisetum glaucom* L. R. Br) in a traditional land rehabilitation technique (zaï) in the Sahel. PhD thesis, University of Bonn, Germany.,» 2002.

Morphological characteristics and qualities of sheep carcasses admitted to the slaughterhouse in the Poro region

Soro Soronikpoho¹, Kouadio Kouakou Parfait¹, Aman Jean-Baptiste², Kouassi Koffi Dongo³, and Komara Moussa²

¹Laboratory of Biology, Production and Animal Health, Institute of Agropastoral Management, Peleforo GON COULIBALY University, Korhogo, Côte d'Ivoire

²Animal Biology and Cytology, UFR Nature Sciences, Nangui ABROGOUA University, Ivory Coast, Abidjan, Côte d'Ivoire

³UFR des Sciences Biologiques, Department of Biological Science, Peleforo GON COULIBALY University, Korhogo, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 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 was carried out at the slaughterhouse in the town of Korhogo to assess the morphological characteristics and quality of sheep carcasses. For this purpose, all sheep admitted to the slaughterhouse were considered. On these animals, different parameters such as determination of age, sex, live weight and body condition score were evaluated before slaughter. The criteria for assessing the quality of the carcasses (state of fattening, conformation and coloring, carcass weight and yield), carried out according to evaluation grids after slaughter. The results showed that Djallonke sheep were the most slaughtered in this slaughterhouse (91.3% of total numbers), including females over 4 years old (37.1%). However, Sahelian breed sheep had a higher carcass yield (47.93%) ($P \leq 0.05$) than that of the Djallonkes (46.16%). The carcasses were mainly category D (83.77%) and conformation E (41.15%). However, the proportion of red coloring carcasses was highest in the Djallonké breed (64.97%) than in the Sahelian breed (5.92%). From the analysis of these results, it appears that most sheep admitted to the Korhogo slaughterhouse are females who have not finished their career in extensive breeding. Which could be detrimental to the sustainability of farms.

KEYWORDS: sheep, morphological characteristics, carcasses qualities, slaughterhouse, Korhogo.

1 INTRODUCTION

In Africa, livestock farming is of great importance in agricultural production systems. Millions of people earn their income from livestock farming [1]. The contribution of livestock farming to Côte d'Ivoire's GDP (less than 5%) is low compared to the sub-regional average, yet the country has significant consumption needs for animal food products [2]. Despite this low contribution, ruminant farming plays an important role in maintaining food security, reducing poverty and driving economic growth. Among ruminants, small ruminant farming, particularly sheep, are the most raised animal species in tropical and Sahelian zones [3].

In Côte d'Ivoire, sheep farming is mainly practiced by rural populations who own more than 40% of the national livestock. The northern and central areas of the country constitute the main sheep farming areas. Unfortunately, these have been severely affected by a decade of military-political crisis [4] which has negatively impacted livestock production. Since the bulk of national sheep production is meat, an assessment of its quality would allow the various stakeholders to make decisions. According to Dognon et al. [5], meat quality has nowadays become a real challenge for producers and processors who must meet local and international requirements. Unfortunately, the notion of quality is less perceived in the small ruminant sector. In slaughterhouses, only health inspections are carried out diligently. After inspection, all edible carcasses are treated the same despite their condition and origin [6]. However, considering the characteristics of sheep admitted to the slaughterhouse would make it possible to categorize carcasses and improve the quality and, by extension, the level of production in farms. The

objective of this study is not only to help improve the quality of meat made available to the population but also to encourage stakeholders to put certain concepts into practice to optimize production.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 MATERIAL

In this study, the biological material consisted of all the sheep brought to the slaughterhouse. However, only live animals bleed on site were considered. As for the technical material, it consisted of sheets bearing the scoring criteria for recording the various parameters of the animals, a Generic brand scale with a capacity of 150 kg with an accuracy of 0.01 kg for weighing the animals and carcasses, two ropes for restraining the animal for bleeding and weighing.

2.2 METHODS

COLLECTION OF DATA ON MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS

The evaluation of morphological characteristics and carcass quality was carried out on all sheep admitted to the slaughterhouse at the start of the rainy season. On these sheep, the age, sex, and body condition score were determined before bleeding. Thus, upon arrival of the animals, the sex and breed were determined considering the size (at the withers, ears, tail, etc.). However, two breeds (Djallonké and the Sahelian breed) were considered, due to the difficulty of determining them due to the anarchic matings carried out. The age was determined through the incisors according to the method of Salami [7]. Regarding live weight, each animal was restrained with ropes and weighed using a scale. As for the body condition score, it was determined according to the method described by Vall [8].

COLLECTION OF DATA ON THE CONDITION OF THE CARCASSES

Before slaughter, the ante-mortem inspection was carried out and the animals intended for slaughter were placed in the waiting pen. The animals were sent individually to the bleeding site and restrained using ropes. The animal, thus immobilized on the ground, the throat was cut using a sharp-tipped knife. Dressing was carried out just after bleeding. The slaughtering began early in the morning at 7 am and ended at 3 pm. The hot carcasses were weighed just after evisceration and post-mortem inspection and the carcass yield was calculated. The category, conformation and fattening status of the carcass were made according to the regulation of European Community [9]. As for the carcass coloring, it was determined according to the Moëvi abacus [10].

STATISTICAL ANALYSE

Data collection was entered using Microsoft Excel 2016 software. The same software was used for plotting histograms. Weight and body condition data were analyzed using Statistica 7.1 software and Student's t-test was used to compare means at the 0.05 threshold.

3 RESULTS

3.1 CHARACTERISTICS OF SHEEP

DISTRIBUTION OF SHEEP ACCORDING TO BREED AND SEX

Fig. 1 shows the breeds and sex of the sheep slaughtered at the slaughterhouse in the Poro region. Two breeds were recorded, namely the Djallonké breed and the Sahelian breed. Among all the three hundred and forty-five sheep slaughtered, the Djallonké breed sheep had a higher percentage (91.3%) than those of the Sahelian breed (8.7%). Within the Djallonké breed, there were more females (83.76%) than males (7.54%). In the Sahelian breed, the same observation was made with 5.8% females and 2.9% males.

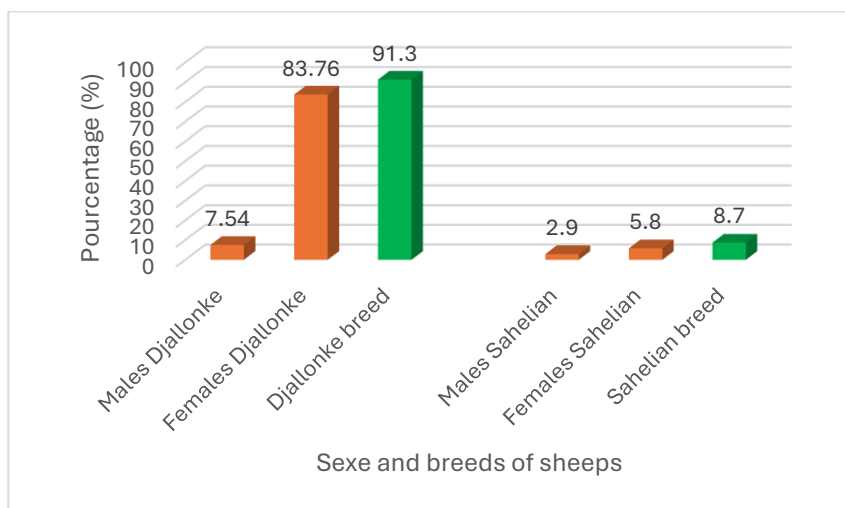


Fig. 1. Distribution by race and sex

DISTRIBUTION OF SHEEP ACCORDING TO AGE OF SHEEP

Table 1 shows the different age classes of sheep slaughtered according to breed. The most slaughtered age class of sheep (40%) was that of 4 years and over. This age class consisted only of females. On the other hand, the age class of 0 to 1 year was the least slaughtered (26.96%). Females made up most of the population with 18.84% at the level of the age class of 0 to 1 year; 30.72% at the level of the age class of 2 to 3 years and 40% at the level of the age class 4 years and over against respectively 8.1%; 2.32% and 0% for males.

Indeed, in the Djallonké breed, sheep whose age was between 4 years and over were the most numerous (37.1%). On the other hand, at the Sahelian breed level, it was sheep in the age group between 2 and 3 years that were slaughtered the most (3.77%).

Table 1. Distribution by age

AGE CLASS	Sexes	Djallonke breed				Sahelian breed				The two breeds			
		Wf.	P (%)	T Wf.	TP (%)	Wf.	P (%)	T Wf.	TP (%)	Wf.	P (%)	T Wf.	TP (%)
[0;1]	M	22	6,36	86	24,93	6	1,74	7	2,03	28	8,1	93	26,96
	F	64	18,55			1	0,29			65	18,84		
[2;3]	M	4	1,16	101	29,27	4	1,16	13	3,77	8	2,32	114	33,04
	F	97	28,11			9	2,61			106	30,72		
[4 et plus]	M	0	0	128	37,1	0	0	10	2,9	0	0	138	40
	F	128	37,1			10	2,9			138	40		

M: Male, F: Female; Wf: Workforce; P: Pourcentage; T Wf.: Total Workforce; TP: Total Pourcentage

AVERAGE LIVE WEIGHT AND BODY CONDITION SCORE OF SHEEP

Table 2 presents the different average live weights and body condition scores of sheep slaughtered at the Korhogo slaughterhouse. Overall, Sahelian breed sheep had an average live weight (36.40 ± 14.82 kg) significantly higher ($P < 0.05$) than that of Djallonke (21.78 ± 4.62 kg). In Djallonke breed sheep, females had an average live weight of 22.29 ± 4.18 kg significantly higher ($P < 0.05$) than that of males (16.09 ± 5.54 kg). However, in Sahelian sheep, the average live weight of females (36.67 ± 14.11 kg) was significantly identical ($P > 0.88$) to that of males (35.85 ± 16.95 kg).

Djallonke breed sheep had a mean body condition score (3.90 ± 0.73) that was significantly identical ($P > 0.05$) to that of Sahelian breed sheep (4.15 ± 0.72). Djallonke males had a mean body condition score (3.78 ± 0.83) lower than that of Djallonke females (3.91 ± 0.72), without being significantly different ($P > 0.05$). However, within the Sahelian breed, males had a significantly higher ($P \leq 0.05$) mean body condition score (4.55 ± 0.49) than Sahelian females (3.95 ± 0.74).

Table 2. Average live weight and body condition score for sheep

Breeds	Sexes	Average live weight (kg)		Body condition score	
Djallonke	Males	16,09±5,54 a	21,78±4,62 b	3,78±0,83	3,9±0,73
	Females	22,29±4,18 a		3,91±0,72	
Sahelian	Males	35,85±16,95	36,40±14,82 b	4,55±0,49a	4,15±0,72
	Females	36,67±14,1		3,95±0,74a	

Values with the same letters in the same column are significantly different ($P \leq 0.05$)

3.2 CHARACTERISTICS OF SHEEP CARCASSES

AVERAGE CARCASS WEIGHT AND CARCASS YIELD OF SHEEP

Table 3 shows the average carcass weights and carcass yield of sheep slaughtered at the Korhogo slaughterhouse. For all the sheep slaughtered, the average weight of the carcasses of female sheep (10.88 ± 2.20 kg) was significantly higher ($P < 0.05$) than that of male sheep (10.37 ± 4.84 kg). In the Djallonke breed, females (10.31 ± 2.29 kg) had a significantly higher average carcass weight than that of Djallonke males (7.48 ± 2.46 kg), unlike the Sahelians where females (17.55 ± 7.33 kg) had a mean carcass weight significantly closer to that of Sahelian males (17.85 ± 9.33 kg).

In Djallonke, males had a higher carcass yield (46.95%) than females (46.09%). The same was true for Sahelian breed sheep, with 48.62% for males and 47.58% for females respectively. However, Sahelian breed sheep had a higher carcass yield (47.93%) ($P \leq 0.05$) than that of Djallonkes (46.16%).

Table 3. Average carcass weights

Breeds	Sexes	Average carcass weights (kg)		Carcass yield (%)	
Djallonke	Males	7,48±2,46	10,07±2,43	46,95	46,16
	Females	10,31±2,29		46,09	
Sahelian	Males	17,85±9,33	17,65±7,89	48,62	47,42
	Females	17,55±7,33		47,58	

CATEGORIES OF CARCASSES

Table 4 shows the distribution of carcass categories of slaughtered sheep. First, the carcasses of slaughtered sheep were mainly category D (sheep that had already given birth) with a proportion of 78.55% for Djallonke sheep and 5.22% for Sahelian sheep. Then come the carcasses of categories A (Carcasses of young uncastrated sheep under 2 years old) and E (Carcasses of other female animals) in Djallonke sheep which are respectively 6.09% and 5.51%. In Sahelian sheep, it is category B (Carcasses of other uncastrated animals) and carcasses of category C (carcasses of castrated sheep) with a proportion of 1.16%.

Table 4. Carcass categories

Categories	Sexe	Djallonke breed		Sahelian breed	
A	Males	5,8%	6,09%	0,87%	0,87%
	Females	0,29%		0	
B	Males	1,16%	1,16%	1,16%	1,16%
	Females	0%		0%	
C	Males	0	0	0,29%	0,29%
	Males	0		0	
D	Females	0,58%	78,55%	0	5,22
	Males	77,97%		5,22%	
E	Females	0	5,51%	0,58%	1,16%
	Males	5,51%		0,58%	

CARCASS CONFORMATION

Table 5 shows the distribution of carcass conformations of sheep slaughtered at. Carcasses of excellent conformation (E) were the most represented with a proportion of 41.15% for Djallonke sheep and 3.48% for Sahelian sheep. Among these 41.15%, the carcasses of male Djallonké represented 2.32% and those of females were 38.83%. In Sahelian sheep, carcasses of S and E conformation were the most represented (3.48%). After the carcasses with excellent conformation (E), comes that of Very good conformation (U) with a significant proportion which is 24.64% within the carcasses of Djallonke sheep and 1.45% within the Sahelian breed.

Table 5. Conformation of the carcasses

Conformation	Sexe	Djallonke breed		Sahelian breed	
S	Males	1,45%	16,81%	1,74%	3,48%
	Females	15,36%		1,74%	
E	Males	2,32%	41,15%	0,87%	3,48%
	Females	38,83%		2,61%	
U	Males	2,32%	24,64%	0,29%	1,45%
	Females	22,32%		1,16%	
R	Females	0,58%	4,35%	0	0
	Males	3,77%		0	
O	Females	0,85%	4,24%	0	0,28%
	Males	3,39%		0,28%	
P	Males	0	0	0	0
	Females	0		0	

S: Superior; E: Excellent; U: Very good; R: Good; O: Fairly good; M: Male and F: Female

FATTENING STATUS OF THE CARCASS

Most carcasses of Djallonké sheep slaughtered at the Korhogo slaughterhouse had a lean fattening state (62.9% for the Djallonke breed). In this breed, female carcasses had a high proportion (55.94%) of lean fattening state while the proportion of male carcasses of this state was 6.96%. In Sahelian sheep, most carcasses had a low fatness with a proportion of 4.35% (i.e. 2.9% for females and 1.45% for males). No carcass had a fatty or very fatty fatness (Fig. 2).

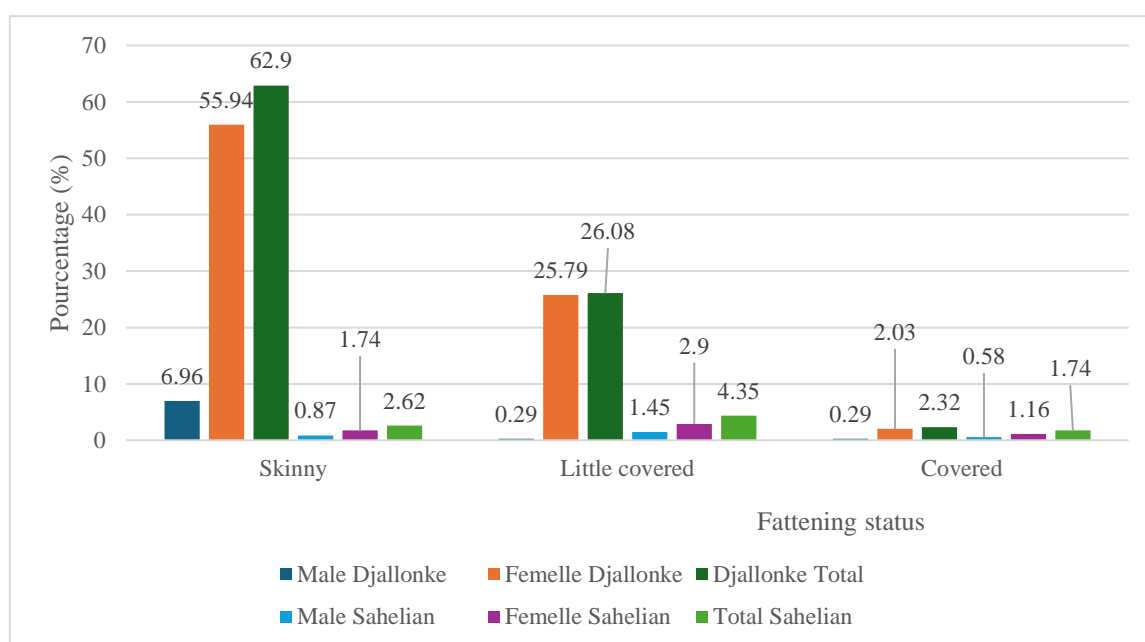


Fig. 2. Fattening status of carcasses

CARCASS COLORING

Fig. 3 shows the different colorations of sheep carcasses at the Korhogo slaughterhouse. However, the proportion of red coloration of the carcasses was the highest (64.97% for Djallonke sheep carcasses and 5.92% for Sahelian sheep carcasses). In Djallonke sheep, red-colored male carcasses represented 1.69% while those of females represented only 63.28%. In Sahelian sheep, female carcasses had a proportion of 3.95% compared to 1.97% for males. In this breed, no light pink and white carcasses were observed.

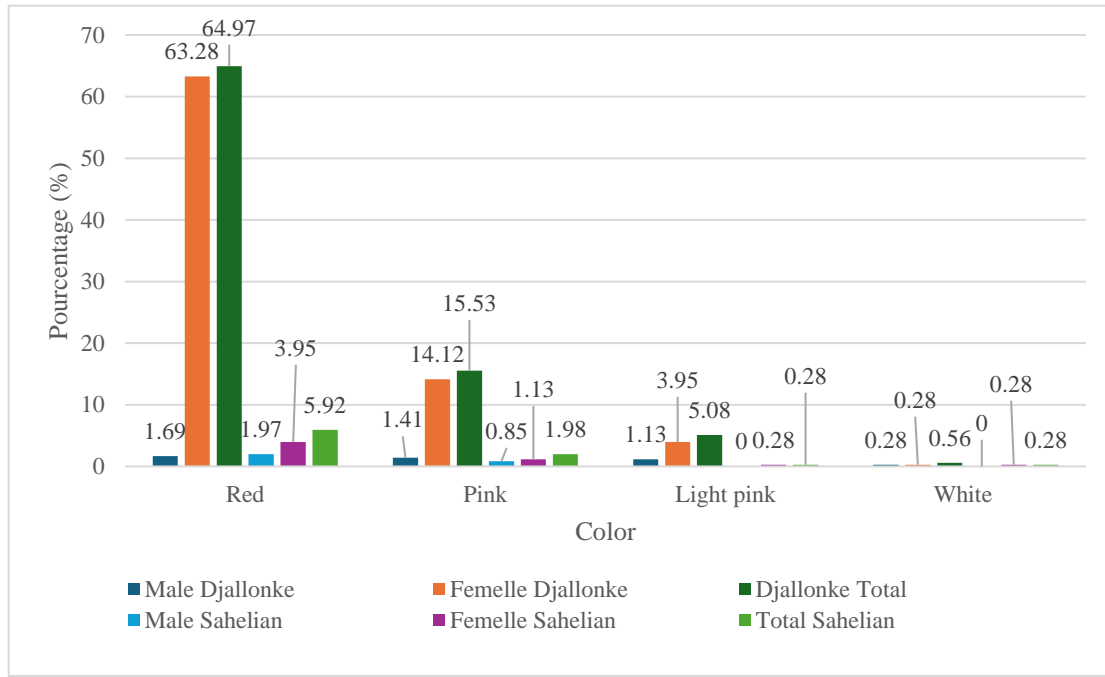


Fig. 3. Carcass coloring

4 DISCUSSION

This study conducted at the slaughterhouse in the city of Korhogo showed that Djallonke sheep were the most slaughtered breed (91.3%) than Sahelian sheep (8.7%). These results are contrary to those of Youan et al. [11] who reported during their study that Sahelian sheep were the most slaughtered (67.5%) at the Port-Bouët slaughterhouse. This could be explained by the fact that northern breeders prefer the Djallonke breed thanks to their adaptation to climatic conditions and their resistance to diseases encountered in this area. Also, the Port-Bouët slaughterhouse is generally supplied with livestock by the sub-region, most of whose sheep are Sahelian breeds. Their low proportion at the Korhogo slaughterhouse could also be explained by the high price of their purchase on the market. The most slaughtered sheep were those aged between 4 years and over. However, most of these slaughtered animals were females (37.1%). This is explained by the fact that rams are mostly reserved for the Tabaski festival. Thus, to ensure a supply of sheep meat, breeders sell older females. A study conducted by Bamba et al. [4] in three regions of the country (Touba, Bouake and Korhogo) showed that the herds were mainly made up of females of breeding age (67.09% females). According to these authors, maintaining a high number of females in the herds was fueled by the breeders' concern to conserve breeding females in order to ensure continued reproducibility of the herd. Youan et al. [11] found that the sheep most slaughtered were mainly those aged 3 years or older. For them, the slaughter in large numbers of sheep aged 3 years or older would be justified by their low productivity within the herds. The Sahelian breed of sheep had an average live weight (36.40 ± 14.82 kg) significantly higher ($P < 0.05$) than that of the Djallonke (21.78 ± 4.62 kg). This could be explained by the genetic difference between the two breeds. Within the Djallonké breed, females had a significantly higher weight (22.29 ± 4.18 kg) than males (16.09 ± 5.54 kg). This difference could be linked to the age of the sheep. Indeed, most of the slaughtered sheep were females aged 4 years and over compared to 6.36% of males who were less than one year old. Djenontin et al. [12] found a live weight at slaughter of 43.94 kg in Sahelian sheep compared to 23.43 kg in Djallonke in Benin. For him, considering sex, the ewes were the oldest and heaviest at slaughter compared to the Antennais. Regarding the average carcass weights, the Djallonke females (10.31 ± 2.29 kg) had a significantly higher average weight ($p < 0.01$) than that of the males (7.48 ± 2.46 kg). Our results are in agreement with those of Mopate et al. [13], where the carcass weight of ewes (17.8

$\pm 6.3\text{kg}$) was higher than that of rams ($13.2 \pm 5.3\text{kg}$). This could be explained by the fact that rams are very often slaughtered at a young age than ewes. Their use for the Tabaski festival and baptisms among Muslims was recurrent.

The carcass yield of male sheep was higher than that of females. The same observation was made within the Djallonke breed, with 46.95% for males and 46.09% for females. For the Sahelian breed, the results of 48.62% for males and 47.58% for females were obtained. It should be noted that males had a higher carcass yield than females. These results are consistent with those of Mopaté et al. [13] who obtained 55.5% for males and 53.7% for females. For these authors, it is preferable to slaughter males for their better carcass yield compared to females. Moreover, the slaughter of pregnant females is likely to lead to reproductive losses (females and young). These losses are often neglected or ignored even though they are significant. However, they can have a negative impact on the renewal of sheep and negatively affect the sustainable meat production of small ruminants in the long term. Moreover, Nana et al. [14] specify that if pregnant females are spared from slaughter, the number of small ruminants could increase. The carcasses of slaughtered sheep were mainly category D with a proportion of 83.77%. Among them, the carcasses of the Djallonke represented 78.55% (i.e. 0.58% males and 77.97% females) and those of the Sahelians, 5.22%. It should be noted that categories A (Carcasses of young uncastrated sheep under 2 years old) and E (Carcasses of other female animals) where the proportions are almost equal with respectively 6.96% and 6.67%. Which agrees with the results of Nana et al. [14] where different carcass categories were recorded with similar proportions (81%) of category D. Carcasses with excellent conformation (E) were the majority (41.15% among the carcasses of the Djallonké and the Sahelians (3.48%). It should also be noted the presence of carcasses with Very good conformation (U) with a significant proportion of 24.64% among the Djallonké and 1.45% among the Sahelians. Follow-up of carcasses with superior conformation (S) (16.81% for the carcasses of Djallonke sheep and 3.48% for the Sahelian breed). Carcasses with good conformation (R) and good conformation (O) were the least represented with respective proportions of 4.35% and 4.24% (all Djallonke). These results are different from those of Einarsson et al. [15] who obtained higher percentages of 84; 84 and 61% respectively for classes O, R and U. The study reveals that more than half of the sheep slaughtered at the Korhogo slaughterhouse had a lean carcass fattening status of 62.9%. These results are contrary to those reported by Einarsson et al. [15] who obtained 69 to 73% of fatty carcasses.

This could be explained by the breeding system. Indeed, the carcasses of animals obtained at the Korhogo slaughterhouse are mainly from animals from extensive breeding where the basic food is fodder. According to Lebret et al. [16], the fattening state of a carcass depends essentially on the stage of maturity reached by the animal at slaughter. The higher the stage of maturity of the animal, the fatter the carcass. The main factors that play an important role in the potential weight of a lamb are the breed, sex and weight of the lamb at birth. Most of these carcasses had a red color with a proportion of 64.97% for carcasses of Djallonke sheep and 5.92% for those of the Sahelian breed. This could be due to the feeding system based mainly on green fodder [17], as these authors point out.

5 CONCLUSION

At the end of this study, the results showed that Djallonke sheep were the most slaughtered, with a population of 315 heads (91.3%) for an age between 4 years and more (40%). These Djallonke sheep were mainly females with an average live weight of $22.29 \pm 4.18\text{ kg}$. Carcasses of excellent conformation (E) were the most represented in the Djallonke breed (41.15%). The fattening status of lean carcasses was the most represented among the latter (62.9%).

It appears that the sheep admitted to the Korhogo slaughterhouse are females who have not completed their career in extensive breeding. This could be detrimental to the sustainability of breeding. Additional studies should be conducted to evaluate the organoleptic and biochemical qualities of the carcasses to better assess the quality of the sheep meat.

ACKNOWLEDGMENT

We would like to thank the Directorate of Animal and Fisheries Resources of the Department of Korhogo as well as the stakeholders in the ruminant sector in the region.

REFERENCES

- [1] MIRAH 2014. « Plan Stratégique de Développement de l'Élevage, de la Pêche et de l'aquaculture. Tome 1: diagnostique-stratégie de développement-orientation-plan d'action », PSDEPA, Abidjan. [Online] Available: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ivc146471.pdf>
- [2] F. Tondel, Dynamiques régionales des filières d'élevage en Afrique de l'Ouest: étude de cas centrée sur la Côte d'Ivoire dans le bassin commercial central. Political Economy Dynamics of Regional Organisations in Africa, Document de réflexion no 241, ECDPM, 2019. [Online] Available: <https://ecdpm.org/application/files/6016/5546/8697/DP-241-Dynamiques-regionales-des-filiers-delevage-en-Afrique-de-lOuest.pdf>
- [3] V. Alary, A. Aboul-Naga, M. El Shafie, N. Abdelkrim, H. Hamdon, H. Metawi, «Roles of small ruminants in rural livelihood improvement – Comparative analysis in Egypt, » *Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, vol. 68, no. (2-3), pp. 79-85, 2015.
- [4] K. L. Bamba, A. C. Kouamé, E. K. Kouadio, S. Gouagoua, «L'élevage ovin (*Ovis Aries*) en Côte d'Ivoire: caractéristique démographique du cheptel des localités de Touba (Ouest), Korhogo (Nord) et Bouaké (Centre), » *Afrique science*, vol. 16, no. 5, pp. 8-16, 2020.
- [5] S. R. Dognon, C. F. A. Salifou, J. Dougnon, M. Dahouda, M-L. Scippo, A. K. I. Youssao, «Production, importation et qualité des viandes consommées au Bénin» *Journal of Applied Biosciences*, vol. 124, pp. 12476-12488, 2018.
- [6] S. Soro, K. P. Kouadio, B. Coulibaly, G. K. G. Brou, D. Diomande, «Evaluation of the Characteristics of Goat Carcasses Slaughtered at the Korhogo Slaughterhouse (Ivory Coast), » *American Journal of Food and Nutrition*, vol. 12, no. 2, pp. 68-72, 2024.
- [7] Salami, I. 1990. Détermination de l'âge par la dentition chez les petits ruminants en milieu traditionnel au Sénégal. Université Cheikh Anlta Diop – Dakar. Thèse: école inter-Etats des sciences et médecine vétérinaires, Dakar. [Online] Available: <https://beep.ird.fr/greenstone/collect/eismv/index/assoc/TD90-30.dir/TD90-30.pdf>
- [8] Vall, E., 2020. Guide harmonisé de Notation de l'Etat Corporel (NEC) pour les animaux de ferme du Sahel: Ruminants de grande taille (Bovins, Camelins) et de petite taille (Ovins, Caprins) et équidés (Asins et Equins). [Online] Available: https://agritrop.cirad.fr/597118/1/Guide_NEC_Sahel.pdf
- [9] Communauté Européenne (2008). Règlement (CE) n°1249/2008 de la Commission du 10 décembre 2008 portant modalités d'application des grilles communautaires de classement des carcasses de bovins, de porcins et d'ovins et de la communication des prix y afférents. *J. Off. Commun. Eur.*, 28 p.
- [10] Moëvi I. (2006). Le point sur la couleur de la viande bovine. Interbev, Paris, 113 pages.
- [11] B. I. V. D. Youan, M. Komara, Y. Akaffou, K. Dagnogo, «Caractérisation phénotypique et zootechnique des ovins abattus à l'abattoir de Port-Bouët pour la boucherie dans la ville d'Abidjan» *International Journal of Innovation and Scientific Research*, vol. 70, no. 2, pp.165–171, 2024.
- [12] J. Djenontin, M. Senou, C. F. A. Salifou, G. S. Ahounou, T. M. Issifou, A. K. I. Youssao, "Influence of genetic type on body composition and meat quality of sheep raised in traditional breeding systems", *Archivos de Zootecnia*, vol. 66, pp. 523-533, 2017.
- [13] L.Y. Mopaté, T. Madjina, Y. A. Issa, S. S. Mahamat, «Rendement carcasse des ovins sahéliens dans la Province du Guera au Centre-Est du Tchad», *Journal of Applied Biosciences*, vol.146, pp.15074-15080, 2020.
- [14] F. C. N. Nana, C. D. Tume, F. K. Djitie, M. B. S. Dandji, A. P. Zoli, J. F. Beckers, «Impact de l'abattage des chèvres gravides sur l'élevage des petits ruminants au Cameroun. Livestock Research for Rural Development. Vol. 26, no. 11, pp.1-11, 2014.
- [15] E. Einarsson, E. Eythórsdóttir, C. R. Smith, J. V. Jónmundsson, «The ability of video image analysis to predict lean meat yield and EUROP score of lamb carcasses», *Animal*, vol. 8, no. 7, pp. 1170-1177, 2014.
- [16] B. Leuret, S. Prache, C. Berri, F. Lefèvre, D. Bauchart, B. Picard, G. Corraze, F. Medale, J. Faure, H. Alami-Durante, «Qualités des viandes: influences des caractéristiques des animaux et de leurs conditions d'élevage. Le muscle et la viande», *INRA Productions Animales*, vol. 28, pp. 151-168, 2015.
- [17] S. Soro, K. P. Kouadio, Z. F. Zouh Bi, G. K. G. Brou, K. M. Konan, «Evaluation of cow's milk production in the beginning of the rainy season in the peri-urban area of Dikodougou (Côte d'Ivoire)», *International Journal of Multidisciplinary Research and Development*, vol. 10, pp. 27-32, 2023.

Effets des demi-lunes multifonctionnelles et classique sur l'amélioration des caractéristiques physico-chimiques des différents compartiments des ouvrages creusés dans les sols des plateaux de Sokorbé (Loga-Niger)

[Effects of half-moons (multifunctional and classic) on improving the physicochemical characteristics of the excavated parts of upland soils in western Niger: The case of Sokorbé (Loga)]

Idrissa Seidou Ousmane¹, Tidjani Adamou Didier², and Ambouta Karimou Jean-Marie³

¹Doctorant ED, SVT de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

²Professeur titulaire, Faculté d'Agronomie de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

³Professeur Emérite, Faculté d'Agronomie de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

Copyright © 2024 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 at the level of the developed parts of two plateaus of the commune of Sokorbé. Multifunctional and classic half-moons were made on the degraded and encrusted soils of the Goubey and Sinsan plateaus. On each of these two units, soil profiles were opened and described and samples were also taken at the level of the dug parts and analyzed in the laboratory. Infiltration tests were conducted on the different compartments of the structure: impluvium, Zaï and bottom of the basin at the completion and after 1 and 2 years of operation. The results show that the organic matter rate increased from 0.8% on controls (impluviums) to 1.3% in the dug parts (zaïs and bottom of the basin) of the Goubey plateau and to more than 3.5% in those of the Sinsan plateau after one year of operation. However, this rate decreases after two campaigns (two harvests) and tends towards the initial situation in the zaïs. The acidic pH (4 to 4.2) on the controls increased towards neutrality (6 to 6.5) in the zaïs. As for the quantity of water infiltrated over a period of one hour, it varies between 116 and 190 liters per m² on the controls to reach, after two years of operation, a volume varying between 378 and 396 liters per m² in the dug parts, respectively on the Goubey and Sinsan plateaus. The making of half-moons on the degraded soils of the plateaus improves the physicochemical characteristics of all the compartments of the half-moons.

KEYWORDS: multifunctional and classic half-moon, soil characteristics, plateau, Sokorbé-Loga.

RESUME: Cette étude a été conduite au niveau des parties aménagées de deux plateaux de la commune de Sokorbé. Des demi-lunes multifonctionnelles et classiques ont été confectionnées sur les sols dégradés et encroûtés du plateau de Goubey et celui de Sinsan. Sur chacune de ces deux unités, des profils pédologiques ont été ouverts et décrits et des échantillons ont été également prélevés au niveau des parties creusées et analysés au laboratoire. Des tests d'infiltration ont été conduits sur les différents compartiments de l'ouvrage: impluvium, Zaï et fond de cuvette à la réalisation et après 1 et 2 années de fonctionnement. Les résultats montrent que le taux de matière organique est passé de 0,8% sur témoins (impluviums) à 1,3% dans les parties creusées (zaïs et fond de cuvette) du plateau de Goubey et à plus de 3,5 % dans celles du plateau de Sinsan après un an de fonctionnement. Néanmoins ce taux diminue après deux campagnes (deux récoltes) et tend vers la situation initiale dans les zaïs. Le pH acide (4 à 4,2) sur témoins a augmenté vers la neutralité (6 à 6,5) dans les zaïs. Quant à quantité d'eau infiltrée sur une durée d'une heure, elle varie entre 116 et 190 litres par m² sur les témoins pour atteindre, après deux ans de fonctionnement, un volume variant entre 378 et 396 litres par m² dans les parties creusées, respectivement sur plateau

de Goubey et Sinsan. La confection des demi-lunes sur les sols dégradés des plateaux améliore les caractéristiques physico-chimiques de tous les compartiments des demi-lunes.

MOTS-CLEFS: demi-lune multifonctionnelle et classique, caractéristiques du sol, plateau, Sokorbé-Loga.

1 INTRODUCTION

Depuis les grandes sécheresses des années 70 et 80, le Niger a été confronté à une dégradation accélérée de son environnement. La conjonction des sécheresses récurrentes et d'une forte pression démographique sur ses ressources naturelles a considérablement entamé son potentiel productif, exposant la population régulièrement à une situation alimentaire précaire. Dès lors, il fallait agir pour essayer d'inverser la tendance ou au moins stabiliser la situation au profit des générations futures car les risques de disparition du potentiel de production dans l'espace du Niger étaient réels. La question principale était donc de savoir s'il était possible de corriger les dégradations dues à une surexploitation des ressources naturelles combinée à des sécheresses successives [1]. La situation de référence a déterminé que le Niger enregistre 10 760 000 ha de terres dégradées (dénudées, encroutées et compactées), en 2010. Ces étendues de terres peuvent faire objet de récupération pour les besoins d'exploitations agricoles et pastorales aux bénéfices des producteurs ruraux. Le Niger se fixe prioritairement comme ambitions d'atteindre la neutralité en matière de dégradation des terres d'ici à 2030 [6]. Cette dégradation serait due à la perte de la couverture végétale, exposant ainsi le sol au battage par les gouttes de pluie qui disloque les agrégats, libère les particules fines qui colmatent la porosité formant après dessiccation une croûte dure et imperméable sur laquelle les pluies subséquentes ruissellent fortement. Plusieurs études notamment celles conduites par [7] et [8] ont caractérisé ces phénomènes sur les sols des plateaux et glacis du Continental Terminal de l'Ouest nigérien. Pour contrarier ces phénomènes, plusieurs techniques d'aménagement et de restauration de ces unités dégradées ont été mises en œuvre depuis des décennies. Parmi ces techniques figure celle de captage d'eau de ruissellement à travers plusieurs types d'ouvrages creusés notamment les demi-lunes, les banquettes, les tranchées et les zaïs. Des études dont celles de [14], [18] et [13] ont montré que ces techniques jouent un rôle important dans la restauration de la fertilité des sols et la réhabilitation des fonctions essentielles du sol. Dans cet article il sera évalué les effets de la technique de demi-lune (multifonctionnelle et classique) sur l'amélioration des caractéristiques physico-chimiques des sols des plateaux dégradés.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL

2.1.1 UNITÉS PAYSAGÈRES D'ÉTUDE

L'étude a été conduite au niveau de la commune de Sokorbé, sur deux sites de plateaux dégradés, sur lesquels des demi-lunes (multifonctionnelles et classique) ont été creusées à travers des travaux de participation communautaire massive et organisée.

- **Plateau de Goubey:** il s'agit d'un plateau gréseux correspondant à la haute surface sommitale des formations du Continental Terminal de l'Ouest nigérien présentant de grandes surfaces de sol nu, encrouté, pavé de graviers et de cailloux, laissant apparaître localement quelques touffes d'arbustes à dominance de combrétacées et un tapis herbacé quasiment nul. C'est une unité à vocation essentiellement sylvopastorale (Figure 1). Sur ce site (figure 1), ce sont au total 30 hectares de terrain qui ont été restaurés en 2021 et 2022 par la confection des ouvrages CES/DRS de type demi-lunes multifonctionnelles et classiques.



Fig. 1. Vue de l'état de surface du plateau de Goubey (Coordonnées N: 13°32'10,5"; E: 003°9'31") avant l'aménagement

- **Bas plateau de Sinsan:** C'est un plateau gréseux affaissé (altitude inférieure à celle de la surface sommitale des formations du Continental Terminal de l'Ouest nigérien), très encrouté avec une très faible rugosité en surface, très peu boisé avec dominance de combrétacées et sans tapis herbacé (Figure 2). C'est aussi une unité à vocation sylvopastorale portant localement des traces d'anciens aménagements de types banquettes creusées dans les années 2000. Au total 54 hectares de terres ont été restaurés en 2021 et 2022 à l'aide des ouvrages CES/DRS notamment les demi-lunes « multifonctionnelles et classique ».



Fig. 2. Vue de l'état de surface du plateau de Sinsan (coordonnées du centre du site: N: 13°33'12.4"; E: 003°05'23.6") avant l'aménagement

2.1.2 MATÉRIEL

Les matériels utilisés sont essentiellement composés des outils pour l'ouverture et la description des profils pédologiques et les matériels pour le test d'infiltration.

2.2 MÉTHODES

2.2.1 DESCRIPTION DU PROFIL PEDOLOGIQUE ET ANALYSE DU SOL AU LABORATOIRE

- DESCRIPTION DU PROFIL PEDOLOGIQUE

L'ouverture et la description du profil pédologique ont été effectuées sur la base de la méthodologie décrite par [4]. La fosse a été ouverte durant le mois de novembre 2021, le choix a été guidé par l'homogénéité de la surface du sol sur une grande étendue nue, compactée et non perturbée.



Fig. 3. Description des profils pédologiques

• **ECHANTILLONS COMPOSITES**

Au niveau de chaque site, en plus des échantillons prélevés sur le profil pédologique, des échantillons composites ont été constitués à travers des prélèvements effectués sur le fond des zaï et des cuvettes des ouvrages après ouverture et ensuite dans les sédiments déposés après un et deux ans de fonctionnement des ouvrages. Le prélèvement de ces échantillons a été effectué à l'aide de la tarière enfoncée à 15 cm de profondeur sur les fonds des zaï et des cuvettes dans l'ensemble des modèles d'ouvrages.

• **ANALYSE DES ECHANTILLONS DU SOL AU LABORATOIRE**

Les analyses des échantillons du sol ont été effectuées au niveau du Laboratoire Sciences du Sol de la Faculté d'Agronomie de l'Université Abdou Moumouni de Niamey. Le Tableau 1 présente les paramètres analysés ainsi que la méthode appliquée.

Tableau 1. Paramètres analysés et méthodes appliquées

Paramètres analysés	Méthodes appliquées
Granulométrie	Pipette Robinson
pH (1/2,5)	Lecture directe sur un pH-mètre à électrodes en verre
Carbone organique total	WALKLEY-BLACK
Azote total	KJELDAHL

2.2.2 TEST D'INFILTRATION

Le test d'infiltration a été effectué en 3 phases:

- 1^{er} test à la réalisation/Confection des ouvrages (En 2021)
- 2^{eme} test après une première campagne (Novembre 2021)
- 2^{eme} test après la deuxième campagne (Novembre 2022)

La méthode à anneau simple décrite par [16] et [10] a été appliquée pour l'évaluation de l'infiltration. Cette évaluation a concerné selon la phase, les compartiments suivants des ouvrages: le Zaï à la confection, le Zaï après une campagne, le Zaï après la deuxième campagne, le fond de la cuvette (à 40 cm) à la confection et après chacune des deux campagnes successives et sur l'impluvium. Pour chaque partie (impluvium, zaï et fond de cuvette), 3 répétitions ont été effectuées.



Fig. 4. Vue du test d'infiltration réalisé au niveau d'un zaï et dans une cuvette à l'aide d'anneau simple

2.3 TRAITEMENT DES DONNÉES

Les données ont été analysées et traitées à l'aide du logiciel Excel et le logiciel R.

3 RESULTATS

3.1 CARACTERISTIQUES MORPHO PEDOLOGIQUES DES UNITES DE PLATEAUX DE SOKORBE

3.1.1 LE SOL DU PLATEAU DE GOUBEY

Au niveau de ce plateau, une caractérisation morpho-pédologique a été faite à travers l'analyse des états de surface, la description du profil pédologique, le prélèvement et l'analyse des échantillons de sol. La Figure 5 présente l'état de surface et le profil pédologique de ce sol.

Le profil pédologique ouvert en novembre 2021 (Figure 5) présente les caractéristiques suivantes:

- 0 à 20 cm: Horizon de surface, sablo-limoneux à structure massive et peu poreux. Cet horizon peu dure à l'état sec présente quelques racines horizontales et quelques galeries mais sans aucune présence des graviers et concrétions ferrugineuses. La transition entre cet horizon et le suivant est progressive.
- 20 à 40 cm: Sablo-limoneux à structure granuleuse, poreux et peu dure à l'état sec. On observe une présence des graviers et des blocs qui obligent les racines à prendre des directions verticales. On note également la présence de quelques galeries. La transition avec l'horizon suivant est nette.
- 40 cm à plus: Sablo-limoneux à structure fragmentaire, peu poreux et très dur à l'état sec. L'horizon est dominé par la présence des blocs et cailloux sans aucune présence de racines ni de galeries. On y observe un affleurement de la dalle cuirassée.

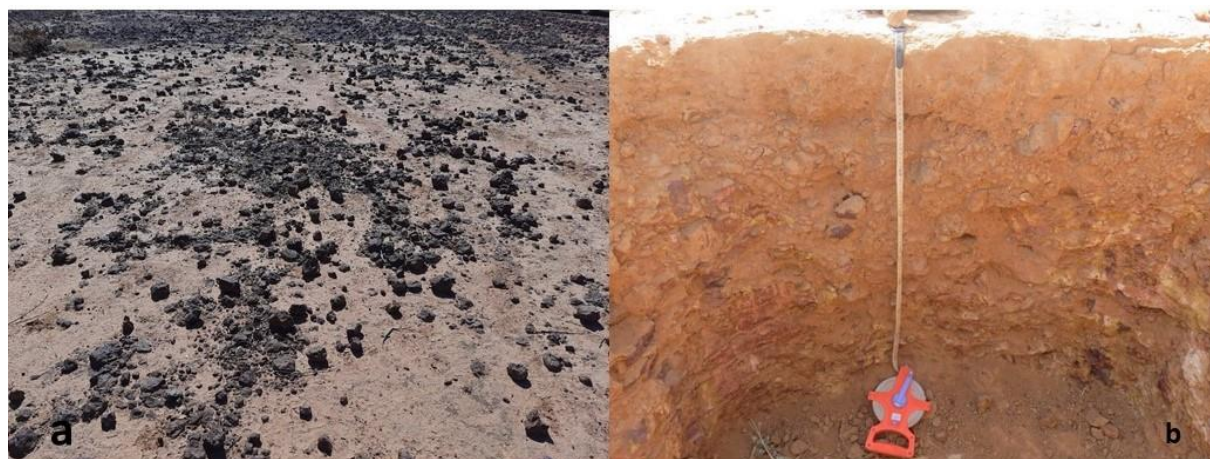


Fig. 5. Vue de l'état de surface (a) et du profil pédologique (b) du sol du plateau de Goubey

Les résultats des analyses des échantillons présentés dans le Tableau 2 montrent que les teneurs en matière organique et en azote diminuent progressivement avec la profondeur. Le taux de la matière organique est à un niveau bas sur l'ensemble du profil avec une tendance à la diminution de la surface vers la profondeur du profil. Le rapport C/N montre que le niveau de décomposition de la matière organique est élevé et tend à diminuer avec la profondeur. Sur la base du triangle de texture (FAO) le profil a une texture sablo-limoneuse à légère tendance limono-sableuse vers la profondeur. Le pH est extrêmement acide sur l'ensemble du profil. On observe également une légère augmentation du taux d'argile dans le deuxième horizon.

Tableau 2. Caractéristiques physico-chimiques du sol du plateau de Goubey

Épaisseur (Cm)	Carbone organique total	Matière organique totale	Azote total	C/N	pH eau	Argiles	Limons fins	Limons grossiers	Sables fins	Sables moyens	Sables grossiers
	%				1/2,5	< 2µm	2 µ à 20µm	20 à 50µm	50 à 200µm	200 à 500µm	> 500µm
0 à 20	0,47	0,81	0,05	10,30	4,22	10,37	8,89	4,94	28,59	28,18	19,04
20 à 40	0,36	0,62	0,04	10,00	3,75	12,42	6,95	10,93	19,41	27,42	22,88
40 à plus	0,20	0,34	0,02	9,09	3,86	10,96	9,46	7,97	19,97	25,21	26,43

3.1.2 LE SOL DU BAS PLATEAU DE SINSAN

Comme sur le plateau de Goubey, une caractérisation morpho-pédologique a été faite également au niveau du bas plateau de Sinsan à travers la description de l'état de surface et du profil pédologique. Le profil pédologique ouvert (Figure 6) montre que:

- 0 à 10 cm: Horizon de surface, sablo-argileux à structure massive et peu poreux. Cet horizon est friable à l'état sec avec la présence de quelques galeries mais sans aucune présence de racines, graviers et concrétions ferrugineuses. La transition entre cet horizon et le suivant est nette.
- 10 à 30 cm: Sablo-argileux à structure grenue, peu poreux et dur à l'état sec. On y observe une présence de quelques racines horizontales et galeries. La charge caillouteuse est importante. Légère effervescence à HCl décelable à l'oreille. La transition avec l'horizon suivant est nette.
- 30 cm à plus: Sableux à charge graveleuse plus élevée, très peu poreux et dur à l'état sec. On y observe la présence de quelques racines verticales et l'affleurement de la dalle ferrugineuse.



Fig. 6. Vue de l'état de surface (a) et du profil pédologique (b) du bas plateau de Sinsan

Les résultats de l'analyse des échantillons présentés dans le Tableau 3 montrent que tous les éléments chimiques (carbone, matière organique et azote) sont à faible teneur et diminuent légèrement avec la profondeur. Sur la base du triangle de texture (FAO) le profil présente une texture sable limoneuse sur l'ensemble des horizons avec une dominance en sable fin et moyen. Le pH est extrêmement acide sur l'ensemble du profil qui tourne autour de 4. On observe un très faible taux d'argile sur l'ensemble du profil avec un taux diminuant de la surface vers la profondeur.

Tableau 3. Caractéristiques physico-chimiques du sol du bas plateau de Sinsan

Epaisseur (Cm)	Carbone organique total	Matière organique totale	Azote total	C/N	pH eau	Argiles	Limons fins	Limons grossiers	Sables fins	Sables moyens	Sables grossiers
	%				1/2,5	< 2μ	1/2,5	< 2μm	2 μ à 20μm	20 à 50μm	50 à 200μm
0 à 10	0,48	0,82	0,05	10,32	4,05	13,78	7,15	4,59	31,43	25,84	17,21
10 à 30	0,44	0,75	0,04	10,23	3,71	13,32	8,71	4,61	32,59	23,49	17,27
30 à 95	0,41	0,71	0,04	10,17	3,64	1,49	6,44	4,96	35,44	29,72	21,96

Les états de surface des sols de l'ensemble de ces deux sites sont dominés, soit par des croutes lisses, soit par des éléments grossiers qui augmentent la rugosité du sol mais caractéristiques des sols dégradés par l'érosion hydrique. De ce fait pour restaurer ces types de sol, la technique des demi-lunes peut contribuer à restaurer la fertilité des sols en améliorant le taux des nutriments, en réduisant le ruissèlement et en augmentant l'infiltration et la capacité de stockage de l'eau.

3.2 EFFETS DES DEMI-LUNES SUR LES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS DES DIFFERENTS COMPARTIMENTS DE L'OUVRAGE SELON L'UNITE DE PATEAU

Le suivi des caractéristiques physico-chimiques des sols effectué au niveau des différents compartiments (parties) de la demi-lune à savoir l'impluvium, le zaï, la cuvette sur deux campagnes (2021 et 2022) présente une évolution des différents paramètres étudiés selon l'unité de plateau.

3.2.1 OUVRAGES CREUSES SUR LE HAUT PATEAU DE GOUBEY

Les résultats des analyses des échantillons consignés dans le Tableau 4 montrent que le taux de matière organique a connu une évolution au niveau des différents compartiments de la demi-lune (zaïs et cuvettes sédimentées), par rapport au niveau initial représenté par l'impluvium qui constitue le témoin. Le rapport C/N est quasi-constant au niveau de toutes ces unités. Quant au pH, il a évolué de l'état d'acidité au niveau de l'impluvium (témoin) vers la neutralité au niveau des Zaïs et dans les cuvettes sédimentées. La texture sablo-limoneuse au niveau de l'impluvium a évolué vers une texture limono-sableuse dans

Effets des demi-lunes multifonctionnelles et classique sur l'amélioration des caractéristiques physico-chimiques des différents compartiments des ouvrages creusés dans les sols des plateaux de Sokorbé (Loga-Niger)

les Zaïs après deux campagnes et des cuvettes sédimentées. Cette amélioration des caractéristiques physico-chimiques permet de créer un milieu favorable aux développements des cultures, des ligneux et espèces herbacées.

Tableau 4. Evolution des paramètres physico-chimiques du sol au niveau des différents compartiments de la demi-lune sur le plateau de Goubey

Compartiments de l'ouvrage	Carbone organique total	Matière organique totale	Azote total	C/N	pH eau	Argiles	Limons fins	Limons grossiers	Sables fins	Sables moyens	Sables grossiers
	%				1/2,5	< 2µm	2 µ à 20µm	20 à 50µm	50 à 200µm	200 à 500µm	> 500µm
<i>Impluvium</i>	0,47	0,81	0,05	10,30	4,22	10,37	8,89	4,94	28,59	28,18	19,04
<i>Zaïs après une campagne</i>	0,60	1,03	0,06	10,53	6,53	4,51	5,01	3,51	25,00	37,11	24,85
<i>Zaïs après deux campagnes</i>	0,51	0,89	0,05	10,39	6,20	8,16	4,92	4,45	21,62	31,43	29,41
<i>Cuvette après une campagne</i>	0,28	0,48	0,03	9,65	5,83	10,35	3,45	2,96	22,02	33,92	27,30
<i>Cuvette après deux campagnes</i>	0,65	1,13	0,06	10,60	5,32	9,81	5,88	3,43	25,21	34,36	21,30

3.2.2 OUVRAGES CREUSES SUR LE BAS PLATEAU DE SINSAN

Les résultats des analyses physico-chimiques des échantillons du sol, prélevés au niveau des différents compartiments de la demi-lune, présentés dans le Tableau 5, montrent que le taux de matière organique a considérablement évolué après une campagne au niveau des Zaïs (3,50%) par rapport à l'impluvium (témoin) avant de s'abaisser après la deuxième campagne. Au niveau des tranchées sédimentées, on observe une augmentation du taux de matière organique de la première à la deuxième campagne. Le rapport C/N, a également évolué de l'impluvium aux Zaïs. Quant au pH, il a évolué de l'état d'acidité au niveau de l'impluvium (témoin) vers la neutralité au niveau des Zaïs et dans les tranchées sédimentées après deux campagnes. La texture reste sable limoneuse sur l'ensemble du profil. L'amélioration du taux de matière organique contribue à l'amélioration de la disponibilité des éléments nutritifs et à l'amélioration de la structure de ce sol.

Tableau 5. Evolution des paramètres physico-chimiques du sol au niveau des différents compartiments de la demi-lune sur le bas plateau de Sinsan

Compartiments de l'ouvrage	Carbone organique total	Matière organique totale	Azote total	C/N	pH eau	Argiles	Limons fins	Limons grossiers	Sables fins	Sables moyens	Sables grossiers
	%				1/2,5	< 2µm	2 à 20µm	20 à 50µm	50 à 200µm	200 à 500µm	> 500µm
<i>Impluvium</i>	0,48	0,82	0,05	10,32	4,05	13,78	7,15	4,59	31,43	25,84	17,21
<i>Zaïs après une campagne</i>	2,03	3,50	0,18	11,15	6,08	14,62	5,85	3,41	22,27	27,59	26,26
<i>Zaïs après deux campagnes</i>	1,34	2,30	0,12	11,00	5,13	10,55	9,08	4,42	23,38	28,77	23,80
<i>Cuvette après une campagne</i>	0,40	0,69	0,04	10,12	4,48	12,11	11,15	2,91	21,13	27,02	25,68
<i>Cuvette après deux campagnes</i>	0,96	1,65	0,09	10,85	5,00	9,73	10,21	10,70	25,74	27,64	15,98

Tous les compartiments des ouvrages réalisés et amendés avec du fumier (zaïs) ou avec les sédiments apportés (cuvettes) au cours des années de fonctionnement, ont connu une amélioration de leurs caractéristiques physico-chimiques de leur sol sur l'ensemble des sites. Le taux de matière organique très bas au niveau des impluviums (témoin) ont connu une amélioration

au niveau des différentes parties de la demi-lune notamment les zais et les cuvettes sédimentées. Le pH généralement acide au niveau des impluviums a évolué vers la neutralité au niveau de la demi-lune. Au niveau de ces unités, la texture semble devenir équilibrée et favorable à la rétention et la circulation des éléments nutritifs au niveau des horizons de surface, exploitables par les systèmes racinaires.

3.3 EFFETS DES DEMI-LUNES SUR L'AMELIORATION DE L'INFILTRATION SUR LES DIFFERENTS COMPARTIMENTS DE L'OUVRAGE SELON LES UNITES DE PLATEAU

Sur chaque unité paysagère, et au niveau de différents compartiments de la demi-lune (Impluvium, Zais, cuvettes) des tests d'infiltration ont été effectués à la réalisation des ouvrages, après une et deux saisons des pluies.

3.3.1 EFFETS DES DEMI-LUNES SUR L'AMELIORATION DE L'INFILTRATION DANS LE SOL DE PLATEAU DE GOUBEY

Les tests d'infiltrations effectués selon l'intervalle de temps (5 minutes), au niveau des différents compartiments de la demi-lune notamment l'impluvium, le zai et la cuvette, présentent une évolution de la vitesse d'infiltration ainsi que celle de la quantité d'eau infiltrée par unité de temps.

L'analyse de la Figure 7 montre que la vitesse d'infiltration varie selon les compartiments de l'ouvrage et avec la durée de fonctionnement (âge) de l'ouvrage. En effet, la vitesse d'infiltration, relativement plus importante au début du test pour l'ensemble des compartiments même si elle demeure très faible sur l'impluvium et le zai après confection par rapport aux autres parties de la demi-lune, diminue et se stabilise après 20 à 25mn d'infiltration. La Figure 7a montre que la vitesse d'infiltration (surtout en début de test) dans le zai augmente nettement avec la durée de fonctionnement de l'ouvrage. Quant à la Figure 7b, elle indique que la quantité d'eau infiltrée (en mm par heure sur une surface d'un m²) est plus importante sur les compartiments subissant la sédimentation (zai et cuvette) que sur l'impluvium.

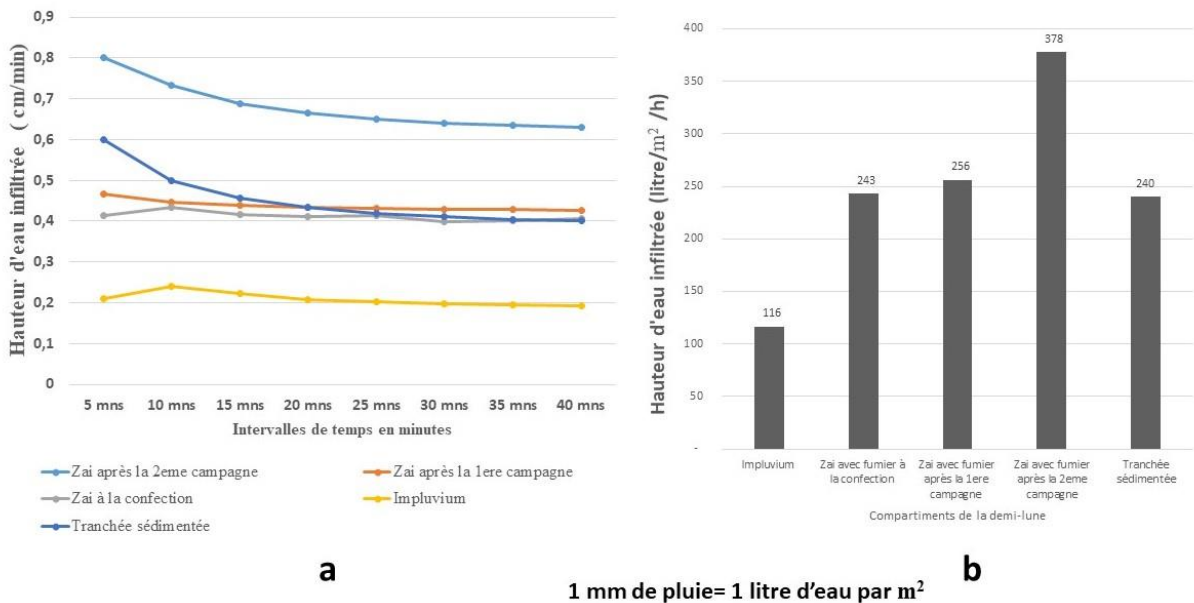


Fig. 7. Evolution de la vitesse d'infiltration sur le plateau de Goubey selon les compartiments de la demi-lune et l'âge de l'ouvrage

3.3.2 EFFETS DES DEMI-LUNES SUR L'AMELIORATION DE L'INFILTRATION SUR SOL DE BAS PLATEAU DE SINSAN

Trois tests d'infiltration ont été effectués à diverses périodes à savoir à la confection des ouvrages, après la première campagne et après la deuxième campagne. Les différents compartiments de la demi-lune à savoir l'impluvium, le zai et la cuvette ont été l'objet de ces tests (Figure 8).

Le résultat consigné dans la Figure 8 montre que la vitesse d'infiltration ainsi que la quantité d'eau infiltrée varient en fonction des compartiments et de la durée de fonctionnement de l'ouvrage après confection. La Figure 8 (a), montre que la vitesse d'infiltration diminue toujours plus élevée en début de test l'ensemble des compartiments de l'ouvrage diminue avec

la durée du test. Le résultat montre aussi que la quantité d'eau infiltrée est toujours plus importante dans les zaïs et ensuite dans la cuvette que dans les autres compartiments pour des périodes similaires de fonctionnement de l'ouvrage.

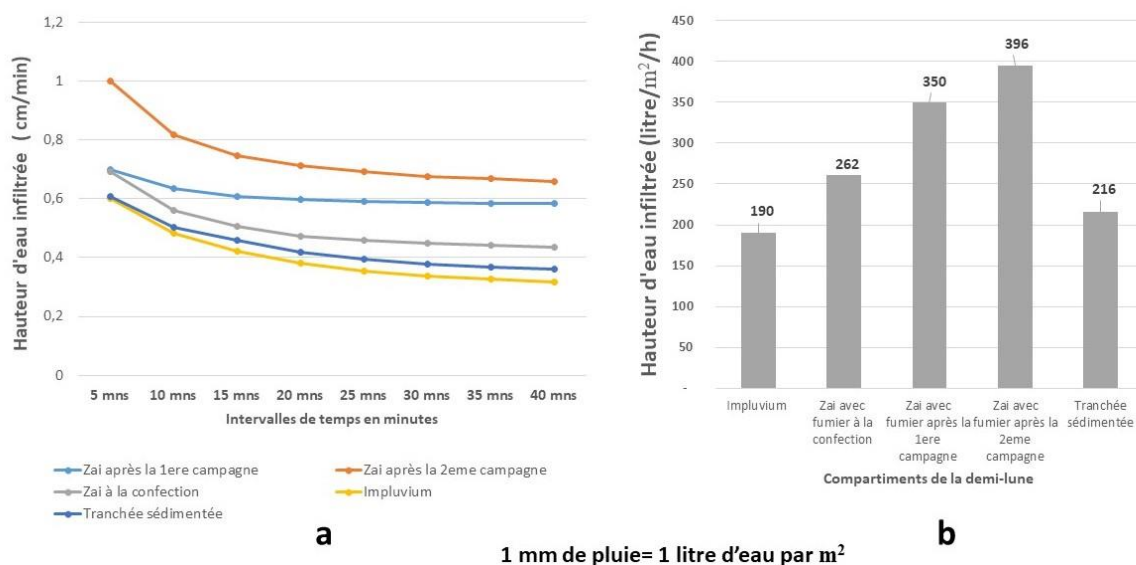


Fig. 8. Evolution de l'infiltration sur le bas plateau de Sinsan, selon les compartiments de la demi-lune et selon la durée de fonctionnement de l'ouvrage

4 DISCUSSION

CARACTÉRISTIQUES MORPHO PÉDOLOGIQUES DES UNITÉS PAYSAGÈRES

Les caractéristiques du plateau de Goubey (Figure 5) sont proches de celles des plateaux cuirassés de Banizoumbou décrites par [5] qui stipule que « les plateaux cuirassés sur lesquels se développent des sols peu épais (de 35 à 60 cm), très graveleux à partir de 20 centimètres de profondeur et relativement riches en argile de type kaolinite (15 à 45 %) ». Ces résultats sont conformes également à la description des sols de plateaux faite par [11] qui montre que « La majorité des sols des plateaux se sont développés sur des grès ferrugineux du Continental Terminal. En général, ces sols sont peu profonds. Sous une épaisseur ne dépassant que rarement les 100 cm s'étend une dalle de grès alvéolée ».

EFFETS DES DEMI-LUNES SUR LES CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS DES COMPARTIMENTS DE L'OUVRAGE SELON LES UNITÉS DE PLATEAUX

La diminution du taux de matière organique avec la profondeur du profil observée peut être liée à la faible incorporation des débris végétaux et des déjections des animaux contribuant probablement à la réduction l'acidité dans l'horizon de surface.

L'amélioration du taux de matière organique observée au niveau des Zaïs après une campagne est probablement liée à l'apport de la fumure organique effectué à la réalisation de l'ouvrage et au piégeage des débris végétaux par les Zaïs, ce dernier phénomène ayant aussi l'amélioration de la teneur en matières organiques observée dans les cuvettes sédimentées. Cet aspect a été rapporté par [2] qui stipule que: « Grâce à la matière organique apportée dans les ouvrages et à la sédimentation des particules transportées par l'eau et le vent, on observe une reconstitution des propriétés physico-chimiques du sol. Cette sédimentation est non seulement favorisée par le rôle de piège joué par les trous des ouvrages (zaïs, cuvettes, etc.) mais aussi par les espèces végétales (herbacée et ligneuse) croissant dans l'ouvrage ». Les taux moyens de matière organique obtenus au niveau des Zaïs après une campagne varient entre 1,03 à 3,5%, nettement supérieurs à ceux obtenus par [13] qui varient entre 0,5 à 1% dans les ouvrages de 2017 et 2016. La diminution du taux de cette matière organique après la deuxième campagne serait liée à sa minéralisation ce qui a permis de libérer les éléments nutritifs pour les cultures.

Quant à l'amélioration de l'état du pH d'extrêmement à légèrement acide, elle peut être liée à l'augmentation du taux de matière organique observée dans les Zaïs. Ce résultat corrobore ceux obtenus par [13] qui stipule que « les sols des sites de

Dargué (Chadakori) ont un pH < 6,5 donc sont légèrement acides » et par [18] qui affirme que « les propriétés chimiques du sol ont connu des améliorations sensibles et le pH a atteint une valeur avoisinant 6,5 dans les poquets de zaï ».

EFFETS DES DEMI-LUNES SUR L'AMÉLIORATION DE L'INFILTRATION SUR LES DIFFÉRENTS COMPARTIMENTS DE L'OUVRAGE SELON LES UNITÉS DE PLATEAUX

L'augmentation de la vitesse d'infiltration observée sur les sols des plateaux et au niveau des différents compartiments de la demi-lune, est liée à l'amélioration des propriétés physiques et chimiques du sol, notamment le taux de matière organique, la structure poreuse créée par le développement de l'activité biologique, qui évoluent avec le temps dans les Zaïs et la cuvette de l'ouvrage. Cette hypothèse est appuyée par les travaux de [9] et [12] qui lient l'amélioration sensible de la vitesse d'infiltration à l'amélioration de la porosité du sol due l'activité biologique (termites, racines des végétaux) crée dans ces compartiments de l'ouvrage. Selon les résultats obtenus par [19] dans le bassin Tleta au nord-ouest du Maroc: « La teneur en matière organique du sol est fortement corrélée à l'infiltration finale ». La faible vitesse d'infiltration observée dans la cuvette est due au fait que le test effectué juste à la confection de l'ouvrage a été fait sur la dalle cuirassée atteinte à 40 cm de profondeur ». Ce résultat corrobore celui obtenu par Karim (2001) cité par [14] qui stipule que la présence de la dalle à 50 cm de profondeur et souvent à 30 et 40 cm sur les plateaux latéritiques, limiterait considérablement l'infiltration. L'amélioration de la vitesse d'infiltration observée au niveau de la cuvette après sédimentation est liée à l'accumulation des sédiments riches en éléments fins et autres débris végétaux piégés, qui ont favorisé le développement d'une nouvelle couche de sol meuble à texture plus équilibrée. Quant à la faible vitesse d'infiltration observée sur l'impluvium, elle serait probablement liée à l'état de surface (croutes d'érosion) qui rend le sol imperméable. Plusieurs écrits ont confirmé cette hypothèse, dont celui de [17] qui stipule que: « les croûtes altèrent fortement les propriétés des sols en réduisant leur capacité d'infiltration ». Les travaux de [3] indiquent également que « le développement des croûtes implique une stratification verticale du sol et une faible infiltration, de l'ordre de 10 mm/h sur la croûte ». D'après la référence [15]: « la formation d'une croûte à la surface du sol aurait tendance à « sceller » la surface, nuisant ainsi l'infiltration de l'eau ».

5 CONCLUSION

Les résultats de cette étude ont fait ressortir les effets des demi-lunes sur l'amélioration des caractéristiques physico-chimiques du sol. En effet les analyses des échantillons du sol ont montré que l'implantation des demi-lunes peut contribuer à l'amélioration du taux de matière organique total du sol, le pH et l'azote total, dont le maintien serait conditionné par un apport régulier des fumures organiques. Les tests d'infiltration ont également prouvé que les demi-lunes ont un rôle important à jouer dans l'amélioration de l'infiltration, la réduction du ruissellement et le captage et piégeage d'une quantité importante des sédiments. Il est également important de relever que ces effets des demi-lunes sont appréciés différemment selon la typologie du sol c'est-à-dire la nature de l'unité paysagère traitée. La technique de demi-lune multifonctionnelle peut être utilisée dans la lutte contre l'érosion à travers compartiments de l'ouvrage (les cuvettes et les zaïs) qui contribuent à l'amélioration de l'infiltration, le piégeage des sédiments et des débris organiques.

CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'il n'existe aucun conflit d'intérêts entre eux.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Seidou Ousmane Idrissa et Tidjani Adamou Didier ont rédigé le manuscrit.

Ambouta Karimou Jean-Marie a contribué à la correction et à l'amendement du manuscrit.

REMERCIEMENTS

Les auteurs adressent leurs sincères remerciements au Programme Alimentaire Mondial (PAM) et à l'ONG Garkua pour leurs soutiens financiers dans le cadre de la réalisation de cette étude.

REFERENCES

- [1] Abdoulaye T., Amoukou, I.A., Baoua, I., et Dan Lamso, N., 2006. Impacts des investissements dans la gestion des ressources naturelles (GRN) au Niger. Rapport de synthèse 1. Niamey, Niger: UAM, p. 65.
- [2] Abdou, M O., 2018. Effets des travaux de récupération des terres sur la résilience des communautés dans le secteur de Darey, commune de Tondikiwindi/Ouallam. Mémoire de fin de cycle. Niamey, Niger: Université UAM de Niamey, p. 95.
- [3] Abdou, M., 2020. Caractéristiques de l'encroûtement des sols et ses conséquences socio-environnementales dans la Région de Tillabéri (Niger) ', p. 17.
- [4] Antoine D., d'Yves F., Marcel B., Carole C. et Cécile R., 2008. Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols. Chambre d'agriculture, TARN, p. 37.
- [5] Ambouta, J.M K., 1996. Jachères et croûtes d'érosion au Sahel', VOL. 7 (no4, décembre 96), pp. 7; 269–75.
- [6] CNEDD (Conseil National de l'Environnement pour un développement durable), 2018. Processus de définition des cibles de neutralité en matière de dégradation des terres. Rapport final du programme de définition des cibles de NDT. Rapport final de programme 1. Niamey, Niger: MHE/LCD, p. 48.
- [7] D'Herbès, J.-M., Ambouta, J.-M.K. and Peltier, R., 1997. Evolution de la végétation spontanée sur plateaux latéritiques traités par des travaux anti-érosifs dans le département de Dosso (Niger) ', in Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens. John Libbey Eurotext. Paris (John Libbey Eurotext), pp. 235–246.
- [8] Djabri H-H., Maman M-A. et Zoubeirou A- M., 2020. Caractérisation du sol du site dégradé de Sakey koira Tegui au Niger pour un meilleur reboisement avec *Acacia senegal*. Int. J. Biol. Chem. Sci. 14 (4): 1470-1478. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v14i4.24>.
- [9] Dosso K. et Kone F., 2016. Influence de l'activité des termites sur les propriétés du sol dans la région de Lamto (Côte d'Ivoire): mesure de la vitesse d'infiltration de l'eau et de la quantité de matière organique en conditions expérimentales. Journal of Applied Biosciences 105: 10203 –10214. <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v105i1.16>.
- [10] Framework, the L.D.S. (2018) 'Guide de Terrain', p 14.
- [11] Guéro, Y. and Michel, E., 2000. Conservation et gestion des eaux et des sols au Niger: durabilité écologique du système de production agricole nord-sahélien. Rapport d'étude 1. Niamey, Niger: Université UAM de Niamey, p. 122.
- [12] Kaboré, TV-R., 2016. Humidités caractéristiques et rendements des sols du site expérimental de Tougou. Mémoire de fin de cycle 2. Burkina Faso: 2iE, p. 48.
- [13] Kanfo, MS., 2018. Effets des demi-lunes sur la restauration écologique des terres dégradées du village de Dargué (Chadakori). Mémoire de Master. Niamey, Niger: UAM, p. 100.
- [14] Laminou MO., Amani, A., Dan Guimbo, I., Rachidi, AH. et Mahamane, A., 2020. Impacts des banquettes dans la récupération des terres dégradées au Niger', Journal of Applied Biosciences, 151, pp. 15510–15529. Available at: <https://doi.org/10.35759/JABs.151.1>.
- [15] Ritter, J., 2012. L'érosion du sol-Causes et effets. COMMANDE NO 12-054 AGDEX 572/751, p. 8.
- [16] Roose, E., Blancaneaux, P. and Freitas, P.L., 1993. Un simple test de terrain pour évaluer la capacité d'infiltration et le comportement hydrodynamique des horizons pédologiques superficiels : méthode et exemples', p. 7.
- [17] Valet, S., Coustumer, P.L. and Motelica-Heino, M., 2008. Rôle de l'encroûtement superficiel des sols sur leur fonctionnement hydrique : Conséquences hydrologiques et hydro-pédologiques', p. 9.
- [18] Yaméogo, J.T., Somé, A.N., Mette, A. L., Hien, M. et Nacro, H.B., 2013. Restauration des potentialités de sols dégradés à l'aide du zaï et des cordons pierreux à l'Ouest du Burkina Faso, p 7'.
- [19] Zaher, H. Zouhri, M., Benjelloun, H., Chikhaoui, M., Naimi, M., et Sabir M., 2021. Impact du changement de l'occupation des sols sur l'érosion hydrique et le comportement hydrologique des sols: Cas du bassin Tleta au nord-ouest du Maroc', p. 8.

Assessing Meteorological and Hydrological Drought over Massili Basin Based on Pedj Drought Index (PDI), Standardized Streamflow Index (SSI), the Non-stationary Standardized Precipitation Index (NSPI)

Tog-Noma Patricia Emma Bontogho¹, Aményon Akakpo², Olayemi Ursula Charlène Gaba³, and Remo Kientega⁴

¹High Institute of Sustainable Development, University of Fada N’Gourma, Fada N’Gourma, Burkina Faso

²Department of Agricultural and Resource Economics, University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada

³National Institute of Water, University of Abomey-Calavi, Calavy, Burkina Faso

⁴Sustainability and Innovation, Development, Equity, Sustainability and Innovation, Ouagadougou, Burkina Faso

Copyright © 2024 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: Water availability and accessibility are major challenges in arid and semi-arid regions. Addressing the knowledge gaps regarding water resources is a critical step toward resolving this issue. This study seeks to investigate hydrological and meteorological drought patterns across the Massili basin in central Burkina Faso. The method was based on the estimation of Pedj Drought Index (PDI), the Non-Stationary Standardized Precipitation Index (NSPI), the Standardized Streamflow Index (SSI), and the Precipitation Index (P index). Monthly data on flow discharge (1975-2021), precipitation, and mean temperature (1960-2021) were collected and analyzed. These data were used to derive the indices and identify the characteristics of past droughts over the watershed. Results indicate severe droughts occurred in 1974, 1982, 2002, and 2010, while milder droughts were observed in 1984, 1997, 2000, 2001, and 2006. These results highlight critical drought periods in the Massili basin, with significant implications for water resource management and the development of adaptation strategies in this arid region. A deeper understanding of historical droughts can help strengthen local communities' resilience to climate variability.

KEYWORDS: Drought, Standardized Streamflow index, Pedj drought index, Massili basin, P index.

1 INTRODUCTION

Drought is defined as a period of abnormally dry weather long enough to cause a serious hydrological imbalance [1]. In a study published by [2], drought is described as a prolonged period of abnormally low precipitation that results in a significant shortage of water resources. The severity of a drought is mainly determined by its duration, geographic extent, and its impact on local ecosystems, agriculture, and human populations. Many studies have highlighted West Africa's vulnerability to drought due to its climate and geographical location ([3], [4], [5]). In Niger for instance more than 15 severe droughts episodes with devastating consequences were identified between 1900 and 2015, as stated by [6]. In addition, [7] stated that drought was dominated the early 19th century across Mali due to decreased rainfall. Then, [8] reported that several multi-year droughts have occurred in the early 20th century in central Mali. Burkina Faso, a semi-arid country, has faced recurring droughts since the 1970s. As noted by [9], the country has experienced a significant decline in annual rainfall. The most severe droughts occurred in 1973-1974 and 1983-1984. Additionally, [10] identified 2011, 2012, 2014, and 2020 as years with significant rainfall deficits. Drought is a recurring and severe issue in the Massili Basin since rainfall deficits have been observed in the basin [11], [12]. This phenomenon significantly impacts the livelihoods of local communities, particularly those reliant on agriculture and pastoralism. Conventional approaches to address meteorological and hydrological droughts can be found in the literature. For instance, Percentile-based indices, such as Q95, have been widely used for streamflow drought hazard estimation.

Standardized precipitation index (SPI) recommended by the World Meteorological Organization (WMO) as stated by [13] is commonly used as a drought indices in many studies ([14], [15], [16]). Additionally, Palmer drought severity index (PDSI) introduced by [17] is widely used to identify meteorological drought worldwide ([18], [19], [20]). The Standardized reservoir storage index (SRSI) were also used by many scholars for hydrological drought detection ([21], [22], [23]). The accuracy of an index for drought detection depends primarily on its ability to reproduce drought conditions in a specific region. This requires the index to be robust, tractable, transparent, sophisticated, extensible, and consider dimensionality as stated by [24], [25], [26]. The overall goal of this study is to investigate hydrological and meteorological of Massili basin. The study aims to address the following specific questions: What are the predominant drought patterns in the Massili basin? How do hydrological and meteorological drought indices vary over time in the basin? When were the most severe drought events observed in the Massili basin? What is the ability of drought indices in reproducing drought events within the Watershed? To reach this objective, four drought index were used to investigate the inter-annual characteristics of drought and humidity in Massili watershed during 1960–2021. The Pedj Drought Index (PDI) introduced by [27] employs two climatic variables (precipitation and temperature) to evaluate drought in many regions even in areas with limited meteorological stations and short data record. PDI based on precipitation and temperature is certainly used worldwide but its ability to reproduce drought in Burkina Faso is yet to be reported. Standardized streamflow index (SSI) is an hydrological drought index described as a standardized anomaly index based on aggregated discharge [28]. The non-stationary Standardized Precipitation Index (NSPI) recently developed by [29] estimated a time dependent SPI by fitting a non-stationary gamma model to observed rainfall using a Generalized Additive Model in Location, Scale and Shape (GAMLSS) where the location parameter of the distribution varied only with time.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 STUDY AREA AND DATA DESCRIPTION

The Massili basin is located in central Burkina Faso, covering an area of 2,612 km² (figure 1). The watershed is bounded by latitudes 12°17'–12°50' north and longitudes 1°15'–1°55' west. The Massili is situated within two reference watersheds. Nationally, the basin is a sub-basin of the Nakambe Watershed. At the international scale, Massili basin is a part of the trans-boundary Volta Basin. The Massili Basin comprises several sub-basins, with the most significant being Donse (175 km²), Pabre (210 km²), Kamboince (125 km²), Ouagadougou (350 km²), and Loumbila (2120 km²). The Massili Basin was selected for this study due to the presence of the Loumbila Dam, a crucial water supply source for Ouagadougou, the capital of Burkina Faso. Consequently, droughts in this region can directly influence water supply, while floods can hinder urban activities. The basin experiences an average temperature of 13.9 °C and receives an average annual precipitation of 900 mm. Rainfall as well as temperature exhibit high variability on intra-seasonal to decadal timescales. Rainfall in the Massili basin follows a unimodal regime with a short rainy season and a long dry season. The topographic elevation of the area ranges from 250 to 300 meters above mean sea level. The Massili River is a major tributary of the Nakambe River, which irrigates several countries in West Africa, including Benin, Burkina Faso, Ivory Coast, Ghana, Mali, and Togo.

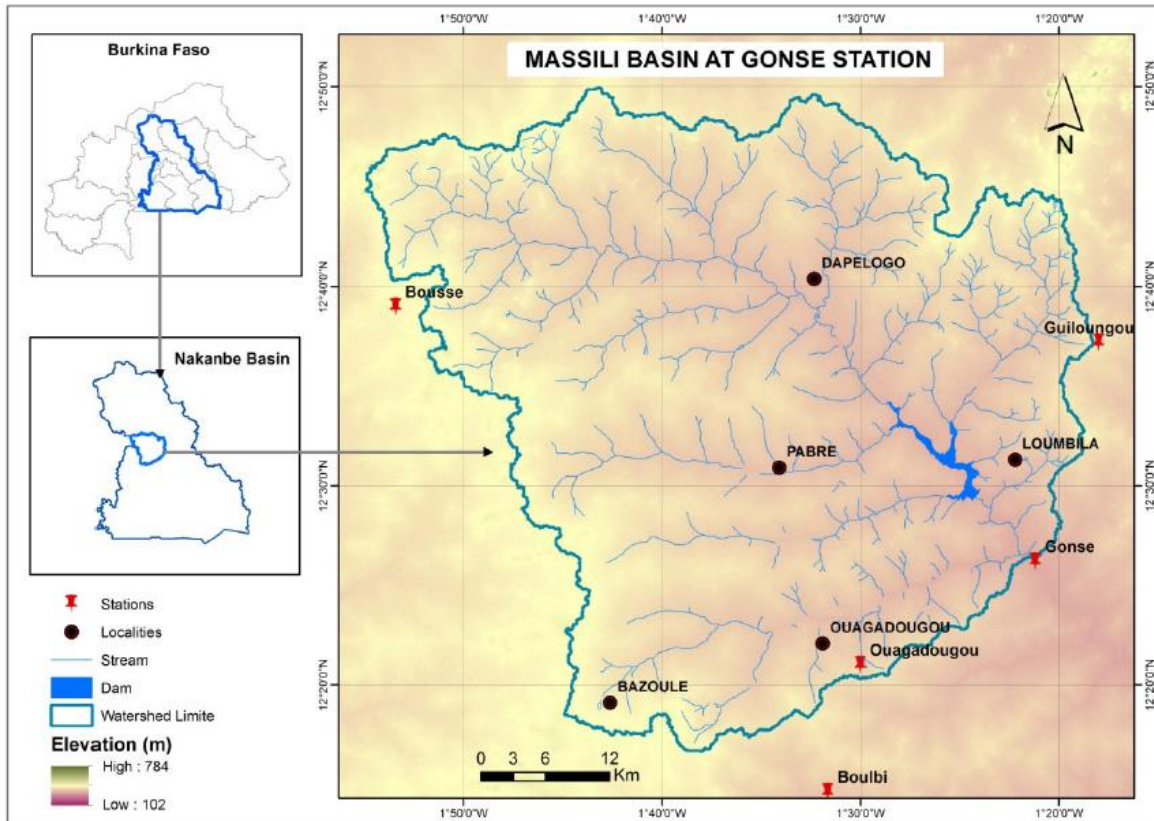


Fig. 1. Localisation of Massili basin

Source: BNDT/IGB Patricia BONTOGHO

2.2 CLIMATIC DATA

This research investigates the hydrological and meteorological drought within Massili watershed. For this purpose high quality climatic dataset, including rainfall and temperature at a monthly time scale was provided by the National Agency of Meteorology of Burkina Faso. In addition, streamflow data used to estimate the hydrological drought based on SSI method were collected from the National Agency of Water Resources of Burkina Faso. The rainfall and precipitation time series are 61 years long (from 1960 to 2021) for Ouagadougou station while the streamflow records were 46 years long (from 1975 to 2021) for Gonse station. Basic statistical details for the climate dataset used in this study are presented in Table 1.

Table 1. Basic statistics of climate dataset

	Min	1st Qu	Median	Mean	3rd Qu	Max	sd
Precipitation (mm)	571.1	676.3	764.3	783.9	858.0	1183.2	138.79
Tmean (°C)	27.59	28.19	28.66	28.80	29.22	31.62	0.84
Discharge (m ³ /s)	0.00	0.00	0.39	2.77	3.549	34.28	4.86

2.3 PEDJ DROUGHT INDEX (PDI)

The Pedj drought index (PDI) developed by [30] is used in this study to analyze the characteristics of drought in the study area. This drought index evaluates the implication of precipitation and temperature variation on drought and humidity characteristics over a given area. The PDI is expressed as:

$$PDI = SAI_{Tm} - SAI_{pr}$$

SAl_{Tm} stands for the standardized anomaly indices of mean temperature and is calculated as:

$$SAI_{Tm} = \frac{(x - \bar{x})}{s}$$

Where x is a recorded temperature of a particular year, \bar{x} is the mean temperature of all the year records, and s is the standard deviation of temperature.

SAl_{pr} stands for the standardized anomaly indices of precipitation on the annual scale at the given meteorological station

$$SAI_{pr} = \frac{(x - \bar{x})}{s}$$

Where x is a recorded precipitation of a particular year, \bar{x} is the mean precipitation of all the year records, and s is the standard deviation of precipitation.

Table 2. Classification of Pedj drought index

Drought	Abbreviation	PDI range
Extreme drought	D ₄	More than 3
Severe drought	D ₃	2-3
Moderate drought	D ₂	1-2
Light drought	D ₁	0-1
Normal	N	0
Light humidity	H ₁	0 to -1
Moderate humidity	H ₂	-2 to -1
Severe humidity	H ₃	-3 to -2
Extreme humidity	H ₄	Less than -3

2.4 THE NON-STATIONARY STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX (NSPI)

In addition to the PDI, the non-stationary Standardized Precipitation Index (NSPI) has been applied in this study to evaluate the characteristics of droughts in the study area. It employs a statistical model namely Generalized Additive Model for Location, Scale and Shape (GAMLSS) approach which has been developed by [27]. GAMLSS is computed as:

$$g_k(\theta_k) = X_k \beta_k + \sum_{j=1}^{J_k} h_{jk}(x_{jk})$$

Where:

$k = 1, 2$; θ_1 and θ_2 are the location and scale parameters of the gamma distribution with the link functions g_1 and g_2 respectively;

X_k is a matrix of explanatory variables of order $N \times J_k$ (J_k is the number of the covariates, and N is the length of the covariate vector); $\beta_k (\beta_{1k}, \dots, \beta_{jk})$ is length of parameter vector (jk); and h_{jk} represents the function of the distribution parameters on the covariates x_{jk} . The function can be linear or smooth through smoothing terms.

The ability of the GLASSM model to fit precipitation dataset is assessed based on Global Deviance (GD), the Aikaice Indice criterion (AIC) and the Schwarz Bayesian Criterion (SBC). Akaike information criterion (AIC) is defined as a metric used to compare the goodness of fit for different regression models, were applied to retrieve different combinations of covariates. Then the best fitted GLASSM model with the low value of AIC was selected as the best combination.

The AIC is expressed as:

$$AIC = 2K - 2 \ln(L)$$

Where K represents the number of model parameters and ln (L) stands for the log-likelihood of the model. This tells us how likely the model is, given the data.

2.5 STANDARDIZED STREAMFLOW INDEX (Ssi)

In this study, the SSI suggested by [31] was adopted to estimate the hydrological drought condition over Massili basin. The Standardized streamflow Index (SSI) is estimated based on the aggregation of discharge data over a user-defined accumulation period (often 1, 3, 6, 12 or 24 months). Furthermore, a probability distribution function is fitted to the aggregated discharge data for each time-scale. The calculated SSI value represents the number of standard deviations away from the typical accumulated discharge and provide indication of hydrological drought severity over a given watershed. Monthly features of the SSI were then calculated and were aggregated on a yearly basis.

The monthly SSI metric is defined as the difference between a flow value and the streamflow mean divided by the streamflow standard deviation

$$SSI_i = \frac{(Q_i - \bar{Q})}{\sigma}$$

Where Q_i is the mean discharge of month i , Q is the arithmetic mean of discharge, and σ is the standard deviation of discharge. Positive values signify higher-than-average flows, whereas negative values indicate dry periods. The drought severity classification of the SSI adopted from [32] is shown in Table 3.

Table 3. Classification of drought based on the SSI

Class	Severity
$SSI \geq 0.0$	No-Drought
$-1.0 \leq SSI < 0.0$	Mild Drought
$-1.5 \leq SSI < -1.0$	Moderate Drought
$-2.0 \leq SSI < -1.5$	Severe Drought
$SSI \leq -2.0$	Extreme Drought

2.6 ESTIMATION OF P INDEX

[33] defined Percentage (P) as a drought index used to estimate the percentage of a long-term mean precipitation in the study area. According to [34] the drought occurred when the percentage of the precipitation is less than 80% of the long-term mean value. Index P is expressed as precipitation versus long-term mean precipitation multiplied by 100%.

Table 4. The drought criteria proposed for Percentage (P) indices

Indexes P	Drought categories
80-70%	Mild
70-60%	Moderate
60-50%	Severe
50%	Extreme

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 PEDJ DROUGHT INDEX (PDI)

Fig. 2 shows a trend of increasing drought severity in the Massili basin between 1960 and 2021. Drought in the study area is influenced by rainfall. Indeed, drought is primarily caused by insufficient rainfall. However, the severity of drought can be influenced by the intensity and distribution of rainfall, as well as high temperatures and low humidity, which increase evaporation rates. The annual Pedj Drought Index (PDI) values have exhibited a significant upward trend over this period, with correlation coefficient of 0.58. This indicates a gradual decline in rainfall and a corresponding increase in arid conditions. Two distinct periods can be identified within this trend: a wet period from 1962 to 1976, followed by a dry period that extended from 1977 to 2020. However, a slight recovery in rainfall is observed between 2012, 2015 and 2016. Extreme humidity events

were recorded in 1962 (-3.9), 1964 (-3.2), 1972 (-3.02), and 1977 (-3.74). In recent years, the drought has intensified significantly, with PDI values reaching 2.66 in 2018, 2.40 in 2019, and 2.32 in 2020. Based on the PDI classification, these values indicate a severe drought emergence was notified in recent years. Overall, the Massili basin has experienced a substantial increase in drought severity in recent years. This trend has important implications for the watershed’s resource management, agriculture, and ecosystems conservation.

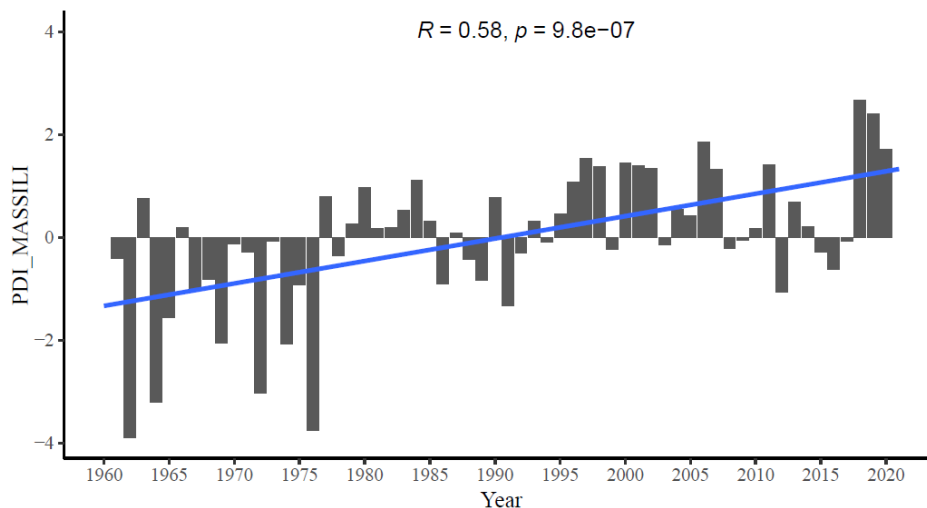


Fig. 2. PDI across Massili basin

STANDARDIZED STREAMFLOW INDEX (SSI)

Figure 3 depict the variability of the SSI over Massili basin. A general slight rising trend in the values of the standardized streamflow index in Massili river basin is observed (R=0.57) during the period 1960-2021. The highest and lowest values of SSI are 3.71 (2015) and -0.78 (1978), respectively. The higher values identified indicated that the basin has been affected by recent compound event (increase in rainfall and runoff). Excluding 2017 and 2019, the watershed has experienced continuous wet conditions from 2007 to 2021. This finding is in agreement with a study released by many scholars in the watershed ([35], [36]). This indicate that historical frequent flows have been experienced in the basin. This research aligns with the findings of [37] who reported more frequent and intense floods within the Nakambe basin. They noticed that the increased runoff can be attributed to the factors such as population growth and a significant decline in natural vegetation which, replaced by agricultural land and bare soil is make higher runoff coefficients.

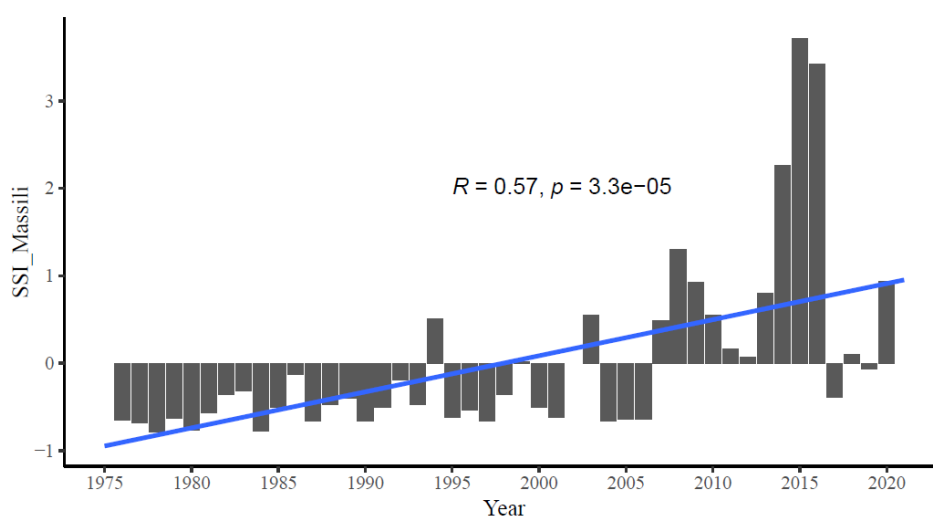


Fig. 3. Non-stationary Standardized Precipitation Index

Figure 4 provides some insight on the NSPI temporal oscillation over the Massili basin (1975-2021). Historical droughts characteristics is presented in figure 4 below. Severe droughts were identified in 1974, 1982, 2002 and 2010. However 2004 (2.1) and 2020 (2.75) are detected as the periods with large NSPI values, indicating that the basin saw more frequent high flows in recent years. Similar findings have been reported in many studies over Nakambe basin ([38], [39]). Flooding in the Massili Basin is mainly influenced by rainfall patterns, often occurring during the rainy season. However, flood is also a result of compounding factors such as urbanization and deforestation. Indeed, Ouagadougou, the capital of Burkina Faso, is located within the Massili Basin and is undergoing rapid urbanization. This urbanization leads to soil compaction, which increases runoff. Additionally, populations with limited economic resources often build informal settlements in flood-prone areas, putting them at risk during flood events. The conversion of forests into cultivated land is a significant contributor to flooding in the watershed. For instance Between 2007 and 2019, the basin experienced a substantial increase in cultivated land (8.97%). Deforestation accelerates water flow, contributing to increased flood occurrences.

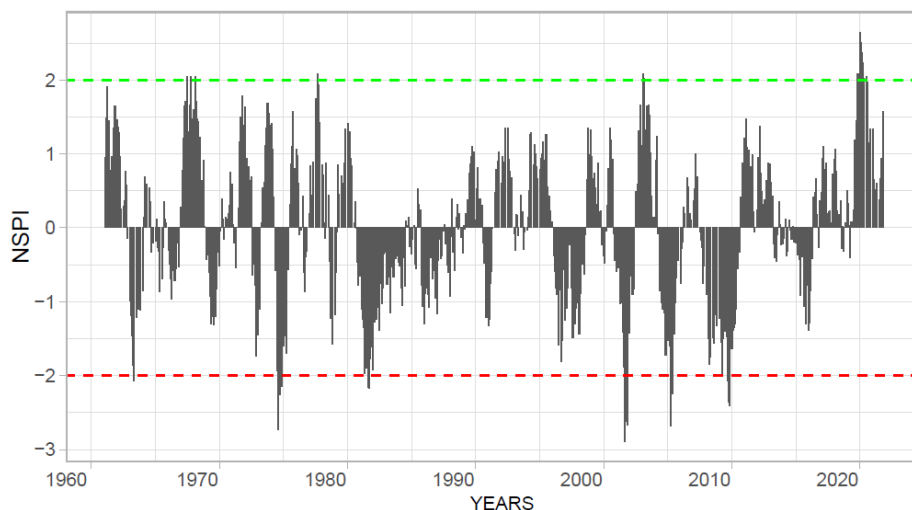


Fig. 4. NSPI variability within Massili basin from 1960 to 2021

Table 5 presents the minimum values of global deviance (GD), the Akaike Index criterion (AIC) and the Schwarz Bayesian Criterion (SBC) for the non-stationary model with climate indices as covariates. Among the three GAMLSS models evaluated, model 3 (GD = 3436.794) exhibited the best performance compared to model 1 (GD = 3436.847) and 2 (GS = 3436.795). Consequently, model 3 was selected as the most suitable for fitting precipitation observations and estimating the NSPI in the Massili basin.

According to [40] a drought is confirmed when the P index value is less than 80%. Using this criterion, mild droughts were identified in the Massili basin only during the years 1984, 1997, 2000, 2001, and 2006, with P values of 73%, 75%, 76%, 79%, and 76%, respectively. An analysis of the temporal oscillatory patterns in the PDI, SSI, and NSPI revealed a strong degree of consistency between the indices. All three indices exhibited similar upward and downward trends during the study period, suggesting their ability to effectively capture both meteorological (PDI, NSPI, P) and hydrological (SSI) drought conditions within the Massili basin

Table 5. GD, AIC and SBC NSPI within Massili basin from 1960 to 202

	GAMLSS-RS iteration 1	GAMLSS-RS iteration 2	GAMLSS-RS iteration 3
Global Deviance	3436.847	3436.795	3436.794
AIC	3381.61	3381.57	3381.56
SBC	3399.2	3399.2	3399.2

4 CONCLUSION

Understanding the watershed specific issues is essential for effective watershed management. This study evaluated flood and drought hazards in central Burkina Faso by analyzing flood and drought over the 1960-2021 period, using both

meteorological and hydrological data. The PDI analysis revealed that 1962 was predominantly associated with drought events (-3.90) in the Massili basin. The highest and lowest SSI values recorded were 3.71 (in 2015) and -0.78 (in 1978), respectively. Based on NSPI analysis, severe droughts were observed in 1974, 1982, 2002 and 2010. The results identified two distinct periods: a wet period and a more recent dry period, separated by a few years of recovery. The Massili Basin is experiencing a dynamic hydrological regime, characterized by both increasing drought and flood risks. These contrasting trends highlight the need for integrated water resource management strategies that address both extremes. By understanding historical drought patterns and employing robust indices, this research contributes to the development of informed water management strategies and resilient planning in the face of climate variability. Further study will focus on the potential impacts of various climate change scenarios on flood and drought risks.

REFERENCES

- [1] V. P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield, «Global Warming of 1.5°C». *In Press*, 2018.
- [2] L. M. Tallaksen and H. A. J van Lanen, «Hydrological Drought Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater», *Developments in Water Science*, 48, Elsevier B.V., Amsterdam, 2004.
- [3] R. Kasei, B. Diekkrüger and C. Leemhuis, «Drought frequency in the Volta basin of West Africa», *Sustainability science*, 5, 89-97, 2010.
- [4] S. Adaawen, «Understanding climate change and drought perceptions, impact and responses in the rural Savannah, West Africa ». *Atmosphere*, 12 (5), 594, 2021.
- [5] M. Henchiri, T. Igbawua, T. Javed, Y. Bai, «Meteorological drought analysis and return periods over north and west africa and linkage with el niño–southern oscillation (Enso) ». *Remote Sensing*, 13 (23), 4730, 2021.
- [6] Z. S. Abdourahmane and R. Acar, «Analysis of meteorological drought variability in Niger and its connection with climate indices». *Hydrological Sciences Journal*, 63, 2018.
- [7] S. E. Nicholson, «Sub-saharan rainfall 1981–84», *Journal of climate and applied meteorology*, 24 (12), 1388-1391. (8), 1203-1218, 1985.
- [8] Jacobberger, «Drought-related changes to geomorphologic processes in central Mali», *Geological Society of America Bulletin*, 100 (3), 351-361,1988.
- [9] T. Lodoun, M. Sanon, A. Giannini, P.S Traoré, L. Somé and J.M. Rasolodimby, «Seasonal forecasts in the Sahel region: the use of rainfall-based predictive variables», *Theoretical and applied climatology*, 117, 485-494, 2014.
- [10] A. Crawford, H. Price-Kelly, Terton, A., & Echeverría, D, «Review of current and planned adaptation action in Burkina Faso, 2016».
- [11] B. Ibrahim, H. Karambiri, J. Polcher, H. Yacouba and P. Ribstein, «Changes in rainfall regime over Burkina Faso under the climate change conditions simulated by 5 regional climate models», *Climate Dynamics*, 42, 1363-1381,2014.
- [12] T.N.P.E. Bontogho, M.M.R. Kansole, M. Kabore and M. Guira, «Patterns of Meteorological Drought Using Standardized Precipitation Evapotranspiration Index for Massili Basin, Burkina Faso», 2022.
- [13] M. Svoboda, M. Hayes and D. Wood, «Standardized precipitation index», *user guide*, 2012.
- [14] J. H. Stagge, L.M. Tallaksen, L. Gudmundsson, A.F. Van Loon and K. Stahl, « Candidate distributions for climatological drought indices (SPI and SPEI)», *International Journal of Climatology*, 35 (13), 4027-4040,2015.
- [15] L. Li, D. She, H. Zheng, P. Lin and Z.L. Yang, «Elucidating diverse drought characteristics from two meteorological drought indices (SPI and SPEI) in China», *Journal of Hydrometeorology*, 21 (7), 1513-1530,2020.
- [16] C. Faye, «Comparative analysis of meteorological drought based on the SPI and SPEI indices», *HighTech and Innovation Journal*, Vol. 3, Special Issue, 2022.
- [17] W. C. Palmer, «Meteorological drought», (Vol. 30). *US Department of Commerce, Weather Bureau*.
- [18] N. Wells, S. Goddard and M.J. Hayes, «A self-calibrating Palmer drought severity index», *Journal of climate*, 17 (12), 2335-2351,1965; 2004.
- [19] J.Mika, S.Z. Horvath, L. Makra and Z. Dunkel, «The Palmer Drought Severity Index (PDSI) as an indicator of soil moisture», *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 30 (1-3), 223-230,2005.
- [20] A. Dai, «Characteristics and trends in various forms of the Palmer Drought Severity Index during 1900–2008», *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116 (D12), 2011.
- [21] M. Gusyev, A. Hasegawa, J. Magome, D. Kuribayashi, H. Sawano and S. Lee, «Drought assessment in the Pampanga River basin, the Philippines–Part 1: Characterizing a role of dams in historical droughts with standardized indices», *In Proceedings of the 21st international congress on modelling and simulation (MODSIM 2015), November 29th–December 4th, Queensland, Australia, 2015*.

- [22] Y. Wang, T. Peng, Q. Lin, V. P. Singh, X. Dong, C and G Wang, «A new non-stationary hydrological drought index encompassing climate indices and modified reservoir index as covariates», *Water Resources Management*, 36 (7), 2433-2454,2022.
- [23] J. Zhou, X. Chen, C. Xu and P. Wu, «Assessing socioeconomic drought based on a standardized supply and demand water Index», *Water Resources Management*, 36 (6), 1937-1953,2022.
- [24] A. Frank, T. Armenski, M. Gocic, S. Popov and S. Trajkovic, «Influence of mathematical and physical background of drought indices on their complementarity and drought recognition ability», *Atmospheric research*, 194, 268-280,2017.
- [25] P. S Wable, M.K Jha and A. Shekhar, « Comparison of drought indices in a semi-arid river basin of India», *Water resources management*, 33, 75-102,2019.
- [26] A. R Zarei, M. Mokarram and M.R. Mahmoudi, «Comparison of the capability of the Meteorological and Remote Sensing Drought Indices», *Water Resources Management*, 37 (2), 769-796,2023.
- [27] D. A. Pedj, «On the indicator of drought and moisture surplus», In Proceedings of HMC of USSR (Vol. 156, pp. 19-38), Beijing, China: Science Press, 1975.
- [28] Y. Pan, Y. Zhu, H. Lü, A.L. Yagci and R. Liu, «Accuracy of agricultural drought indices and analysis of agricultural drought characteristics in China between 2000 and 2019», *Agricultural Water Management*, 283, 108305,2023.
- [29] S.A Muter, Y. Al-Timimi and M.H Al-Jiboori, «Analysis of Temporal and Spatial Drought Characteristics in Iraq Using the Standard Precipitation Index (SPI)», *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1371, No. 2, p. 022032). IOP Publishing, 2024.
- [30] Y. Wang, T. Peng, Q. Lin. V.P. Singh, X. Dong, C. Chen and G. Wang, « A new non-stationary hydrological drought index encompassing climate indices and modified reservoir index as covariates», *Water Resources Management*, 36 (7), 2433-2454,2022.
- [31] D.A. Pedj, «On the indicator of drought and moisture surplus», In Proceedings of HMC of USSR (Vol. 156, pp. 19-38). Beijing, China: Science Press, 1975.
- [32] L. Telesca, M. Lovallo, I. Lopez-Moreno and S. Vicente-Serrano, «Investigation of scaling properties in monthly streamflow and Standardized Streamflow Index (SSI) time series in the Ebro basin (Spain)», *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 391 (4), 1662-1678,2012.
- [33] W.M.O. World Meteorological Organization, «Drought and agriculture», *WMO Note 138 Publ WMO-392*, WMO, Geneva, 127 pp., 1975.
- [34] V. Potop and J. Soukup, «Spatiotemporal characteristics of dryness and drought in the Republic of Moldova», *Theoretical and Applied Climatology*, 96, 305-318,2009.
- [35] M. Idrissou, B. Diekkrüger, B. Tischbein and B. Ibrahim, «Modeling the impact of climate and land use/land cover change on water availability in an inland valley catchment in Burkina Faso», *Hydrology*, 9 (1), 12,2022.
- [36] O. Amogu, L. Descroix, K. S. Yéro, E. Le Breton, I. Mamadou, A. Ali and P. Belleudy, «Increasing river flows in the Sahel», *Water*, 2 (2), 170-199,2010.
- [37] W. V.M. Yameogo, Y.L. Akpa, J.H. Danumah, F. Traore, F, B. Tankoano, Z. Sanon and M. Hien, «Spatio-Temporal Evolution of Rainfall over the Period 1981–2020 and Management of Surface Water Resources in the Nakanbe–Wayen Watershed in Burkina Faso», *Earth*, 4 (3), 606-625,2023.
- [38] G. Mahe, P. Diello, J.E. Paturel, B. Barbier, H. Karambiri, A. Dezetter and N. Rouche, «Decrease of rainfall and increase of runoff in the Sahel: Climatic and anthropogenic impacts on runoff of the Nakambe River in Burkina Faso», *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 21 (4), 330-332,2010.
- [39] W. V.M. Yameogo, Y.L. Akpa, J.H. Danumah, F. Traore, F, B. Tankoano, Z. Sanon and M. Hien, « Spatio-Temporal Evolution of Rainfall over the Period 1981–2020 and Management of Surface Water Resources in the Nakanbe–Wayen Watershed in Burkina Faso», *Earth*, 4 (3), 606-625,2023.
- [40] V. Potop and J. Soukup, « Spatiotemporal characteristics of dryness and drought in the Republic of Moldova», *Theoretical and Applied Climatology*, 96, 305-318,2009.

Development of sustainable biofuels from agricultural residue blends available in rural areas for electricity generation in Côte d'Ivoire

Bi Tra Désiré Zinla¹, Kamenan Blaise Koua², Ekoun Paul Magloire Koffi¹, and Prosper Gbaha¹

¹Laboratoire des Procédés Industriels, de Synthèse, de l'Environnement et des Energies Nouvelles, Institut National Polytechnique Felix Houphouët-Boigny, B.P. 1093, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

²Laboratoire des Sciences de la Matière, de l'Environnement et de l'Energie Solaire, UFR SSMT, Université Felix Houphouët-Boigny, 22 B.P. 582, Abidjan 22, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 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: As part of the global energy transition towards more sustainable solutions, it is crucial to reduce dependence on fossil fuels by exploring renewable alternatives. This study focuses on the optimization of agricultural residues to develop biofuels for thermal power plants in Côte d'Ivoire. The raw materials studied come from rice, coffee and cocoa crops, which are abundant in rural areas of the country. The aim is to assess the feasibility of creating energy-efficient biofuels that are compatible with power plant boilers, while meeting environmental sustainability criteria. To achieve this, a linear programming model was used to determine the optimum proportions of the various agricultural residues to produce usable blends. The model considers higher heating value, the reduction of pollutant emissions and the preservation of combustion equipment. The energy performance of the fuels is then analyzed using a biomass power plant model. The results led to the development of two types of sustainable biofuel: the first, made up of 68% rice husk and 32% coffee husk, has a higher heating value of 13.79 MJ/kg; the second, made up of 60% rice husk and 40% cocoa pod husk, has a higher heating value of 13.49 MJ/kg. These biofuels stand out for their ability to reduce pollutant emissions and preserve combustion equipment. Rice straw is added to these two fuels to form the matrix of sustainable biofuels to produce electricity from a biomass power plant in Côte d'Ivoire. This study shows that it is possible to make effective use of agricultural residues to create sustainable biofuels, thereby contributing to a transition towards a more sustainable energy mix.

KEYWORDS: Agricultural residue mixtures, Sustainable biofuels, Biomass, Agricultural residues, Power plant.

1 INTRODUCTION

The growing demand for energy, coupled with global environmental concerns, is driving many countries to explore sustainable alternative energy sources. This initiative aims to increase the share of renewable energy in the energy mix. To achieve this, the planet can also rely on its biomass potential. Currently, at the heart of several sustainable development projects, biomass is considered an alternative energy source to fossil fuels. Its use contributes to meeting energy needs, combating climate change, and preserving the natural resources of planet. Additionally, biomass combustion for electricity generation is a well-developed and competitive technology (Lakovou et al., 2012). However, biomass combustion in boilers faces several issues, including reduced thermal efficiency and the emission of acidic pollutants and harmful particles. Indeed, elements such as N, S, Cl, and inorganic compounds present in biofuels contribute to the formation of acidic pollutants and micro-particles, and are also responsible for ash fusion, leading to fouling and corrosion of boiler walls (Oberberger et al., 2006).

Moreover, the transport of biomass to power plants increases greenhouse gas emissions (Zinla et al., 2021 and 2022).

To address the technical and environmental constraints associated with biomass combustion technologies, this study examines the possibility of developing more sustainable biofuels from agricultural residue blends. According to Edmunds et al.

(2018), blending different types of biomass to produce homogeneous raw materials offers a solution to problems related to the variability of physicochemical properties, seasonal and geographical availability of biomass, and allows for better control over raw material specifications. In this context, determining the optimal proportions of each biomass in the blend would ensure the effectiveness of this approach.

To identify the best ratios of raw materials in the production of high-quality briquettes from cashew nut industry waste, Sawadogo et al. (2018) conducted a series of experimental tests on 15 briquette samples with varying proportions of water, binder, and biochar. These tests analyzed the physical, chemical, and energy characteristics of the produced briquettes. By evaluating properties such as calorific value, mechanical strength, and density, the researchers identified optimal formulations that produced a fuel with performance like charcoal. Gomez et al. (2021) assessed the energy potential of various agricultural residue blends using a commercial gasifier, testing 32 different configurations. Their study revealed that increasing the proportion of a specific element in the blend reduced the quality of the synthesis gas and the efficiency of the gasification process. Specifically, a high concentration of this element led to less favorable conditions for gas production. Nevertheless, the study also identified optimal configurations where the efficiency of gasifier was maximized. Castro et al. (2023) analyzed blends of brewery spent grains and eucalyptus wood chips to optimize steam production in a cogeneration system. By experimenting with 6 combinations with varying proportions, the study identified the optimal blend, which improved the energy performance of the system compared to the exclusive use of wood chips.

These various studies have employed iterative methods to characterize fuels from different agricultural residue blends. However, these approaches are often limited by empirical testing, which may not always precisely define the sought-after optimal proportions. This study proposes an innovative analytical method to accurately determine the optimal ratios of the main components of a biofuel intended for biomass thermal power plants. This method is particularly suited to complex agricultural residue blends, offering a more effective and precise approach to optimizing biofuel formulations.

2 METHODOLOGY

2.1 MATERIALS

2.1.1 CHARACTERISTICS OF AGRICULTURAL RESIDUES

The agricultural residues studied in this research include rice husks, rice straw, coffee husks, and cocoa pod husk. These materials were selected due to their abundance in rural areas and their potential as sustainable resources for electricity generation in Côte d’Ivoire. The average energy potential of these crop residues is approximately 54.03 PJ per year, distributed as follows: cocoa pod husk (30.18 PJ/year), rice straw (18.82 PJ/year), rice husk (4.54 PJ/year), and coffee husk (0.49 PJ/year) (Koua et al., 2022). The thermochemical characteristics of these residues are detailed in the literature, providing essential information for their energy utilization and management. Table 1 summarizes data on their elemental and proximate compositions, as well as the Higher Heating Value (HHV). Table 2 presents a detailed analysis of the residual ash, including the distribution of chemical elements (Zinla et al., 2021).

Table 1. Elemental and proximate composition (% wt.), and HCV (MJ/kg) of rice husk, rice straw, coffee husk and cocoa pod husk (Zinla et al., 2021)

Residues	Elemental composition						Immediate composition				
	C	H	N	S	O	Cl	HHV	Moisture	Volatile matter	Ash	Fixed carbon
Rice husk	37.02	5.56	0.95	0.21	56.26	0.02	13.35	7.82	64,02	14,96	13,2
Rice straw	33.51	4.73	0.50	0.26	61.00	0.30	10.49	9.52	64,86	23,7	1,92
Coffee husk	39.68	5.41	3.01	0.32	51.58	0.27	14.71	11.3	72,94	8	7,76
Cocoa pod husk	37.36	5.60	1.59	0.22	55.23	0.07	13.70	12.33	66,32	10,77	10,61

Table 2. Composition (wt.%) of the ashes of the rice husk, rice straw, coffee husk and cocoa pod husk (Zinla et al., 2021)

Residues	K ₂ O	CaO	MgO	P ₂ O ₅	SO ₃	SiO ₂	CuO	Cl	PbO	CoO	Fe ₂ O ₃	MnO	Na ₂ O	WO ₃	ZnO	NiO	Al ₂ O ₃
Rice husk	6.98	0.67	2.25	4.95	0.15	74.78	0.35	0.15	--	0.22	0.3	0.2	0.1	8.68	0.1	0.12	--
Rice straw	13	4.33	1.95	1.48	0.95	64.45	0.72	1.27	--	0.16	0.9	0.6	0.67	8.74	0.32	--	0.46
Coffee husk	72.05	9.76	3.02	2.55	3.54	1.65	0.59	3.35	1.67	0.17	0.73	0.14	0.26	--	0.12	0.4	--
Cocoa pod husk	77.53	6.82	5.5	2.81	2.56	1.35	1.18	0.65	0.6	0.35	0.3	0.23	0.12	--	--	--	--

A thorough understanding of the crop production seasons could not only facilitate storage operations but also significantly reduce transport costs associated with the residues (Koua et al., 2022). Indeed, this would optimize logistical planning by synchronizing harvest periods with available storage capacities. Additionally, precise management of agricultural seasons would help minimize delays and transport costs, while ensuring better preservation of agricultural residues throughout the supply chain.

In Côte d'Ivoire, there are two annual harvest periods for cocoa beans and paddy rice, as well as one period for green coffee beans. The main cocoa harvest runs from October to March, followed by an intermediate harvest from April to August. For rice, the production season typically extends from February/March to August. Green coffee beans are harvested exclusively from September to December. Figure 1 illustrates the harvest periods for rice, coffee, and cocoa in Côte d'Ivoire (Koua et al., 2022). Additionally, Figure 2 shows the production trends for cocoa beans, green coffee beans, and paddy rice in Côte d'Ivoire from 2013 to 2022 (FAO, 2024). This period highlights distinct dynamics for each product. Since 2017, cocoa bean production in Côte d'Ivoire has shown a generally positive trend. It increased from approximately 2,030,000 tons in 2017 to 2,200,000 tons in 2020, before stabilizing around 2,230,000 tons from 2021. This stable growth can be attributed to several factors, such as improved agricultural practices, the introduction of disease-resistant cocoa varieties, and political and economic support from donors (Bockel et al., 2021).

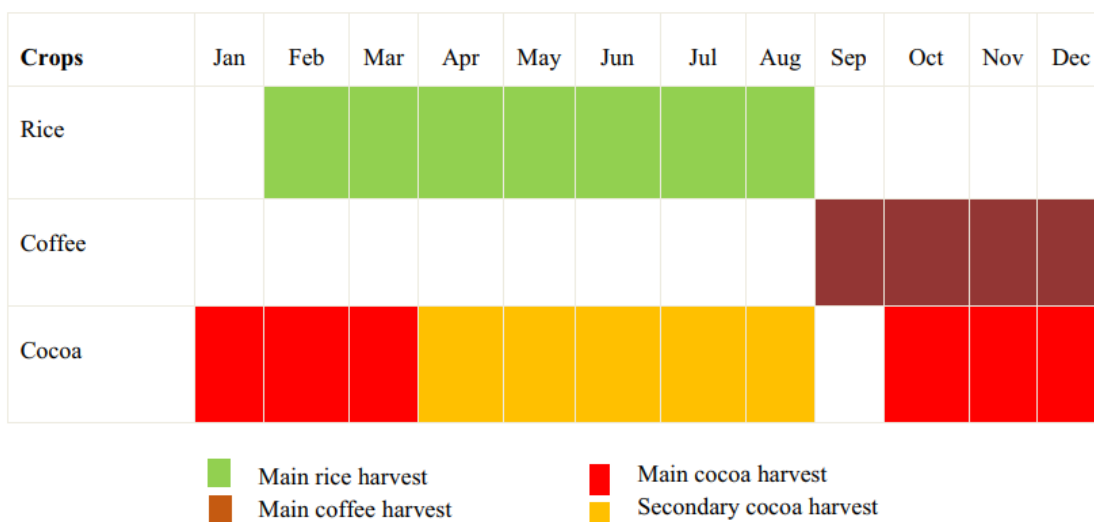


Fig. 1. Harvest periods for rice, coffee and cocoa crops (Koua et al., 2022)

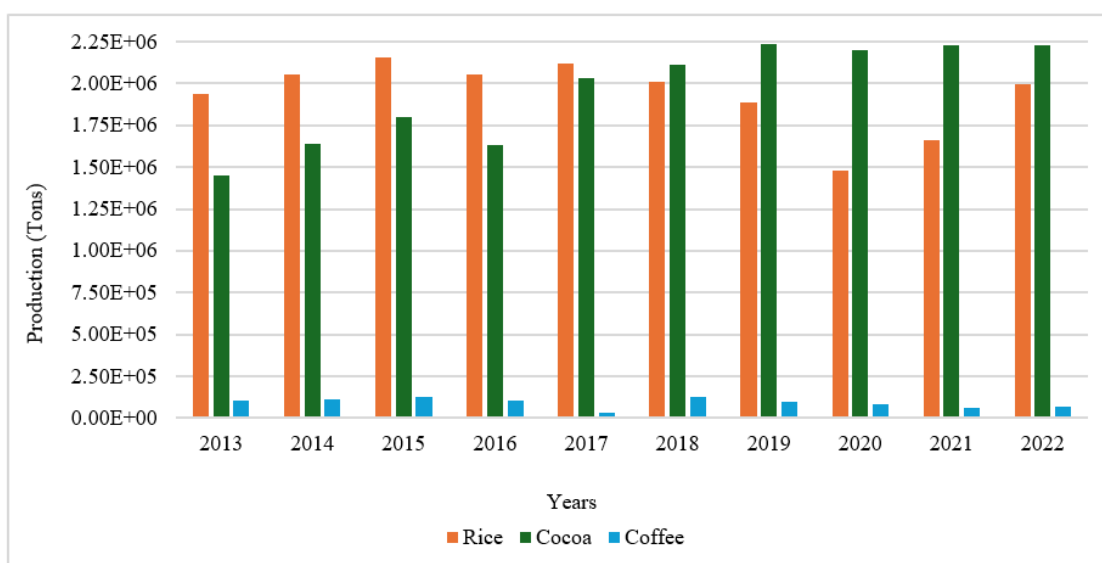


Fig. 2. Trends in production of cocoa beans, green coffee beans and paddy rice in Côte d'Ivoire from 2013 to 2022

In contrast, paddy rice production has experienced a fluctuating trend over the same period, with an average annual production of about 1,860,000 tons. This variability is due to various factors, including climatic conditions, limited access to advanced agricultural technologies and storage infrastructure, and insufficient support for producers (Ouedraogo et al., 2021). Lastly, green coffee bean production has shown a declining trend since 2019, dropping from 95,200 tons in 2019 to approximately 70,000 tons in 2022. This decrease can be explained by several factors, such as reduced cultivated areas due to the expansion of more profitable cocoa crops, ageing coffee plantations, and less government support compared to other agricultural sectors.

Crop residues are omnipresent in production areas throughout the harvest periods (Koua et al., 2022). Figure 3 presents a detailed map of the main production regions for cocoa beans, green coffee beans, and paddy rice in Côte d'Ivoire. This map reveals that residues from all three crops are particularly abundant in five regions: Tonkpi, Guémon, Haut-Sassandra, Cavally, and Lôh-Djibouah. Additionally, waste from cocoa and rice crops is also found in large quantities in six other key regions: Marahoué, Gôh, Nawa, San-Pedro, Gbôklé, and Agnéby-Tiassa. Cocoa residues are also present in three southeastern regions: Indéné-Djuablin, Moronou, and La Mé. Finally, rice cultivation also results in a high concentration of residues in the northern regions of the country (Esso, 2009; FAO et al., 2019; Koua et al., 2022).

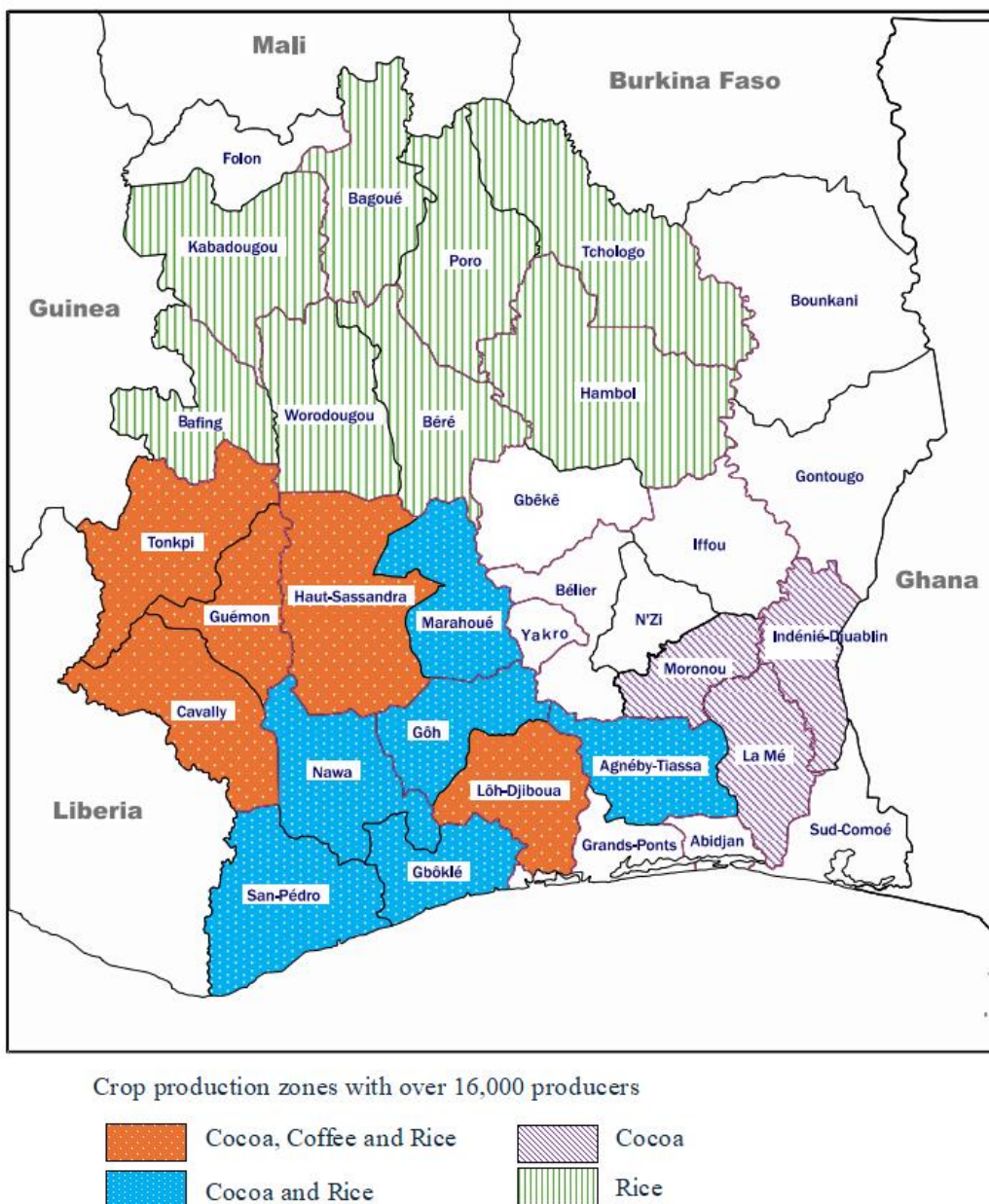


Fig. 3. Main regions producing cocoa beans, green coffee beans and paddy rice in Côte d'Ivoire

2.1.2 MODELLING A BIOMASS THERMAL POWER PLANT

To evaluate the energy efficiency of biofuels, a model of a 5 MW biomass thermal power plant was developed based on the Hirn steam cycle, a technology known for its high efficiency. This model is built on the precise data from the study by Sahoo et al. (2016), allowing for a thorough analysis of the energy performance of the biofuels. The layout of the plant is illustrated in Figure 4. The installation comprises 5 main components: a biomass boiler, a two-stage steam turbine, a condenser, two pumps (low and high pressure), and a Feed Water Heater equipped with a deaerator.

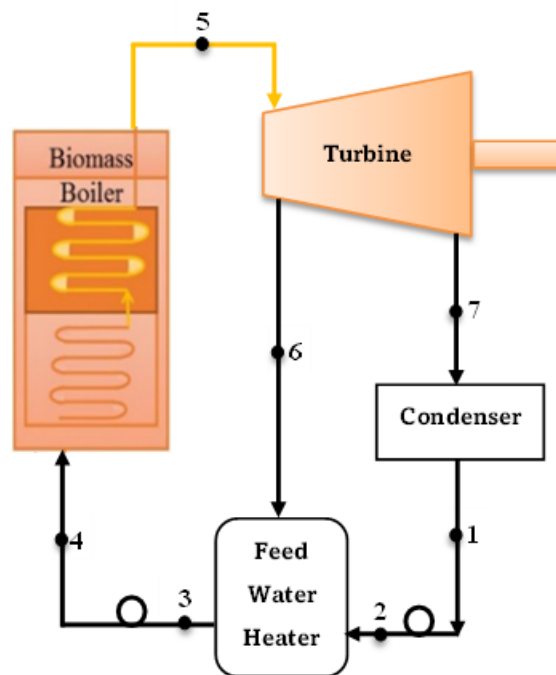


Fig. 4. Schematic diagram of the steam power plant

The boiler generates steam at a pressure of 60 bars and a temperature of 500°C, which drives the turbine at a flow rate of 5 kg/s. After passing through the turbine, the steam is condensed in the condenser; the condensed water is then pumped to a pressure of 5 bars and mixed with the purge steam before being returned to the boiler. Table 3 provides the efficiency ratings of the turbine, pumps, and boiler.

Table 3. Turbine, pump and boiler efficiencies (Sahoo et al., 2016)

Equipments	efficiencies (%)
Turbine	96
Pumps	88
Boiler	80

2.2 METHODS

2.2.1 CHARACTERIZATION OF BIOFUELS

The authors (Cozzani et al., 1995; Skodras et al., 2009; Danias et al., 2018) have revealed that the interactions between components of lignocellulosic biomass blends are negligible. The studies by Heikkinen et al. (2004) and Farrow et al. (2013) also demonstrated that the thermochemical characteristics of these blends can be determined by taking a weighted sum of the properties of the individual constituents.

This research opens the way to a new method for optimizing biofuels. Therefore, to design sustainable biofuels from agricultural residue blends, this study proposes a linear programming model to determine the ideal proportions of these

residues. The objective is to maximize the energy content while adhering to regulatory limits for elements N, S, Cl, K, Ca, and Zn. This approach ensures not only optimal energy performance but also contributes to the sustainability of the biofuels by minimizing environmental and technological impacts. The objective function of the linear programming is defined by relation (1).

$$\text{Maximize: } HHV_{Blend} = \sum_{i=1}^n X_i (HHV)_i \quad (1)$$

Where: HHV_{Blend} is the Higher Heating Value (MJ/kg) of the blend, X_i is the proportion (%) of the i -th residue in the blend and $(HHV)_i$ is the Higher Heating Value of the i -th residue.

According to Nussbaumer et al. (1997), Obernberger (2003), and Nussbaumer (2003), the emissions of acidic pollutants such as NO_x, SO_x, HCl, and PCDD/F during combustion in a boiler are directly related to the concentrations of the elements N, S, and Cl in the biofuel. Specifically, high concentrations of chlorine (exceeding 0.1%) lead to emissions of HCl and PCDD/F. Similarly, concentrations of sulphur above 0.2% generate SO_x emissions, while NO_x is produced when the nitrogen concentration exceeds 0.6%. Furthermore, corrosion issues can occur in the boiler when chlorine and sulphur concentrations exceed 0.1% respectively (Obernberger et al., 2006). The requirements for S, Cl, and N concentrations in the biofuel to ensure clean and trouble-free combustion are specified by relations (2), (3), and (4).

$$\sum_{i=1}^n X_i (S)_i \leq 0.001 \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n X_i (Cl)_i \leq 0.001 \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n X_i (N)_i \leq 0.006 \quad (4)$$

Where: $(S)_i$, $(Cl)_i$ and $(N)_i$ are the concentrations (%) of S, Cl and N in the i -th residue in the blend.

Ashes produced undergo various thermal and chemical transformations. The main inorganic components of ash play a crucial role in influencing the melting temperature, agglomeration in the boiler, and corrosion of metal surfaces (Van et al., 2002; Spiegel, 2004). Potassium (K) is particularly significant as a primary catalyst in these processes. Due to its low melting temperature, potassium reacts with silicates or refractory materials in the combustion bed, forming eutectic mixtures that melt at temperatures lower than those of their individual constituents. These compact mineral aggregates can suffocate combustion and obstruct ash removal, thereby exacerbating the corrosion of metal surfaces (Mikkanen et al., 1999; Nielson et al., 2000; Armesto et al., 2002).

The presence of alumina (Al₂O₃), magnesium oxide (MgO), calcium oxide (CaO), iron oxide (Fe₂O₃), or silicon dioxide (SiO₂) in the ash increases its melting point, while the presence of phosphorus pentoxide (P₂O₅), sodium oxide (Na₂O), or potassium oxide (K₂O) decreases it (Obernberger et al., 2006; Armesto et al., 2002; Du et al., 2014). Generally, a potassium concentration in the ash above 7% significantly lowers its melting temperature. However, this temperature can be elevated when the calcium concentration exceeds 15%. Ashes can also lead to the emission of fine particles or be recycled or reused, if potassium and zinc concentrations remain below certain indicative limits (Obernberger et al., 2006). The constraints related to the concentrations of K₂O, ZnO, and CaO in the biofuel ash for clean and trouble-free combustion are defined by equations (5), (6), and (7).

$$\frac{\sum_{i=1}^n X_i Ash_i ((K)_2O)_i}{\sum_{i=1}^n X_i Ash_i} \leq 0.07 \quad (5)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n X_i Ash_i (ZnO)_i}{\sum_{i=1}^n X_i Ash_i} \leq 0.0008 \quad (6)$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n X_i Ash_i (CaO)_i}{\sum_{i=1}^n X_i Ash_i} \leq 0.15 \quad (7)$$

Where: Ash_i is the concentrations (%) of Ash in the i -th residue in the blend, $((K)_2O)_i$, $(CaO)_i$, $((Z)_nO)_i$ are the concentrations (%) of K_2O , CaO and Z_nO in the ash of the i -th residue in the blend.

The constraints related to the optimal ratios are defined by equations (8) and (9).

$$\sum_{i=1}^n X_i = 1 \quad (8)$$

$$X_1, X_2, \dots, X_n \geq 0 \quad (9)$$

The residues from rice, coffee, and cocoa crops exhibit nitrogen (0.95%–3.01%), sulphur (0.21%–0.32%), and potassium (13%–77.53%) concentrations that exceed permissible thresholds. Consequently, these constraints cannot be incorporated into the linear programming model used to determine the optimal ratios in the formulation of sustainable biofuels from these mixtures. However, technical solutions available in the literature can be implemented to reduce NOx and SOx emissions.

2.2.2 ANALYSIS OF THE ENERGY PERFORMANCE OF BIOFUELS

In the analysis of performance and optimization of energy systems, several authors rely on the laws of thermodynamics. Researchers such as Singh et al. (2000), Beerbaum and Weinrebe (2000), Kaushik et al. (2001), Kosugi and Pak (2003), Montes et al. (2009), Kalogirou (2009), and Morin et al. (2012) have applied the first law of thermodynamics for the energy analysis of hybrid power plants. This law, also known as the principle of conservation of energy, states that the total energy of an isolated system remains constant. By applying this law, researchers have been able to quantify the incoming energy, compare it to the energy produced, and assess the losses. This has allowed for the measurement of system efficiency, identification of areas needing improvement, and development of strategies to optimize energy production while minimizing losses.

Exergy analysis, on the other hand, relies on the second law of thermodynamics to evaluate the efficiency of processes by identifying exergy losses and deviations from an ideal state. This approach helps to pinpoint the least efficient stages, understand the impact of thermodynamic phenomena, and propose the best solutions for system optimization (Szargut et al., 1988). To assess the energy performance of biofuels, the energy and exergy efficiencies of the biomass thermal power plant model are the two key parameters considered. These efficiencies are determined following the energy and exergy analyses of the steam thermal plant. Table 4 provides the thermodynamic properties of the steam in the installation required for the calculation.

Table 4. Thermodynamic properties of steam in the biomass power plant

Point	Pressure (bar)	Temperature (C)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg K)	Mass flow rate (kg/s)
1	0.1	45.82	191.8	0.6493	4.269
2	5	45.85	192.4	0.6495	4.269
3	5	98.84	414.5	1.293	5
4	60	99.44	421.1	1.296	5
5	60	500	3422	6.881	5
6	5	204.60	2865	7.079	0.731
7	0.1	45.82	2330	7.352	4.269

2.2.2.1 ENERGY ANALYSIS

The energy efficiency of the thermal power plant is defined by relation (10).

$$\eta_{en} = \frac{W_{net}}{Q_{biom}} \tag{10}$$

Where: η_{en} is the energy efficiency of the biomass thermal power plant, W_{net} is the Net power of the biomass thermal power plant (kW) and Q_{biom} is the total heat produced from biomass (kW).

Relations (11), (12), (13), and (14) respectively allow for the determination of the net power of the installation (W_{net}), the thermal power produced by the combustion of biomass (Q_{biom}), the thermal power of the boiler (Q_{boiler}), and the lower heating value (LHV) (Sahoo et al., 2016).

$$W_{net} = m[\alpha(h_5 - h_6) + (1 - \alpha)(h_5 - h_7)] \tag{11}$$

$$Q_{biom} = m_{biom} * LHV \tag{12}$$

$$Q_{boiler} = m(h_5 - h_4) = \eta_{boiler} * Q_{biom} \tag{13}$$

$$LHV = HHV - (226.04 * H) - 25.82 * w \tag{14}$$

Where: m is the mass flow rate of steam (kg/s), α is the fraction of steam extracted from the turbine, m_{biom} is the mass flow rate of the biomass feeding the boiler (kg/s), η_{boiler} is the energy efficiency of the boiler, H is the hydrogen content of the biomass (%), w is the moisture content of the biomass (%), LHV is the lower heating value of the biomass (kJ/kg) and HHV is the higher heating value of the biomass (kJ/kg).

2.2.2.2 EXERGY ANALYSIS

The exergy efficiency of the biomass thermal power plant is defined by relation (15).

$$\eta_{ex} = \frac{W_{net}}{E_{X,biom}} \tag{15}$$

Where: η_{ex} is the exergy efficiency of the biomass thermal power plant, and $E_{X,biom}$ is the Exergy associated with the biomass flow (kW).

The exergy associated with the biomass flow is equal to the sum of its physical exergy and its chemical exergy. The physical exergy of the biomass is neglected as its initial state is the same as the reference environment state. Therefore, its exergy is equal to its chemical exergy, which is determined by relation (16) (Sahoo et al., 2016).

$$E_{X,biom} = m_{biom} * \phi * LHV \tag{16}$$

Where: ϕ is a multiplying factor determined by relation (17) (Szargut, 2005).

$$\phi = 1.0401 + 0.1728 * \frac{H}{C} + 0.0432 * \frac{N}{C} + 0.2169 * \frac{O}{C} * \left(1 - 0.2062 * \frac{H}{C}\right) \tag{17}$$

Where: C, H, O and N are the dry biomass weight (%) of carbon, hydrogen, oxygen and nitrogen.

The exergy efficiency of the thermal power plant can also be defined based on the energy efficiency and the factor ϕ according to relation (18).

$$\eta_{ex} = \frac{1}{\phi} * \eta_{en} \tag{18}$$

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 CHARACTERIZATION OF BIOMASS FUELS

The characterization study of biomass fuels reveals that only two types of sustainable biofuels can be produced from blends of rice, coffee, and cocoa residues. The first biofuel (B1) consists of 68% rice husk and 32% coffee husk, while the second biofuel (B2) contains 60% rice husk and 40% cocoa pod husk. Table 5 presents the nitrogen (N), sulfur (S), chlorine (Cl) concentrations, ash content, and the higher heating value (HHV) of these biofuels. The analysis indicates a significant improvement in the concentrations of certain chemical elements and the heating values of the blends compared to the base residues. However, the concentrations of nitrogen and sulfur remain above the permissible limits, raising concerns about the corrosion of heat exchangers caused by acidic pollutants (NOx and SOx), especially when flue gases reach their acid dew point in the exhaust ducts (Ghysel et al., 2010).

Table 5. Elemental composition (% wt.) of N, S, Cl, Ash and HHV (MJ/kg) of biofuels

Biofuels	Composition				
	N	S	Cl	HHV	Ash
B1	1.61	0.25	0.10	13.79	12.73
B 2	1.21	0.21	0.04	13.49	13.28

3.2 ASH COMPOSITION

An improvement is also noted in the ash composition of the biofuels. The ashes produced contain a greater proportion of refractory materials (SiO_2 , CaO , MgO , Fe_2O_3) compared to alkaline materials (K_2O). Figure 5 shows the distribution of the main inorganic components in the ashes. Nonetheless, problems related to ash agglomeration and ash-related corrosion may occur, especially at high combustion temperatures. During combustion, alkaline oxides or salts can react with refractory compounds to form eutectic mixtures (e.g., $\text{K}_2\text{O}\cdot\text{CaO}\cdot 6\text{SiO}_2$, $\text{K}_2\text{O}\cdot 4\text{SiO}_2$, $\text{K}_2\text{Fe}_2\text{O}_4$), whose melting points exceed 740°C (Mikkanen et al., 1999; Nielson et al., 2000; Armesto et al., 2002). These phenomena may intensify during the combustion of coffee and cocoa residues, as these residues generate ashes with higher potassium oxide concentrations, with a melting temperature around 350°C (Bardeau, 2009).

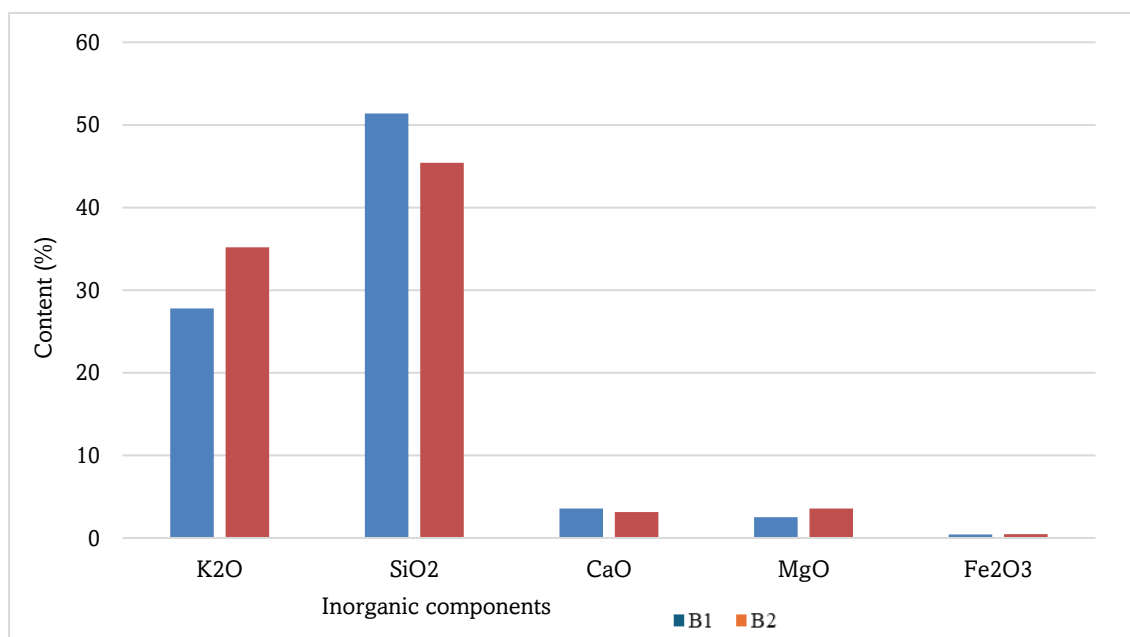


Fig. 5. Distribution of the main inorganic components in the ashes of biofuels

3.3 ENERGY AND EXERGY ANALYSIS

The energy analysis shows that the combustion of these fuels provides an energy efficiency of approximately 27% for the steam thermal plant. This indicates that nearly 73% of the thermal energy produced by biomass combustion is lost. In contrast, the exergy efficiency ranges between 18.64% and 20.13%, depending on the type of biofuel used in the boiler. Therefore, between 18.64% and 20.13% of the energy from the combustion of biofuels is converted into mechanical work to drive the electric generator. Figure 6 illustrates the exergy efficiencies of the biofuels in the thermal plant. The lowest exergy efficiency is observed with rice straw, while the highest is achieved with coffee husks.

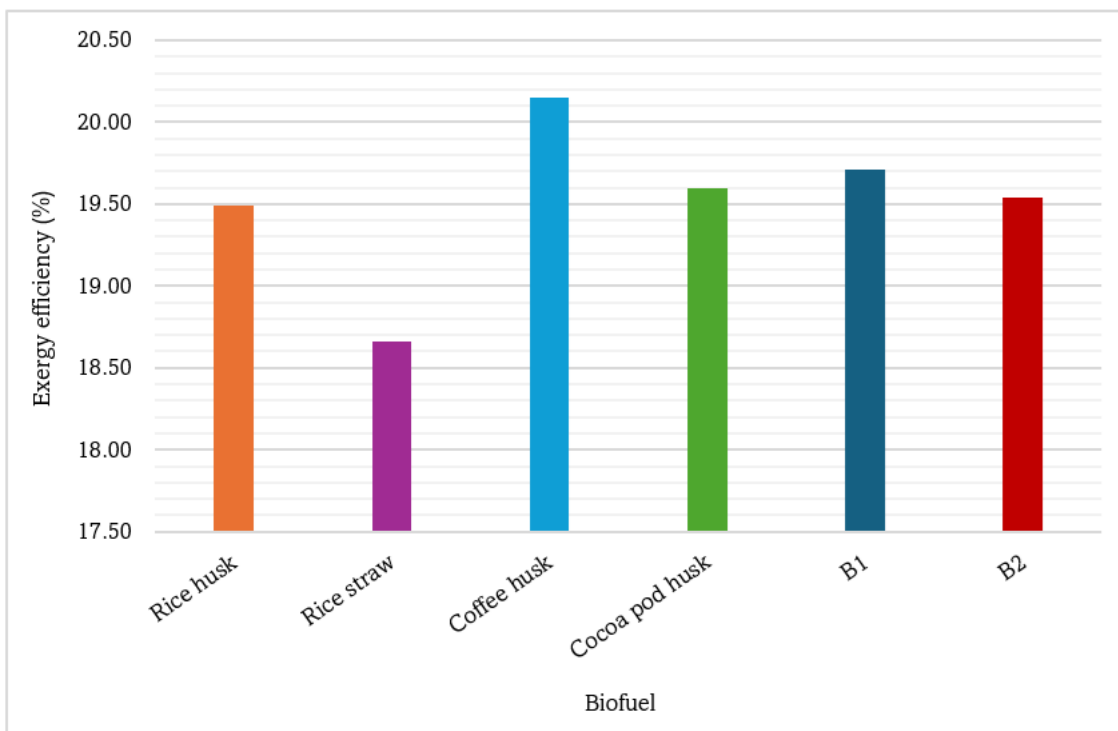


Fig. 6. Exergy efficiency of thermal power plant as a function of biofuel

3.4 ENVIRONMENTAL CONSIDERATIONS

The studied crop residues are found to be sustainable biofuels for environmental protection when used in a biomass thermal power plant (Zinla et al., 2021). The carbon dioxide emitted during their combustion is considered neutral since the amount released equals that absorbed by the plants during their growth (Saidur et al., 2011). Moreover, nitrogen oxides, sulfur oxides, and particulates can be captured or reduced using electrostatic filters or by implementing staged combustion with air or fuel. Chlorine content can also be reduced through leaching (Oberberger et al., 2006; Khan et al., 2009).

In the context of optimizing availability and improving the quality of biomass, rice straw, as well as biofuels B1 and B2, offer a promising basis for sustainable biofuels aimed at efficient energy utilization of residues in a biomass thermal power plant for electricity production in Côte d'Ivoire.

4 CONCLUSION

The study investigates the possibility of developing sustainable biofuels from mixtures of residues from rice, coffee, and cocoa crops with the aim of producing electricity in Côte d'Ivoire, thereby enabling the sustainable utilization of these resources. Based on the results and observations from various experimental studies, this research develops an analytical approach using a linear programming model subject to constraints related to the problematic concentrations of biofuel components, to determine the optimal ratios of the mixture constituents.

The analysis reveals that it is feasible to produce only two types of sustainable biofuels from the residue mixtures of rice, coffee, and cocoa crops. Specifically, rice straw as well as biofuels B1 and B2 form the basis for sustainable biofuels derived from the residues of rice, coffee, and cocoa crops for electricity generation from a biomass power plant in Côte d'Ivoire. However, the study recommends pre-washing the various biofuels before combustion in the boiler to reduce their chlorine content. Additionally, it suggests installing electrostatic filters on the boilers and/or employing staged combustion techniques with the fuel or air to reduce emissions of NO_x, SO_x, and harmful microparticles.

REFERENCES

- [1] Armesto L., Bahillo A., Veijonen K., Cabanillas A., Otero J. (2002). Combustion behaviour of rice husk in a bubbling fluidised bed. *Biomass and Bioenergy*, 23, 171-179.
- [2] Bardeau G. (2009). Etude de la faisabilité de produire des combustibles à partir de mélanges de coproduits agricoles. Rapport de master, ENSTIB.
- [3] Beerbaum, S., & Weinrebe, G. (2000). Solar thermal power generation in India—a techno-economic analysis. *Renewable energy*, 21 (2), 153-174.
- [4] Bockel, L.; Ouedraogo, S.A.; Auguste, K.A.; Gopal, P. (2021). Analyse prospective de la filière cacao en Côte d'Ivoire 2020-2030 - Vers une politique commune de marché de cacao en Afrique de l'Ouest. Accra, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb6508fr>.
- [5] Cao W., Li J., Martí-Rosselló T., et al. (2019). Experimental study on the ignition characteristics of cellulose, hemicellulose, lignin and their mixtures. *Journal of the Energy Institute* 92: 1303–1312.
- [6] Castro, L. E. N., Sganzerla, W. G., Matheus, L. R., Mançano, R. R., Ferreira, V. C., Barroso, T. L. C. T.,... & Colpini, L. M. S. (2023). Application of brewers' spent grains as an alternative biomass for renewable energy generation in a boiler combustion process. *Sustainable Chemistry for the Environment*, 4, 100039. <https://doi.org/10.1016/j.scenv.2023.100039>.
- [7] Cozzani V., Petarca L. and Tognotti L. (1995). Devolatilization and pyrolysis of refuse derived fuels: Characterization and kinetic modelling by a thermogravimetric and calorimetric approach. *Fuel* 74: 903–912.
- [8] Danias P. and Liodakis S. (2018). Characterization of refuse derived fuel using thermogravimetric analysis and chemometric techniques. *Journal of Analytical Chemistry* 73: 351–357.
- [9] Du, S., Yang, H., Qian, K., Wang, X., Chen, H. (2014). Fusion and transformation properties of the inorganic components in biomass ash. *Fuel* 117, 1281–1287. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.07.085>
- [10] Edmunds, C.W., Reyes Molina, E.A., André, N., Hamilton, C., Park, S., Fasina, O., Adhikari, S., Kelley, S.S., Tumuluru, J.S., Rials, T.G., Labbé, N. (2018). Blended Feedstocks for Thermochemical Conversion: Biomass Characterization and Bio-Oil Production from Switchgrass-Pine Residues Blends. *Front. Energy Res.* 6, 79. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2018.00079>.
- [11] Esso Loesse Jacques (2009) Dynamique des recettes du café et du cacao en côte d'ivoire. Juillet 2009: 19.
- [12] FAO et le ministère de l'Agriculture et du développement rural, Côte d'Ivoire Abidjan (2019) L'atlas des résultats du recensement des exploitants et exploitations agricoles, <http://www.fao.org/3/ca3111fr/CA3111FR.pdf>
- [13] FAOSTAT, <http://www.fao.org>, Consulted on: June 30, 2024.
- [14] Farrow T. S., Sun C. and Snape C.E. (2013). Impact of biomass char on coal char burn-out under air and oxy-fuel conditions. *Fuel* 114: 128–134.
- [15] Ghysel F., Godin B., Flamin C., Delfosse P., Delcarte J., et Stilmant D. (2010). « Valorisation énergétique des fourrages : comparaison de trois filières, enjeux et opportunités », p. 13.
- [16] Gomez, R.D., Palacio, M., Arango, J.F., Avila, A.E., Mendoza, J.M. (2021). Evaluation of the energy generation potential by an experimental characterization of residual biomass blends from Córdoba, Colombia in a downdraft gasifier. *Waste Management* 120, 522–529. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.10.014>
- [17] Heikkinen J, Hordijk Jd, de Jong W, et al. (2004). Thermogravimetry as a tool to classify waste components to be used for energy generation. *Journal of Analytical Applied Pyrolysis* 71: 883–900.
- [18] Kalogirou, S. A. (2004). Solar thermal collectors and applications. *Progress in energy and combustion science*, 30 (3), 231-295.
- [19] Kaushik, S. C., Abhyankar, Y. P., Bose, S., & Mohan, S. (2001). Exergoeconomic evaluation of a solar thermal power plant. *International journal of solar energy*, 21 (4), 293-314.
- [20] Khan A.A., de Jong W., Jansens P.J., Spliethoff H., (2009). Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potential problems and remedies. *Fuel Processing Technology* 90, 21–50.
- [21] Kosugi, T., & Pak, P. S. (2003). Economic evaluation of solar thermal hybrid H₂O turbine power generation systems. *Energy*, 28 (3), 185-198.
- [22] Koua, B. K., Zinla, D. B. T., Koffi, P. M. E., & Gbaha, P. (2022). Assessment of the energy potential of agricultural crop residues in rural areas of Côte d'Ivoire. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-14.
- [23] Lakovou, E., Vlachos, D., & Toka, A. (2012). Integrating waste biomass into thermal energy production systems: a strategic methodological framework. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 29 (4), 255-272. <https://doi.org/10.1080/10286608.2012.710610>.
- [24] Mikkanen P. et colb. (1999). Alkali salt ash formation in four Finnish industrial recovery boilers. *Energy and Fuels*, 13, 778–95.

- [25] Montes, M. J., Abánades, A., & Martínez-Val, J. M. (2009). Performance of a direct steam generation solar thermal power plant for electricity production as a function of the solar multiple. *Solar Energy*, 83 (5), 679-689.
- [26] Morin, G., Dersch, J., Platzer, W., Eck, M., & Häberle, A. (2012). Comparison of linear Fresnel and parabolic trough collector power plants. *Solar energy*, 86 (1), 1-12.
- [27] Nielsen H. P., Baxter L. L., Sclippab G., Morey, C., Frandsen F. J., Dam-Johansen K. (2000). Deposition of potassium salts on heat transfer surfaces in straw-fired boilers: a pilot-scale study. *Fuel*, 79, 131-139.
- [28] Nussbaumer, T. (2003). Combustion and co-combustion of biomass: fundamentals, technologies, and primary measures for emission reduction. *Energy & fuels*, 17 (6), 1510-1521.
- [29] Nussbaumer, T., & Hasler, P. (1997). Formation and Reduction of Polychlorinated Dioxins and Furans in Biomass Combustion: Dioxin emissions from biomass combustion. *Developments in Thermochemical Biomass Conversion: Volume 1/Volume 2*, 1492-1506.
- [30] Obernberger I., Brunner T., et Barnthaler G. (2006). Chemical properties of solid biofuels—significance and impact. *Biomass and Bioenergy*, vol. 30, no 11, p. 973 982, doi: 10.1016/j.biombioe.2006.06.011
- [31] Obernberger, I. (2003). Physical characteristics and chemical composition of solid biomass fuels. *Thermochemical Biomass Conversion*. Eindhoven University of Technology.
- [32] Ouedraogo, S.A., Bockel, L., Arouna, A., Fatognon, I. et Gopal, P. (2021). Analyse de la chaine de valeur riz en Côte d'Ivoire: Optimiser l'impact socio-économique et environnemental d'un scénario d'autosuffisance à l'horizon 2030. Accra, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb1506fr>.
- [33] Raveendran K., Ganesh A. and Khilar K. C. (1996). Pyrolysis characteristics of biomass and biomass components. *Fuel* 75: 987–998.
- [34] Sahoo, U., Kumar, R., Pant, P.C., Chaudhary, R., (2016). Resource assessment for hybrid solar-biomass power plant and its thermodynamic evaluation in India. *Solar Energy* 139, 47–57. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.09.025>
- [35] Saidur R., Abdelaziz E.A., Demirbas A., Hossain M.S., Mekhilef S. (2011). A review on biomass as a fuel for boilers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 2262–2289.
- [36] Sawadogo, M., Tchini Tanoh, S., Sidibé, S., Kpai, N., Tankoano, I. (2018). Cleaner production in Burkina Faso: Case study of fuel briquettes made from cashew industry waste. *Journal of Cleaner Production* 195, 1047–1056. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.261>
- [37] Singh, N., Kaushik, S. C., & Misra, R. D. (2000). Exergetic analysis of a solar thermal power system. *Renewable energy*, 19 (1-2), 135-143.
- [38] Skodras G., Grammelis P., Basinas P., et al. (2009). A thermochemical conversion study on the combustion of residue-derived fuels. *Water, Air, Soil Pollution: Focus* 9: 151–157.
- [39] Spiegel, M. (2004). Salzschnmelzenkorrosion an Überhitzern und Verdampfern. In *VDI Wissensforum: Beläge und Korrosion in Großfeuerungsanlagen*.
- [40] Szargut, J., Morris, D. R., & Steward, F. R. (1987). Exergy analysis of thermal, chemical, and metallurgical processes.
- [41] Szargut, J., (2005). Exergy Method: Technical and Ecological Applications. WIT press.
- [42] Van Loo, S., & Koppejan, J. (2002). *Handbook of biomass combustion and co-firing*; IEA Bioenergy. Twente University Press: Enschede, The Netherlands.
- [43] Zinla D., Gbaha P., Koffi P. M. E., et Koua B. K. (2021). Characterization of rice, coffee and cocoa crops residues as fuel of thermal power plant in Côte d'Ivoire. *Fuel*, vol. 283, p. 119250.
- [44] Zinla, B. T. D., Koua, B. K., Gbaha, P., & Koffi, P. M. E. (2022). Life cycle assessment of power generation using cocoa pod husk in Côte d'Ivoire. *Indian Journal of Science and Technology*, 15 (19), 914-922.

Caractérisation de la dynamique de l'occupation du sol sur le bassin versant de la Lobo (Côte d'Ivoire) de 1986 en 2014

[Characterization of land use dynamics in the Lobo watershed (Côte d'Ivoire) from 1986 to 2014]

DEGUY Attoungbré Jean-Philippe¹, KOUASSI Kouakou Hervé², SANTE Natacha¹, N'GO Yao Alexis¹, and GOULA Bi Tié Albert¹

¹Laboratoire Géosciences et Environnement (LGE), UFR Sciences et Gestion de L'environnement (SGE), Université Nangui ABROGOUA (UNA), 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

²Laboratoire des Sciences et Technologies de l'Environnement, UFR Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé, Daloa BP 150 Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 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: Exploitation of forest areas causes enormous environmental damage. The Lobo watershed belongs to an area with a high agricultural character due to the production of coffee, cocoa and cashew nuts. This basin is subject to strong anthropogenic pressures, so it is necessary to assess the dynamics of land use and its consequences on soil loss in the said basin. In this study, Landsat TM (Thematic Mapper) satellite images from 1986 and OLI (Operational Land Imager) from 2014 were used to produce land cover maps. Results of the land cover dynamics analysis, based on supervised classification by maximum likelihood, show a proliferation of bare soil/habitats, food crops/fallow and perennial crops with high-reflectance with 36.90 %, 188.33 % and 16.81 % respectively, to the detriment of degraded forests (70.51 %) between 1986 and 2014.

KEYWORDS: Land use, Lobo watershed, Côte d'Ivoire.

RESUME: L'exploitation des zones forestières entraîne d'énormes perturbations sur l'environnement. Le bassin versant de la Lobo appartient à une zone à fort caractère agricole du fait de la production du café, du cacao et de l'anacarde. Ce bassin subit de fortes pressions anthropiques, par conséquent, il est nécessaire d'évaluer la dynamique de l'occupation du sol dans ledit bassin. Dans cette étude, les images satellitaires Landsat TM (Thematic Mapper) de 1986 et OLI (Operational Land Imager) de 2014 ont été utilisées pour l'établissement des cartes d'occupation du sol. Les résultats de l'analyse de la dynamique de l'occupation du sol basée sur la classification supervisée par maximum de vraisemblance, montrent une prolifération des sols nus/habitats, des cultures vivrières/jachères et des cultures pérennes à forte réflectance, avec respectivement 36,90 %; 188,33 % et 16,81 % au détriment des forêts dégradées (70,51 %) entre 1986 et 2014.

MOTS-CLEFS: Occupation du sol, bassin versant de la Lobo, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Le couvert forestier joue un rôle inhibiteur de l'écoulement avec une forte capacité évaporatoire qui facilite de ce fait l'infiltration [1]. Les zones forestières sont parmi les milieux naturels les plus productifs du monde. Les forêts rendent des services économiques très importants, telles l'alimentation en eau, les pêcheries, l'agriculture, la production de bois d'œuvres, les ressources énergétiques. La régression des superficies des forêts conduit à une accélération de l'écoulement de surface,

voire à de fortes crues, et augmentent l'activité érosive dans les bassins versants [2]. Le défrichement des forêts, pour la satisfaction des besoins domestiques, et l'accroissement des terres agricoles ont eu pour conséquence une dégradation grandissante des paysages environnementaux en Côte d'Ivoire [3]. La forte pression foncière qui en résulte aboutit à des modifications profondes du milieu forestier [4] notamment une forte urbanisation, les inondations et l'érosion des terres, représentent des risques environnementaux et sociaux très graves ([5], [6]). Les impacts naturels aux conséquences les plus lourdes concernent plus les zones où la densité de population est très importante [7].

Le bassin versant de la Lobo qui fait l'objet de cette étude est situé dans le domaine forestier de la Côte d'Ivoire et a fait l'objet de plusieurs études. Les études de [8] et [9] sur le bassin versant de la Lobo mettent en évidence les fluctuations hydro-pluviométriques et la disponibilité actuelle et future des ressources en eau. Pour ces auteurs, il y a un déficit pluviométrique compris entre 10 % et 20 % et un excédent hydrométrique depuis 1994. Cette situation suggérerait que l'état de surface subit une forte pression anthropique. Ce qui justifie cette étude qui vise à évaluer la dynamique de l'occupation du sol sur le bassin versant de la Lobo.

2 PRESENTATION DU BASSIN VERSANT DE LA LOBO

Situé au centre-ouest de la Côte d'Ivoire, entre 6°05'W et 6°55'W de longitude Ouest et entre 6°02'N et 7°55'N de latitude Nord, le bassin versant de la Lobo couvre une superficie d'environ 12 723 km². Son lit se développe sur environ 597 km de long (Figure 1).

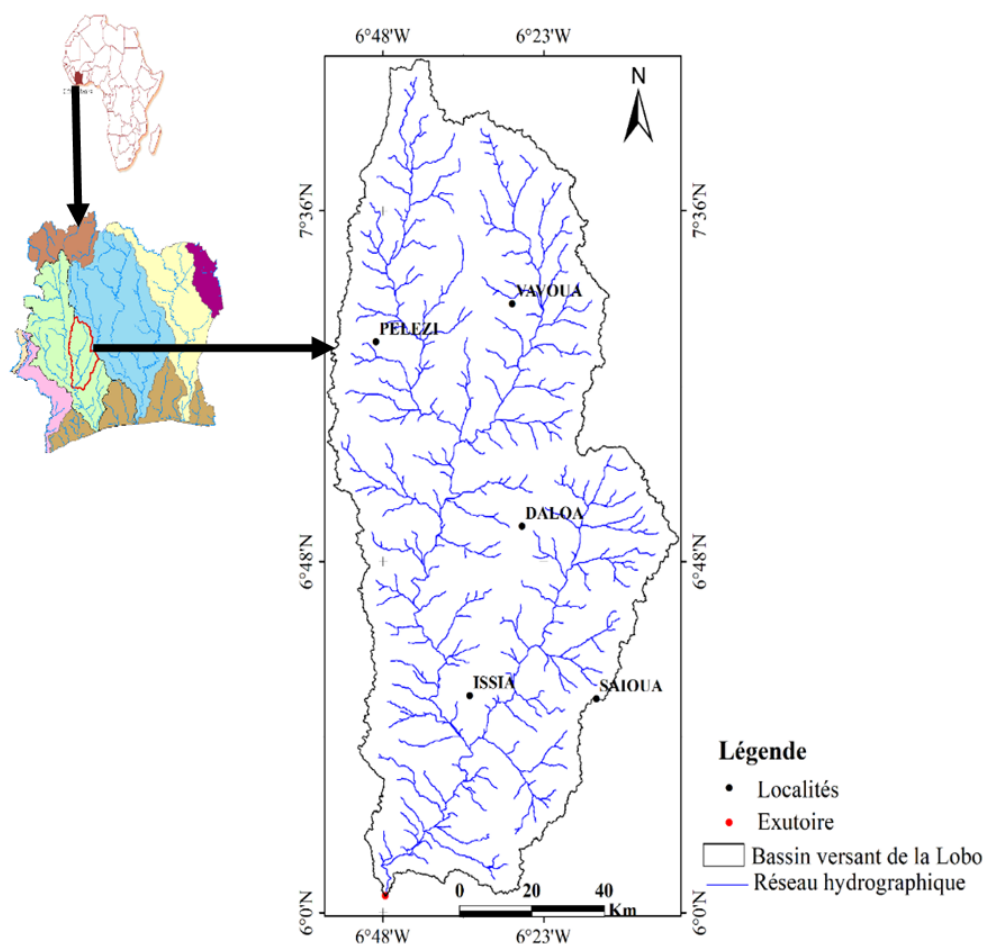


Fig. 1. Localisation du bassin versant de la Lobo

Le relief du bassin de la Lobo est monotone dans son ensemble avec des singularités par endroits. Son altitude varie entre 163 m et 617 m et se présente généralement comme une pénéplaine [10]. Le bassin est composé de deux grands types de relief (Figure 2). Ce sont les plaines et les plateaux.

Les plaines ont une altitude variée entre 160 et 240 m et sont localisées au sud du bassin ou elles correspondent au tracé du cours d'eau. Quant aux plateaux, ils occupent le reste du bassin et présentent des altitudes variant entre 240 et 320 m notamment dans l'extrême nord du bassin, un massif de roches vertes en forme de croissant culmine à environ 617 m d'altitude. Cet ensemble comporte dans l'extrême nord-ouest quelques intrusions de dôme granitique des altitudes entre 400 et 480 m. Des sommets isolés comme les buttes cuirassées dont l'altitude est supérieure parfois à 480 m se distinguent au sein des intrusions granitiques [11].

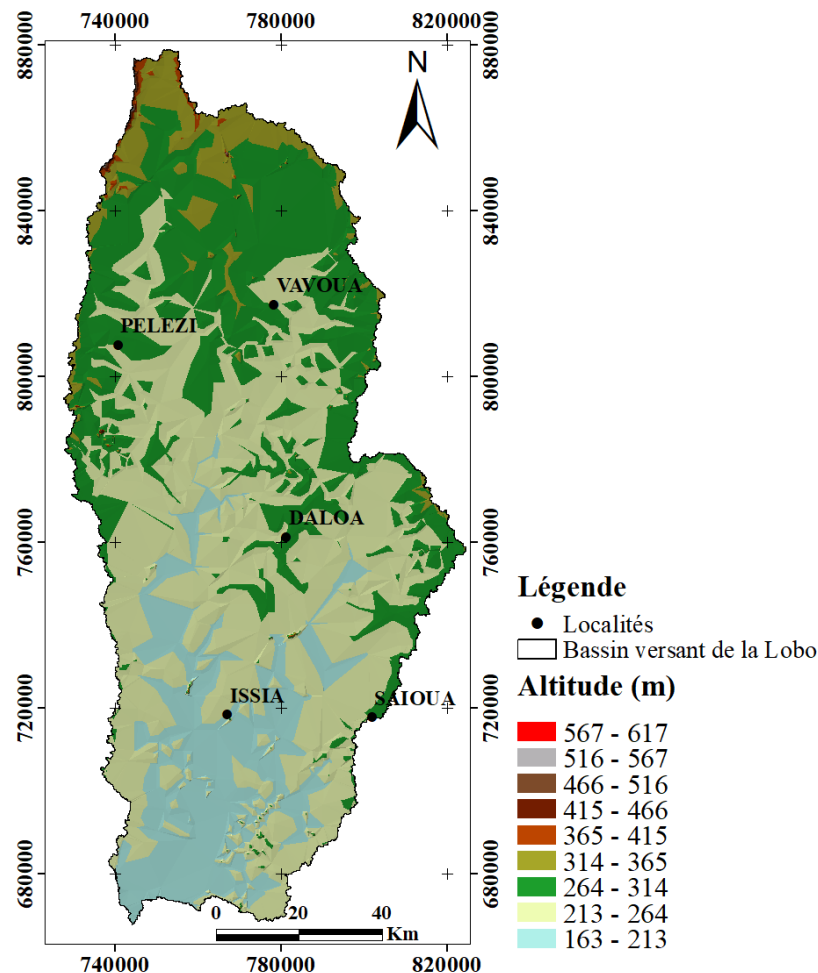


Fig. 2. Relief du bassin versant de la Lobo

3 MATÉRIEL ET MÉTHODES

3.1 MATÉRIEL

Le matériel utilisé est constitué de données pluviométriques, cartographiques, STRM, d'images Landsat et de logiciels (TerrSet, ENVI 4.7). Les scènes utilisées dans cette étude sont 197-55, 197-56, 198-55 des images satellitaires Landsat TM de 1986 et OLI de 2014. Ces images sont enregistrées et corrigées radiométriquement et géométriquement. Le logiciel TerrSet a été utilisé pour la détermination des gains, des pertes et les changements nets de classes de l'occupation du sol à partir de la fonction Land Change Modeler. Le logiciel ENVI 4.7 a permis divers traitements: géo-référencement, analyse multi spectrales, analyse topographique, le traitement des images satellitaires et la numérisation du réseau.

3.2 MÉTHODES

3.2.1 CARTOGRAPHIE DE L'OCCUPATION DU SOL DU BASSIN VERSANT DE LA LOBO

Les images satellitaires constituent une des principales ressources pour la cartographie de l'occupation du sol. Le traitement des images TM et OLI de Landsat de 1986 et 2014 permet de discriminer les types d'occupation du sol de la zone d'étude. Les images téléchargées sont les scènes 198-55, 197-55 et 197-56 des années 1986 et 2014 de Landsat. Plusieurs étapes sont adoptées pour réaliser la carte d'occupation du sol: le prétraitement, la classification et l'évaluation.

Pour cette étude, la classification supervisée par maximum de vraisemblance a été utilisée par ce qu'elle tient compte des données obtenues au cours des sorties de terrain. Cinq classes d'occupation du sol majeures ont été définies (Tableau I). Ces cinq types d'occupations du sol sont représentatifs de l'espace étudié.

Tableau 1. Classes d'occupation du sol choisies pour la zone d'étude

Classes	Description
Eau	Classe est constituée de lacs, de rivières, eaux de surface libre
sols nus/habitats	Zones urbanisées, routes, espaces avec couverture végétale absente ou herbeuse
Forêt dégradée	Espaces couverts par la forêt dégradée
Culture vivrière/ jachère	Surfaces cultivées et les espaces ayant une végétation peu dense, végétation après reprise.
Forêt dense /Culture pérenne	Espaces couverts par une mosaïque de forêt et culture pérenne à forte réflectance

3.2.2 ANALYSE STATISTIQUE DES UNITES DE L'OCCUPATION DU SOL SUR LE BASSIN VERSANT DE LA LOBO

La modification de l'occupation du sol est appréciée par les variations spatio-temporelles des superficies des classes d'occupation du sol entre 1986 et 2015. L'analyse diachronique des images couvrant le bassin versant de la Lobo a permis de mieux apprécier la modification de l'occupation du sol. A partir des statistiques obtenues pour chaque classe d'occupation du sol en pixels, le taux d'évolution de ces classes a été calculé par la relation suivante:

$$T = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \times 100 \quad (1)$$

Avec:

- T: taux d'évolution de la végétation entre les deux dates d'observation;
- V_0 : la proportion de la classe d'occupation du sol prise à l'état initiale et;
- V_1 : la proportion de la classe d'occupation du sol prise à l'état final.

3.2.3 ANALYSE DES CHANGEMENTS

L'analyse des changements du couvert végétal est réalisée à partir du logiciel TerrSet. Ce logiciel à été conçu par l'Université Clark au Etats Unis. Le logiciel TerrSet intègre les outils d'analyse des systèmes d'informations géographiques (SIG) et de traitement d'images. L'outil Land Change Modeler (LCM) a été utilisé pour l'évaluation des changements entre les années 1986 et 2014. Cet outil permet une estimation des changements (pertes, gains, changements nets) par la création de graphiques.

4 RESULTATS

4.1 OCCUPATION DU SOL SUR LE BASSIN VERSANT DE LA LOBO

Une analyse des différentes images a permis de mettre en évidence une modification de l'occupation du sol en général et du couvert végétal. Les différents thèmes de l'occupation ont été regroupés en cinq (5) grandes entités qui sont: forêt dense/culture pérenne, forêt dégradée, culture vivrière/jachère, sol nu /habitat et cours d'eau. La carte d'occupation du sol de 1986 obtenue (Figure 3) montre que près de la moitié de la zone d'étude est constituée de forêt dense/culture pérenne soit 41,58 % de la zone d'étude. Cette forêt était une partie de la forêt classée de Dania et du parc de la Marahoué située du côté sud-ouest et sur le réseau hydrographique à l'Est de la zone d'étude. Elle s'étale principalement au Nord, Nord-Ouest, à l'ouest,

à l'Est et au Sud de la zone d'étude. Les cultures pérennes concernent les plantations de café, cacao, anacarde. La forêt dégradée représentait 31,89 % de la zone d'étude soit 4068,49 km². Elles sont fortement représentées au centre ouest du bassin versant de la Lobo. Les cultures vivrières/jachères sont disséminées sur toute la zone d'étude, principalement à l'Ouest, à l'est et au Sud. Les cultures vivrières concernent le riz, le manioc, l'igname et les maraîchères. Elles correspondent à 3,17 % du bassin versant de la Lobo. La classe sols nus/habitats correspond aux habitats construits dans les règles d'urbanisation et des habitats précaires. Il y a également des sols nus. Cette classe couvrait 2 897,10 km² soit 22,90 % de la zone d'étude. Quant au cours d'eau, il vaut 0,46 % de la zone d'étude. Il correspond au réseau hydrographique et aux retenues sur le bassin versant de la Lobo.

La carte d'occupation du sol de 2014 obtenue (Figure 3) montre que la classe forêt dense/culture pérenne représente 48,57 % de la zone d'étude soit 6 178,94 km². Cette classe est en partie constituée de plantations industrielles d'hévéas, d'anacarde et de teck qui ont la même réflectance qu'une forêt naturelle. Elle est disséminée sur tout le bassin versant. Concernant la forêt dégradée, elle correspond à 9,52 % de la zone d'étude. Elle s'étale principalement au Centre Nord et Sud de la zone d'étude. Les cultures vivrières/jachères sont disséminées sur toute la zone d'étude, principalement à l'ouest, à l'est et au sud. Les cultures concernent le riz, l'igname, le manioc et les maraîchères (Figure 4). Cette classe correspondait à 9,14 % du bassin versant de la Lobo soit 1163,02 km². 31,35 % de la zone d'étude est constituée de sol nu/habitat soit 3 989,60 km². Il y a également des sols nus. Ils peuvent également comprendre les terrains en cours de lotissement ou en construction. Cette classe est représentée sur tout le bassin versant de la Lobo. Les cours d'eau représentaient 1,42 % du bassin versant de la Lobo.

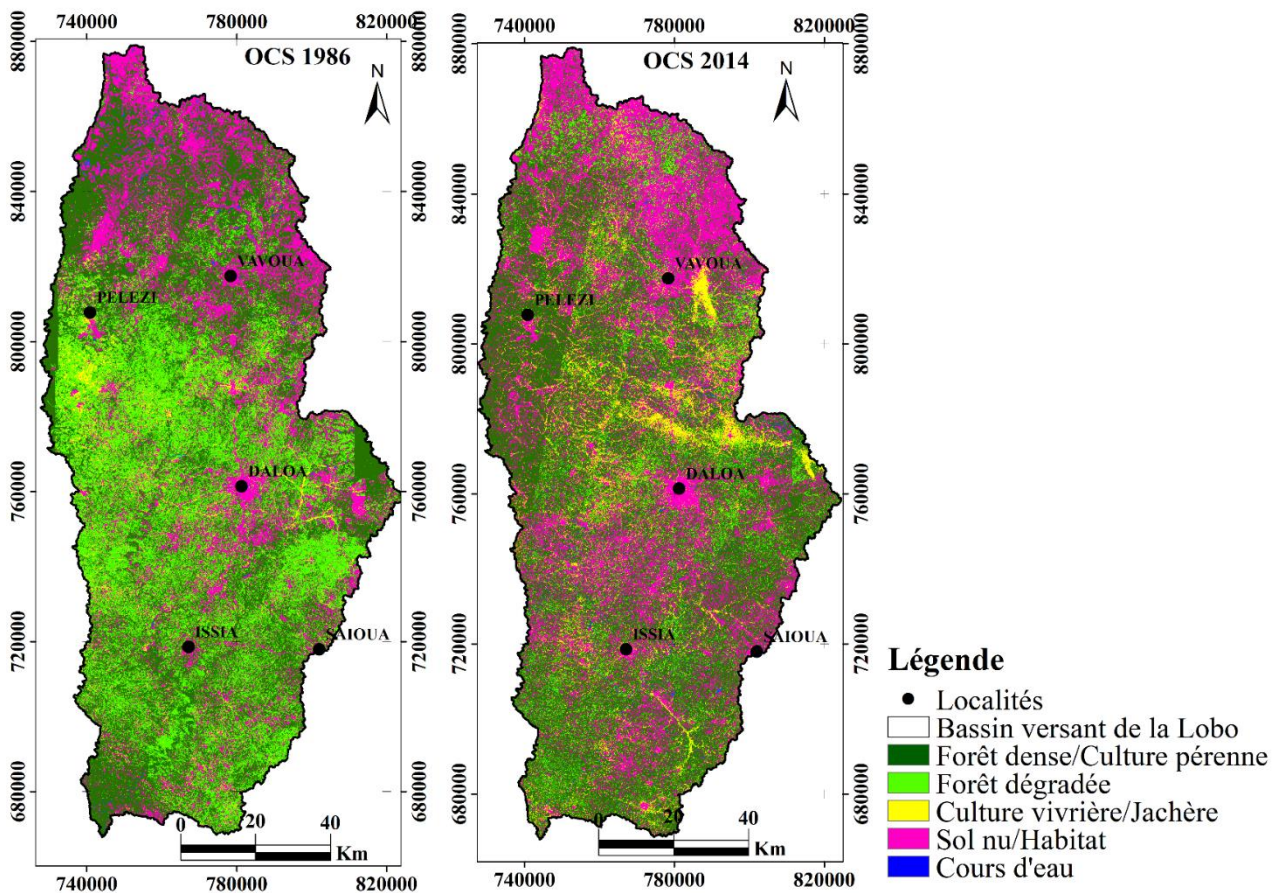


Fig. 3. Carte d'occupation du sol de 1986 et 2014

4.2 DYNAMIQUE DE L'OCCUPATION DU SOL DANS LE BASIN VERSANT DE LA LOBO

La figure 4 présente la dynamique de l'occupation du sol dans le bassin versant de la Lobo entre 1986 et 2014. Deux tendances sont mises en évidence (une régression et une progression). L'analyse la figure 4 montre une régression de la classe forêt dégradée de 70,51 %. A l'opposé, on remarque une progression des classes: forêt dense /culture pérenne (16,81 %), culture vivrière/jachère (188,33 %), sol nu/habitat (36,90 %) et cours d'eau (208,70 %).

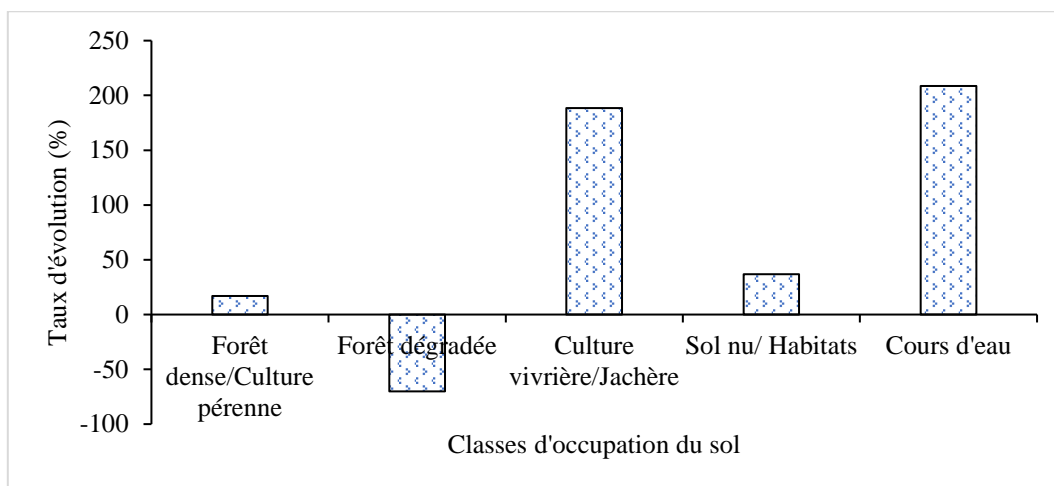


Fig. 4. Evolution de l'occupation du sol entre 1986 et 2014

Les modifications de l'occupation du sol sont assez nettes et se traduisent de façon qualitative et quantitative par les changements dans l'espace géographique et l'évolution des superficies figure 4 et figure 5.



Fig. 5. Dégradation du sol au profit de l'agriculture à Dema (département de Vavoua) (Deguy, Août 2017)

4.3 ANALYSE DES CHANGEMENTS D'OCCUPATION DU SOL AVEC LCM ENTRE 1986 ET 2014

Les pertes et les gains des classes d'occupation du sol entre 1986 et 2014 sont illustrés à la figure 6. En prenant en compte les pertes et les gains des différentes classes d'occupation du sol pendant la période 1986-2014, les cours d'eau ont réalisé un gain de 0,60 % de leur surface. La classe des sols nus/habitats a gagné 5,25 % sur le bassin versant de la Lobo. Quant à la classe culture vivrière/jachère, elle a fait un gain de 3,72 %. Concernant la forêt dégradée, elle a perdu 13,91 % sur le bassin versant de la Lobo. Sur la même période, la forêt dense/culture pérenne a fait un gain de 4,34 %.

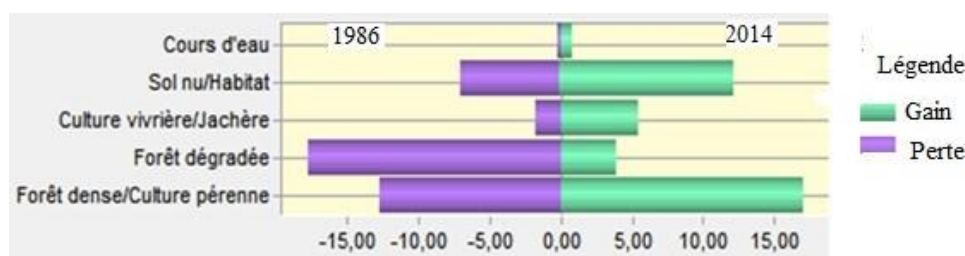


Fig. 6. Gains et perte des classes d'occupation du sol entre 1986 et 2014 (%)

Les transformations des différentes classes d'occupation du sol entre 1986 et 2014 sont représentées à la figure 7. Cette figure met en évidence les pertes, les persistances et les gains des différentes classes d'occupations du sol sur le bassin versant de la Lobo. La figure 7 A représente les transformations réalisées au cours de la période 1986-2014 par la classe sol nu/habitat. Les pertes en sol nu/habitat sont prononcées à l'est, au nord et sud du bassin versant de la Lobo. Quant aux gains, ils se situent au nord-ouest, nord-est et au sud pour cette classe. Concernant les persistances, elles sont au niveau des localités. La figure 7 B montre les transformations subies de la classe culture vivrière/jachère au cours de la période 1986-2014. Les pertes en culture vivrière/jachère sont plus visibles à l'ouest et disséminées au sud. Les gains sont plus perceptibles au nord, à l'est et au sud (Figure 7 B). La figure 7 C met en évidence les transformations de la forêt dense/culture pérenne pendant la période 1986-2014. Les forêts denses/cultures pérennes ont disparu à l'ouest et à l'est. Cette classe a gagné le centre du bassin versant de la Lobo en 2014 (Figure 7 C). Les transformations de la classe forêt dégradée au cours de la période 1986-2014 sont illustrées par la figure 7 D. Les pertes en forêt dégradée sont visibles au centre, au sud et à l'ouest du bassin versant de la Lobo.

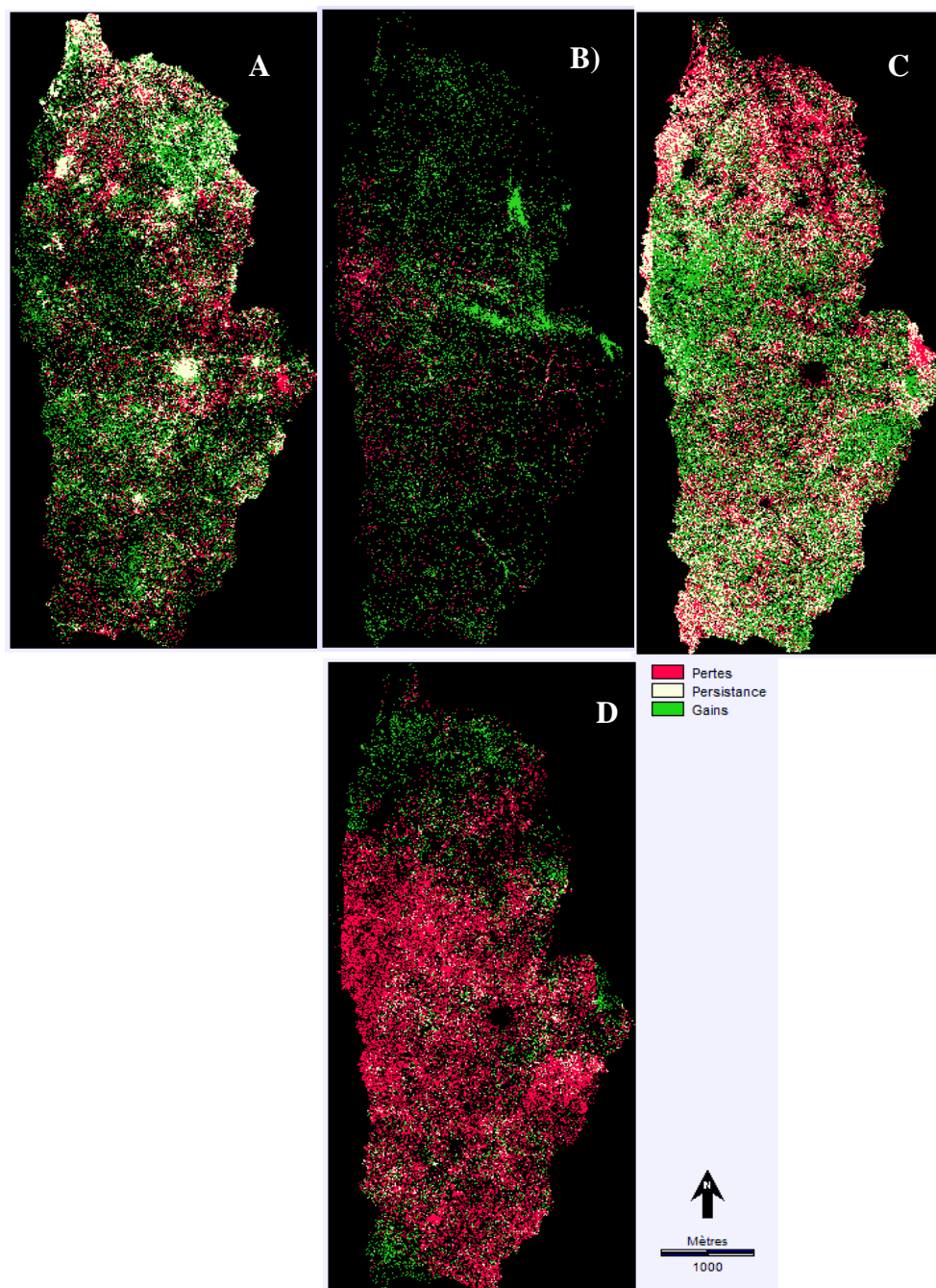


Fig. 7. Transformation des classes d'occupation du sol entre 1986 et 2014: A) Sol nu/Habitat, B) Culture vivrière/Jachère, C) Forêt dense/Culture pérenne, D) Forêt dégradée

La figure 8 montre les changements nets entre les différentes classes d'occupation du sol. La classe forêt dégradée a perdu 317 ha. Les classes cours d'eau, sol nu/habitat, culture vivrière/jachère et forêt dense/culture pérenne ont acquis en superficie respectivement 14 ha, 120 ha, 84 ha et 99 ha.

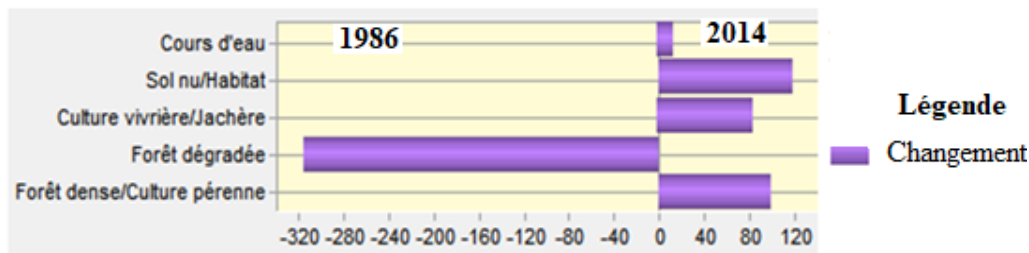


Fig. 8. Analyse des changements nets par classe d'occupation du sol entre 1986 et 2014

5 DISCUSSION

La précision globale des différentes cartes d'occupation du sol est respectivement de 98,20 et 99,96 % pour 1986 et 2014 avec des coefficients kappa de 0,97 et 0,99. Les différents types d'occupation du sol de la zone d'étude sont les sols nus/habitats, les plans d'eau et une couverture végétale (forêts dégradées, jachère, plantations d'hévéa, de cacao, d'anacarde). Le bassin versant de la Lobo est hautement anthropisé, car les sols nus occupent entre 22 % et 31% de la zone d'étude. Il y a une prolifération des cultures vivrières /jachères et des forêts denses/cultures pérennes. La forte conversion des forêts dégradées en sols nus/habitats durant la période 1986 - 2014 est constatée. Cette situation est due à une forte colonisation agricole par les migrants de l'ancienne boucle de café-cacao venus de l'est de la Côte d'Ivoire [12]. Par ailleurs, l'utilisation des feux -de brousse pour une agriculture extensive [10], l'exploitation abusive du bois et la création des plantations favorisent cette conversion. Cette colonisation accrue contribue à l'augmentation des pertes de sol [13].

La dynamique de l'occupation du sol révèle que de 1986 à 2014, la forêt dégradée a connu une régression de 70,51 %. Les sols nus/habitats, forêts denses/cultures pérennes, des cultures vivrières/jachères et et cours d'eau ont progressés respectivement de 36,90 %; 16,81 %, 188,33 % et 208,70 %. Cette progression de la superficie des unités anthropisées entre 1986 et 2014 serait liée d'une part à l'augmentation de la population dans le secteur d'étude et d'autre part à une demande croissante des terres agricoles [14]. En effet, de 1986 en 2014, la densité moyenne de la population du bassin versant de la Lobo est passée de 26 à 57 hbs/km² soit une progression de 119,23 % [15]. La diminution des forêts dégradées seraient liée à l'augmentation des sols nus/habitats, des zones de cultures vivrières/jachères et cultures pérennes ayant une réflectance de forêt dans la zone d'étude [16] et [17]. L'entrée de nouveaux produits agricoles comme l'hévéa et l'anacarde, qui sont des cultures de rente très peu exigeantes en eau.

6 CONCLUSION

La dynamique de l'occupation du sol indique une augmentation des classes sols nus/habitats, cultures vivrières/jachères, forêts denses /cultures pérennes et cours d'eau (208,70 %) respectivement de 36,90 %; de 16,81 % et de 188,33 % au détriment des forêts dégradées (70,51 %).

Pendant la période 1986-2014, les différentes classes d'occupation du sol ont subi des pertes et les gains. Les gains sont perçus au niveau des cours d'eau (0,60 %), des sols nus/habitats (5,25 %), des cultures vivrières/jachères (3,72 %) et la classe des forêts denses/cultures pérennes 4,34 %. Concernant la classe forêt dégradée, elle a perdu 13,91 % sur le bassin versant de la Lobo sur la même période. Concernant les changements nets entre les différentes classes d'occupation du sol, la classe forêt dégradée a perdu 317 ha. Les classes cours d'eau, sol nu/habitat, culture vivrière/jachère et forêt dense/culture pérenne ont acquis en superficie respectivement 14 ha, 120 ha, 84 ha et 99 ha.

RECONNAISSANCE

Au terme de cette étude, nous remercions vivement le Laboratoire Géosciences et Environnement de l'Université Nangui ABROGOUA, ainsi que le Laboratoire des Sciences et Technologie de l'Environnement de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa pour leur contribution dans ce travail.

REFERENCES

- [1] Rey F., Ballais J. L., Marre A. et Rovera G. (2004). Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface. *Comptes rendus géoscience*, 336 (11): 991-998.
- [2] Koua J. J. T., Anoh A. K., Soro D. T., Kouame J. K. et Jourda R. J. P. (2019). Evaluation of Agricultural Practices Scenarios for Reducing Erosion in Buyo Lake Catchment (Sassandra; Côte d'Ivoire) by Use of GIS. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 7 (7): 154-171.
- [3] Kouadio Z. A., N'go Y. A., Djè K. B., Adou K. P. X., Goula B. T. A. et Savané I. (2018). Spatial Analysis of Erosive Runoff in the Mé Watershed (Côte d'Ivoire). *Journal of Water Science & Environment Technologies*, 3 (02): 376-382.
- [4] Brou Y. T (2010). Risques climatiques, pressions foncières et agriculture en Côte d'Ivoire. Global change: Facing risks and Threats to Water Resources (Proc. Of the sixth World FRIEND Conference, Fez, Morocco, October 2010). Publications - *International Association of Hydrological Sciences*, 340: 320-326.
- [5] Bouguerra S. A. (2018). Quantification Et Modelisation Du Transport Solide En Climat Semi-Aride, Cartographie Du Risque D'érosion Hydrique Au Moyen D'un Sig: *Cas Des Deux Bassins Versants Oued Boukiou Et Oued Boumessaoud (NW De L'algerie)*, Thèse Doctorat Université ABOUBEKR BELKAID, TLEMCCEN, 165p.
- [6] Koutoua A. J-P. (2019). Planification urbaine et développement du grand Abidjan: cas des villes d'Anyama, de Bingerville et de grand-Bassam, Thèse Université Felix Houphouët Boigny (Abidjan-Cocody), 353p.
- [7] Mulot V., Vignerot A. L. et Lambert-Hadid M. L. (2010). Le littoral face aux changements climatiques. La gestion des risques de submersion marine. *Méditerranée. Revue géographique des pays méditerranéens/Journal of Mediterranean geography*, (115), 131-137.
- [8] Yao A. B., Goula B. T. A., Kouadio Z. A., Kouakou K. E., Kane A. et Sambou S. (2012). Analyse de la variabilité climatique et quantification des ressources en eau en zone tropicale humide. Cas du bassin versant de la Lobo au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, 19: 136-157.
- [9] Yao A. B. (2015). Evaluation des potentialités en eau du bassin versant de la Lobo en vue d'une gestion rationnelle (Centre Ouest de la Côte d'Ivoire), Thèse Unique de Doctorat de l'Université Nangui-Abrogoua, Côte d'Ivoire, 225p.
- [10] Avenard J. M. (1971). Aspect de la géomorphologie in Avenard J. M., Eldin M., Girard G., Sircoulon J., Touchebeuf P., Guillaumet J. L., Adjanohoun E. et Perraud A. (Eds.): Milieu naturel de Côte d'Ivoire. *Mémoire ORSTOM*, Paris, France, (50): 8-73.
- [11] Ibo G. J. (2007). Fronts pionniers et retraits de terres: points de vue sur la sécurisation du foncier en Côte d'Ivoire. *GEOTROPE, Revue de l'Institut de Géographie*, (1): 3-19.
- [12] N'Go Y. A. (2015). Hydrologie et dynamique de l'état de surface des terres dans le sud-ouest de la Côte d'Ivoire: impacts et moteurs de dégradation. Thèse de doctorat D'État Ès-Sciences Naturelles, 220 p.
- [13] Eblin S.G., Yao A.B., Anoh K.A. et Soro N. (2017). Cartographie de la vulnérabilité multifactorielle aux risques d'érosion hydrique des sols de la région d'Adiaké, sud-est Côtier de la côte d'ivoire. *Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 30: 197-216. <http://www.revist.ci>.
- [14] Akognongbe A., Abdoulaye D., Vissin, E. W. et Boko, M. (2014). Dynamique de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'Oueme à l'exutoire de Bétérou (Bénin), *Afrique Science: Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 10 (2): 228 – 242.
- [15] Deguy Attoungbré Jean-Philippe (2021): Evaluation de la vulnérabilité à l'érosion hydriques des sols du bassin versant de la Lobo (Cote d'Ivoire): Approche par modélisation. Thèse de Doctorat Unique, Université NANGUI ABROGOUA, UFR Sciences et Gestions de l'Environnement, 194p.
- [16] Kouassi K. H., Koua T. J. J., Zro B. G. F. et N'Go Y. A. (2020). Contribution of a Geographical Information System to the study of soil erosion by water in the watershed of the hydro-agricultural dam of Babadou (Côte d'Ivoire). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 28 (2): 458-467.
- [17] N'Go Y. A., Kouadio Z. A., Deguy A. J-P., Hien S. A., Goula B. T. A. and Savané I. (2018). Influence de la dynamique de l'occupation du sol sur la quantité de perte de sol au sud du bassin versant du Sassandra (Côte D'Ivoire). *International Journal of Advanced Research*, 6: 830-838. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/691>.

Evolution de la production fourragère de trois cultures fourragères suivant les coupes: Le pois d'Angole (*Cajanus Cajan* (L.) Millsp.), le sorgho fourrager (*Sorghum bicolor* (L.)) et le Maralfalfa (*Pennisetum purpureum* Schum.)

[Evolution of fodder production of three fodder crops according to the cuts: Pigeon pea (*Cajanus Cajan* (L.) Millsp.), fodder sorghum (*Sorghum bicolor* (L.)) and Maralfalfa (*Pennisetum purpureum* Schum.)]

Alhassane Ali¹, Soumana Idrissa², and Mahamane Ali³

¹Departement des Productions Animales et Technologies des Aliments, Université Djibo Hamani, Tahoua, Niger

²Departement des Productions Animales, Institut National de la Recherche Agronomique, Niamey, Niger

³Departement de Biologie, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger

Copyright © 2024 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study conducted on three fodder crops namely pigeon pea (*Cajanus Cajan* (L.) Millsp.), fodder sorghum (*Sorghum bicolor* (L.)) and Maralfalfa (*Pennisetum purpureum* Schum.), aimed to study the variation in fodder production of these three crops after three cuts and to compare the fodder yields of these three crops. Apart from fodder sorghum, fodder production of all crops increased significantly at the second cut. However, at the third cut, carried out during the rainy season, fodder production of all three crops increased by two to six times compared to the first cut. Maralfalfa with 69.34 tons of dry matter per hectare, gave the highest total fodder production after three cuts. A fodder production that is more than twice the total production of sorghum and more than three times the total production of pigeon peas.

KEYWORDS: Fodder crops, hot dry season, Sahel.

RESUME: Cette étude conduite sur trois cultures fourragères à savoir le pois d'Angole (*Cajanus Cajan* (L.) Millsp.), le sorgho fourrager (*Sorghum bicolor* (L.)) et le Maralfalfa (*Pennisetum purpureum* Schum.), avait pour objectifs d'étudier la variation de la production fourragère de ces trois cultures au bout de trois coupe et de comparer les rendements fourragers de ces trois cultures. A part le sorgho fourrager, la production fourragère de toutes les cultures a augmenté significativement à la deuxième coupe. Cependant à la troisième coupe, effectuée durant la saison des pluies, la production fourragère de toutes les trois cultures a été multipliée de deux jusqu'à six fois par rapport à la première coupe. Le maralfalfa avec 69,34 tonnes de matières sèches par hectare, a donné la plus grande production fourragère totale au bout de trois coupes. Une production fourragère qui fait plus de deux fois la production totale du sorgho et plus de trois fois la production totale du pois d'Angole.

MOTS-CLEFS: Cultures fourragères, saison sèches chaudes, Sahel.

1 INTRODUCTION

Au Sahel, bien que l'élevage joue un rôle important dans la vie socioéconomique des populations, il est essentiellement pratiqué de façon traditionnelle et extensive et les pâturages naturels constituent une part importante de l'alimentation des

animaux. Ces pâturages sont très peu productifs ces dernières années et la disponibilité en quantité et en qualité du fourrage est une des contraintes majeures de l'élevage [1]. Or, l'amélioration des productions animales dépend non seulement de l'amélioration génétique et de la maîtrise de la santé du bétail, mais aussi pour beaucoup de l'alimentation des animaux [2]. Ainsi, dans un contexte de faible productivité des pâturages, l'éleveur a généralement une maîtrise partielle de la ration de ses animaux et des répercussions sur le développement, la production recherchée et la santé peuvent alors apparaître. [2] La solution pour faire face cette situation, serait la pratique des cultures fourragères. En effet, il existe un large éventail de cultures fourragères bien appréciées par les animaux et adaptées à leurs besoins alimentaires. C'est le cas du pois d'Angole, du sorgho fourrager et du maralfalfa. La présente étude a pour objectif d'évaluer l'évolution de la production fourragère de ces trois cultures suivant les coupes.

2 MATERIEL ET METHODE

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE

Cette étude a été conduite dans la ville de Tahoua plus précisément dans le site expérimental de la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université Djibo Hamani de Tahoua.

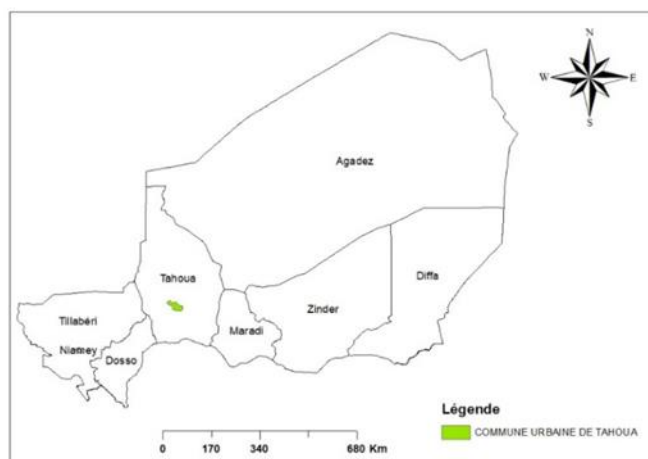


Fig. 1. Situation géographique de la ville de Tahoua au Niger

Le climat de la ville de Tahoua est de type sahélien avec une saison sèche allant généralement d'octobre à mai. La période des fortes chaleurs correspond aux mois d'avril à juin où les températures journalières moyennes tournent autour de 40 degrés ° C. Les essais ont été installés au mois de mars et conduits jusqu'au mois de septembre 2024

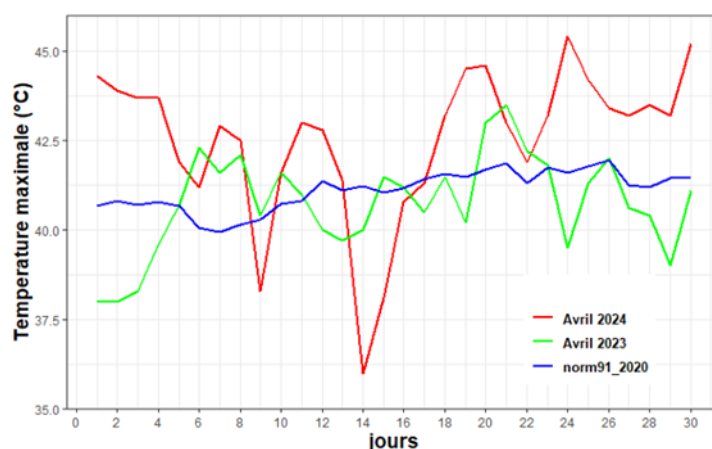


Fig. 2. Variation journalière des températures maximales du mois d'avril 2024 vs 2023 et normale 1991- 2020 à Tahoua, Source: [3]

2.2 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

L'étude a été conduite avec un cultivar de chacune des trois cultures en étude. Le dispositif expérimental adopté est un dispositif en randomisation totale. Il est à un facteur (espèces fourragères) et deux répétitions. Les parcelles ont des dimensions de 6 mètres carrés (3 m x 2 m). Le terrain est homogène avec un sol de type sablo-limoneux. Les semis ont été effectués en poquet avec des écartements de 1 m entre les lignes et 0,5 m entre les poquets d'une même ligne pour le pois d'Angole; 0, 15 cm x 0.15 cm pour le sorgho fourrager multicoupe et 1 m x 1 m pour le maralfalfa. Toutes les cultures étaient irriguées une fois tous les 6 jours pendant la saison sèche chaude et au besoin pendant la saison des pluies.

2.3 COLLECTE ET TRAITEMENT DES DONNÉES

Les premières et deuxièmes coupes de fourrages ont pas été faites pendant la saison sèche chaude mais pas à la même date pour les trois cultures car elles n'avaient pas la même vitesse de croissance, cependant, les troisièmes coupes ont été faites à la même date (fin septembre) pour toutes les cultures durant la saison des pluies. Le traitement des données a consisté à calculer la production moyenne par coupe pour chacune des trois cultures.

3 RESULTATS

3.1 PRODUCTION FOURRAGERE À LA PREMIERE COUPE

A la première coupe, la production fourragère est très différente d'une culture à une autre. En effet, à la première coupe, la production fourragère varie de 2,19 tonnes de matières sèches par hectare pour le pois d'Angole qui a la plus faible production à 9,28 tonnes de matières sèches par hectare pour le Maralfafa qui a la plus grande production fourragère. Elle était de 5,38 tonnes de matières sèches par hectare pour le sorgho qui a le rendement fourrager intermédiaire.

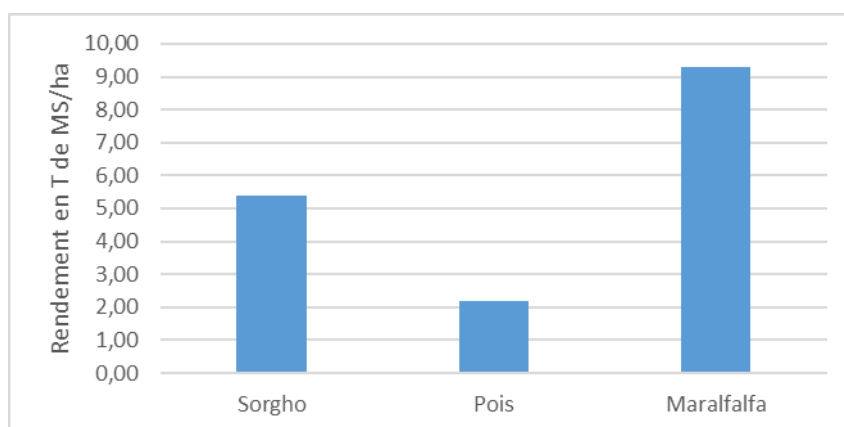


Fig. 3. Production fourragère à la première coupe

3.2 PRODUCTION FOURRAGERE À LA DEUXIEME COUPE

A la deuxième coupe aussi, la production fourragère est très différente d'une culture à une autre. A cette coupe, la production fourragère varie de 2,76 tonnes de matières sèches par hectare pour le sorgho qui a la plus faible production fourragère à 13,98 tonnes de matières sèches par hectare pour le Maralfafa qui la plus grande production fourragère. Elle était de 3.53 tonnes de matières sèches par hectare pour le pois d'Angole qui a le rendement fourrager intermédiaire. La figure 4 ci-après, présente la production fourragère des différentes cultures à la deuxième coupe.

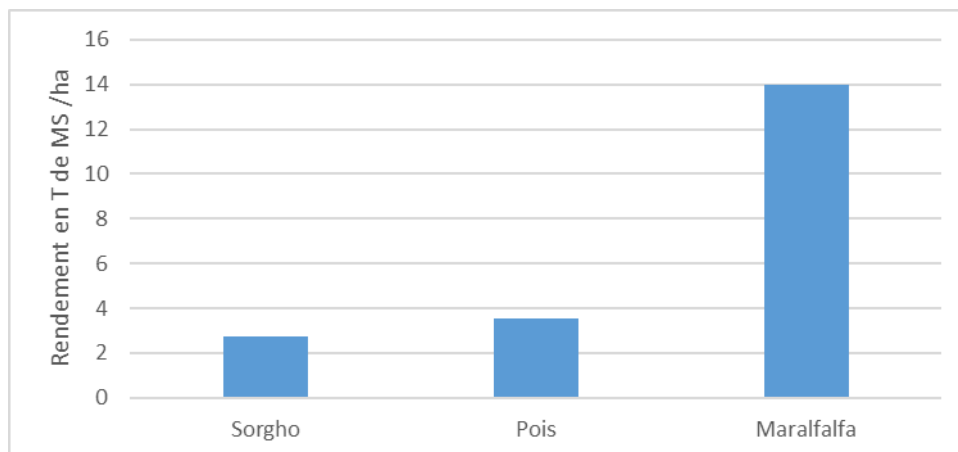


Fig. 4. Production fourragère à la deuxième coupe

3.3 PRODUCTION FOURRAGERE À LA TROISIEME COUPE

Tout comme pour les deux premières coupes, à la troisième coupe aussi la production fourragère n'est pas la même pour les trois cultures. En effet, à cette coupe, la production fourragère varie de 16,08 tonnes de matières sèches par hectare pour le pois d'Angole qui a la plus faible production fourragère à 46,08 tonnes de matières sèches par hectare pour le Maralfafa qui la plus grande production fourragère. Elle était de 19,99 tonnes de matières sèches par hectare pour le sorgho qui a le rendement fourrager intermédiaire. La figure 5 ci-après, présente la production fourragère des différentes cultures à la troisième coupe.

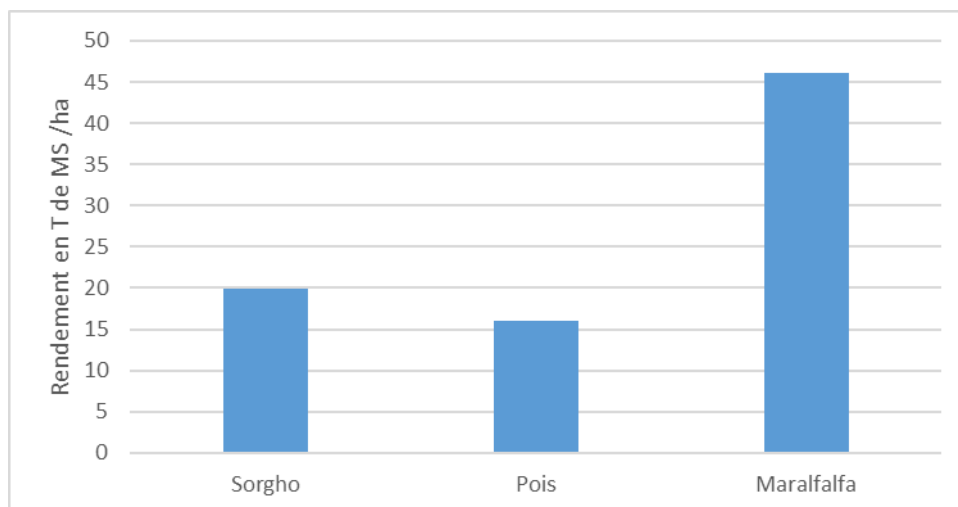


Fig. 5. Production fourragère à la troisième coupe

3.4 PRODUCTION FOURRAGERE MOYENNE AU BOUT DES TROIS COUPES

La production fourragère moyenne au bout des trois coupes est aussi très variable d'une culture à une autre. Ainsi, la production fourragère moyenne par coupe varie de 9,38 tonnes de matières sèches par hectare pour le sorgho à 23,11 tonnes de matières sèches par hectare chez le Maralfalfa. Elle était de 9,38 tonnes de matières sèches par hectare chez le sorgho qui a la valeur intermédiaire. La figure 6 ci-après, présente la production fourragère moyenne au bout des trois coupes.

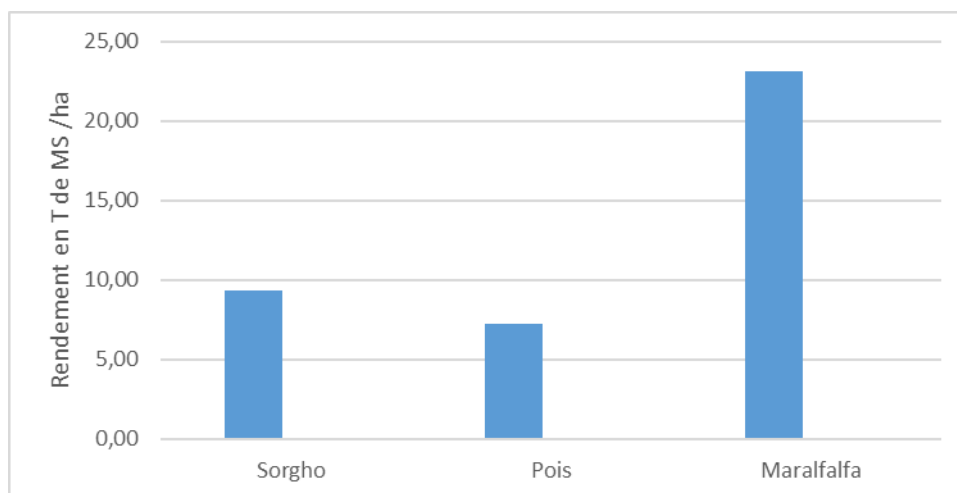


Fig. 6. Production fourragère moyenne au bout des trois coupes

3.5 PRODUCTION FOURRAGERE TOTALE AU BOUT DES TROIS COUPES

La production fourragère totale au bout des trois coupes aussi est différente d'une culture à une autre. Cette production totale varie de 21,80 tonnes de matières sèches par hectare pour le pois d'Angole à 69,34 tonnes de matières sèches par hectare chez le Maralfalfa. Elle était de 28,13 tonnes de matières sèches par hectare chez le sorgho qui a la valeur intermédiaire. La figure 7 ci-après, présente la production fourragère totale au bout des trois coupes.

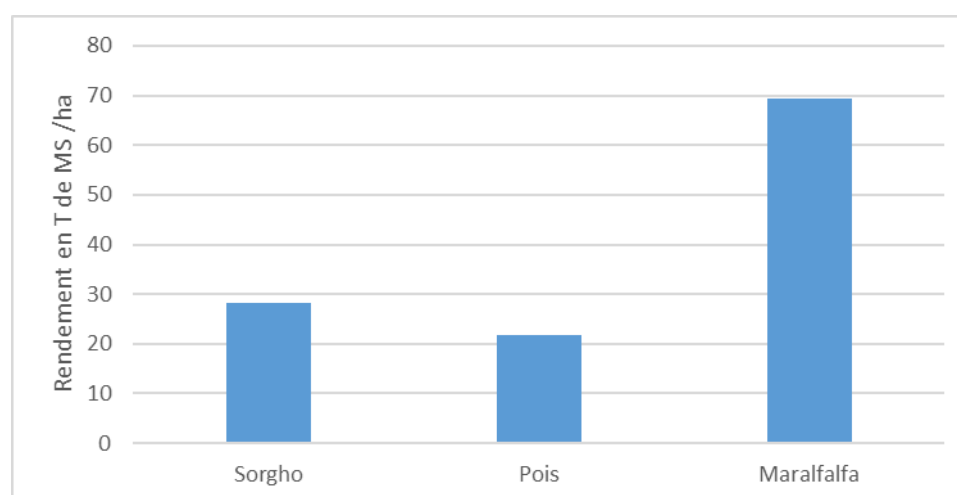


Fig. 7. Production fourragère totale au bout des trois coupes

4 DISCUSSION

Pour toutes les trois cultures, la production fourragère a varié au fil des coupes.

Pour le sorgho fourrager multicoupe, la production fourragère qui était de 5,38 tonnes de matières sèches par hectare à la première coupe, a chuté à 2,76 tonnes de matières sèches par hectare à la deuxième coupe soit une diminution de plus de 48 %. Cette chute peut s'expliquer par la forte chaleur du mois d'avril qui a caractérisé le début de repousse de la deuxième coupe. A la troisième coupe, la production fourragère était de 19,99 tonnes de matières sèches par hectare soit une augmentation de plus de 200 % par rapport à la première coupe. Cette augmentation de la production fourragère peut s'expliquer par la baisse des températures et la bonne pluviométrie qui a caractérisé la saison des pluies. Au bout des trois coupes, la production fourragère moyenne par coupe était de 9,38 tonnes de matières sèches par hectare et la production totale était de 28,13 tonnes de matières sèches par hectare. Ces rendements obtenus à la première et à la deuxième coupe sont inférieurs à ceux obtenus par [4] mais comparables à ceux obtenus par [5] et [6] tous ayant travaillé sur des sorgho monocoupes.

Pour le pois d'Angole, la production fourragère était de 2,19 tonnes de matières sèches par hectare à la première coupe. A la deuxième coupe, elle est passée à 3,53 tonnes de matières sèches par hectare soit une augmentation de plus de 60 %. Cette augmentation peut s'expliquer par une bonne repousse qui malgré la forte chaleur a permis d'améliorer la production. A la troisième coupe, la production fourragère est passée à 16,08 tonnes de matières sèches par hectare soit une augmentation de plus de 600 % par rapport à la première coupe. Cette forte augmentation de la production fourragère peut s'expliquer par la baisse des températures et aussi la bonne pluviométrie qui a caractérisé la saison des pluies. Au bout des trois coupes, la production moyenne par coupe était de 7,27 tonnes de matières sèches par hectare et la production totale était de 21,81 tonnes de matières sèches par hectare. Ces résultats sont similaires à ceux de [7] qui affirment que les rendements en fourrage de la plante sont de l'ordre de 3 à 8 t MS/ha et augmentent avec les coupes. La production totale de 14 tonnes de matières sèches par hectare sur 8 à 9 mois de culture obtenue par [8] est cependant deux fois inférieurs à nos résultats et les 4,8 tonnes de matières sèches par hectare en 7 mois obtenus par [9] sont très largement inférieurs à nos résultats.

Pour le maralfalfa, la production fourragère était de 9,28 tonnes de matières sèches par hectare à la première coupe. A la deuxième coupe, elle est passée à 13,98 tonnes de matières sèches par hectare soit une augmentation de plus de 50 %. Cette augmentation peut aussi s'expliquer par une bonne repousse qui malgré la forte chaleur a permis d'améliorer la production. A la troisième coupe, la production fourragère est passée à 46,08 tonnes de matières sèches par hectare soit une augmentation d'environ 400 % par rapport à la première coupe. Cette forte augmentation de la production fourragère peut s'expliquer par la baisse des températures et aussi la bonne pluviométrie qui a caractérisé la saison des pluies. Au bout des trois coupes, la production moyenne par coupe était de 23,11 tonnes de matières sèches par hectare et la production totale était de 69,34 tonnes de matières sèches par hectare. Le rendement total en matière sèche de 43,0 tonnes par hectare obtenu par [10] est similaire à nos résultats et il en est de même des 35 à 55 tonnes de matières sèches par hectare par an obtenus par [11].

A part le sorgho, pour toutes les deux autres cultures, la production fourragère a augmenté significativement à la deuxième coupe. Cependant à la troisième coupe, effectuée durant la saison des pluies, la production fourragère de toutes ces trois cultures a été multipliée de deux jusqu'à six fois par rapport à la première coupe. Le maralfalfa avec 69,34 tonnes de matières sèches par hectare a donné la plus grande production fourragère, une production fourragère qui fait plus de deux fois la production totale du sorgho et plus de trois fois la production totale du pois d'Angole. Cette forte productivité du maralfalfa est en accord avec [12] qui affirme que le maralfalfa produit une biomasse élevée.

Pour toutes ces cultures, les rendements obtenus même en une seule coupe sont très largement supérieurs à la production fourragère annuelle des pâturages sahéliens au Niger ([13], [14]).

5 CONCLUSION

Cette étude conduite sur des cultures fourragères a montré le potentiel productif de toutes ces cultures fourragères surtout en saison des pluies. Les productions obtenues même en une seule coupe sont très largement supérieures aux productions annuelles des pâturages naturels sahéliens. Ainsi, ces cultures fourragères pourraient bien être la solution aux problèmes de l'alimentation des animaux d'élevage, une alimentation basée essentiellement sur l'exploitation des pâturages naturels.

CONFLITS D'INTÉRÊT

Les auteurs de ce travail déclarent qu'il n'existe aucun conflit d'intérêt lié à ce travail.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Ministère de l'enseignement et supérieur et de la recherche scientifique pour le financement des travaux de cette étude à travers le Fonds d'Appui à la recherche scientifique et à l'innovation technologique (FARSIT).

REFERENCES

- [1] Hiernaux P, Diawara M. O., Kergoat L., Mougin É., 2016. La contrainte fourragère des élevages pastoraux et agro-pastoraux du Sahel, 39- 59.
- [2] Klein, H.D., Rippstein, G., Huguenin J., Toutain B., Guerin H., Louppe D. 2014. Les cultures fourragères Éditions Quæ, CTA, Presses agronomiques de Gembloux.
- [3] Direction de la Météorologie du Niger 2024.

- [4] Abdou M.M., Alzouma Mayaki Z., Dan Lamso N., Elhadji Seybou D., Ambouta J M.K. 2014. Productivité de la culture du sorgho (*Sorghum bicolor*) dans un système agroforestier à base d'*Acacia senegal* (L.) Willd. au Niger. *J. Appl. Biosci.* 82: 7339 -7346.
- [5] Abdou M.M, Issa S, Dan Gomma A, Sow A., Sawadogo G.J. 2017. Estimation des rendements et de la rentabilité économique de production de trois cultures: le sorgho, le niébé et la dolique à Djirataoua (Maradi – République du Niger) *J. Appl. Biosci.* 117: 11642-11650.
- [6] Togo S., Sogodogo D, B. Dembele J.S. Dembele S.G.2023. Effet de la fertilisation organo-minérale sur le rendement du sorgho dans la zone Soudano-Sahélienne du Mali. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 17 (5): 1841-1855. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v17i5.6>.
- [7] Ido E. J. 2016 Etude de Cycle de développement, production de biomasse, qualité fourragère et effet sur la fertilité du sol de quelques légumineuses fourragères «.MEMOIRE DE FIN DE CYCLE En vue de l'obtention du DIPLOME D'INGENIEUR EN VULGARISATION ADGRICOLE 64 PAGES. UNIVERSITE POLYTECHNIQUE DE BOBO-DIOULASSO INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL Burkina Faso.
- [8] CNRADA 2024. Centre National de Recherche Agronomique et de Développement Agricole de Mauritanie. Fiche technique de pois d'Angole. <https://cnrada.org/fiche-technique/fiche-technique-de-pois-d-angole/>.
- [9] Hoheringer A et Cardwell R. 1989. *Cajanus cajan* (L) Millsp. as a potential agroforestry component in the esterne province of Zambia. *Agroforestry systems* 9: 127 140.
- [10] Dokbua, Bhawit & Waramit, Naron & Chaugool, Jiraporn & Thongjoo, Chaisit. (2021). Biomass Productivity, Developmental Morphology, and Nutrient Removal Rate of Hybrid Napier Grass (*Pennisetum purpureum* x *Pennisetum americanum*) in Response to Potassium and Nitrogen Fertilization in a Multiple-Harvest System. *BioEnergy Research*. 14. 1-12. 10.1007/s12155-020-10212-w.
- [11] IRED-ACCEPT 2021. Formation Techniques de culture et d'utilisation du *Pennisetum Sp* « Maralfalfa » (recommendations). Partie 1 Techniques de culture du *Pennisetum Sp* « Maralfalfa.
- [12] Citalán-Cifuentes, L.; Domínguez-Coutiño, B.; Orantes-Zebadúa, M.A.; Manzur-Cruz, A.; SánchezMuñoz, B.; De los Santos-Lara, MC; Ruiz-Rojas, JL; Cruz-López, JL; Cordoue-Avalos, V.; Ramos-Juárez, JA; Nahed-Toral, J. 2012. Évaluation nutritionnelle de la Maralfalfa (*Pennisetum spp*) aux différents stades de croissance au ranch San Daniel, municipalité de Chiapas de Corzo, Chiapas. *Travail scientifique au Chiapas*. 1 (13): 19-23 (5).
- [13] Soumana I., 2011. Groupements végétaux pâturés des parcours de la région de Zinder et stratégies d'exploitation développées par les éleveurs Uda'en. Thèse de Doctorat, Université.
- [14] Abdou Moumouni de Niamey, Niamey, 229 p. Alhassane A., Soumana I, Chaibou I, Karim S., Mahamane A., Saadou M. 2018 Productivité, valeur pastorale et capacité de charge des parcours naturels de la région de Maradi, Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 12 (4), 1705-1716.

Effets de biofertilisants à base de filtrat d'*Azolla caroliniana* et du compost sur les paramètres physicochimiques et organoleptiques des fruits de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

[Effects of biofertilizers based on *Azolla caroliniana* filtrate and compost on physicochemical and organoleptic parameters of tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L.)]

Kouamé Kouassi Thiègba¹, Konan Kouakou Séraphin², Kouamé Kan Benjamin³, Konan Yao Bienvenu Aser¹, Dibi Konan Evrard Brice¹, Essis Brice Sidoine¹, and Groga Noë³

¹Centre National de Recherche Agronomique (CNRA), Station de Recherche de Bouaké, 01 BP 633 Bouake, Côte d'Ivoire

²Université Alassane OUATTARA, UFR Sciences et Technologies, BP V 18 01, Bouaké, Côte d'Ivoire

³Université Jean Lorougnon Guédé, UFR Agroforesterie, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 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 abusive use of chemical fertilizer in vegetable farming deteriorates the quality of vegetables and fruits. The objective of this study was to evaluate the effect of biofertilizers (*Azolla caroliniana* filtrate and compost) on the quality of tomato fruits through physicochemical and organoleptic parameters. Experiments were conducted over two consecutive years with four fertilization treatments: *Azolla caroliniana* filtrate, sawdust-based compost, NPK (10-18-18), and a control without fertilization. For each experiment, the fruits were sampled after ripening and transported to the laboratory for physicochemical analyses. The quantitative descriptive method was used for the sensory analysis of the fruits through the opinions of a tasting panel composed of 60 people. The results showed that *Azolla caroliniana* induced an increase in the pH (4.31) of the fruits compared to other treatments. Similarly, the application of *Azolla* significantly increased the vitamin C content (44.44 mg/100 g.fw) and lycopene content (6.43 mg/100 g.fw) of the fruits. Furthermore, the fruits of plants fertilized with compost and *Azolla caroliniana* were judged to be less salty, firm, and red-colored by the majority of the tasters. These biofertilizers allow for the production of high-quality tomatoes. Therefore, they can be used as alternatives to chemical inputs for soil fertilization.

KEYWORDS: Tomato, Biofertilizers, *Azolla caroliniana*, compost, physicochemical, organoleptic.

RESUME: L'utilisation abusive des intrants chimiques en culture maraichère détériore la qualité des légumes et fruits. L'objectif de cette étude était d'évaluer l'effet des biofertilisants (filtrat d'*Azolla caroliniana* et du compost) sur la qualité des fruits de tomate à travers les paramètres physicochimiques et organoleptiques. Des expérimentations ont été conduites sur deux années consécutives avec quatre traitements fertilisants: filtrat d'*Azolla caroliniana*, compost à base de sciure de bois, NPK (10-18-18) et un témoin sans fertilisation. A chaque expérimentation, les fruits ont été échantillonnés après mûrissement et acheminés au laboratoire pour les analyses physicochimiques. La méthode descriptive quantitative a été utilisée pour l'analyse sensorielle des fruits à travers les avis d'un jury de dégustateurs composé de 60 personnes. Les résultats ont montré que *Azolla caroliniana* a induit une augmentation du pH (4.31) des fruits comparativement aux autres traitements. De même, l'apport de *Azolla* a significativement augmenté la teneur des fruits en vitamine C (44,44 mg/100 g.mf) et en lycopenène (6,43 mg/100 g.mf). Par ailleurs, les fruits des plantes fertilisées avec le compost et *Azolla caroliniana* ont été jugés peu salés, fermes avec une coloration rouge par la majorité des dégustateurs. Ces biofertilisants permettent de produire des tomates de bonnes qualités. Ils peuvent donc être utilisés comme alternatifs aux intrants chimiques pour la fertilisation des sols.

MOTS-CLEFS: Tomate, biofertilisants, *Azolla caroliniana*, compost, physicochimiques, organoleptiques.

1 INTRODUCTION

La tomate (*Solanum lycopersicum*, L.) est une plante herbacée de la famille des Solanacées. Elle est cultivée pour ses fruits, destinés à l'alimentation humaine. C'est le deuxième légume, le plus consommé au monde après la pomme de terre [1]. Elle est consommée crue en salade ou cuite en mélange avec d'autres légumes. En plus de son utilisation à l'état frais dans la cuisine, il y a des conserves de tomate pâte sur le marché.

Par ailleurs, la culture de la tomate constitue une importante source de revenu pour les personnes qui s'y mettent. Selon [2], la production mondiale de tomate en 2022 était de 186,82 millions de tonnes. En Côte d'Ivoire, la production nationale de tomate est estimée à environ 44 000 tonnes/an selon le Ministère de l'agriculture; ce qui est insuffisante pour satisfaire les besoins de la population estimés à plus de 100.000 tonnes/an [3].

Pour produire suffisamment de tomate et faire du profit, les producteurs utilisent excessivement des engrais chimiques et des pesticides [4]. L'utilisation abusive de ces produits phytosanitaires pollue les eaux de surface et souterraines, perturbe l'équilibre du sol et surtout détériore la qualité des fruits en s'y accumulant [5], [6]. Ce qui constitue un risque pour la santé humaine.

A cet effet, plusieurs travaux de recherche ont été entrepris et ont révélé que les amendements organiques et les biofertilisants réduisent les risques de pollution de l'environnement, améliorent la fertilité et la structure du sol, favorisent un bon développement des plants et par conséquent accroissent la production [7], [8]. Dans cette même optique, nos travaux de recherches ont montré récemment que le filtrat d'*Azolla caroliniana* et le compost à base de sciure de bois, de fiente de poulet et de charbon de bois améliorent considérablement le rendement de la tomate [9]. Ainsi, l'objectif de cette étude est d'évaluer les effets du filtrat d'*Azolla caroliniana* et du compost sur les paramètres physicochimiques et organoleptiques des fruits de tomate.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

L'étude a été conduite sur le site expérimental de l'Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, en Côte d'Ivoire. Le site est situé entre 6°54' de latitude Nord et 6°26' de longitude Ouest (Figure 1). Il bénéficie d'un climat tropical humide. Les températures moyennes annuelles oscillent entre de 24,65 et 27,75 °C. La pluviométrie annuelle fluctue entre 1200 et 1800 mm [10]. Le sol est de type ferrallitique fortement ou moyennement altérés [11] et la végétation appartient au secteur ombrophile du domaine guinéen, caractérisé par la forêt dense humide à évolution régressive [12] (Sangaré *et al.*, 2009).

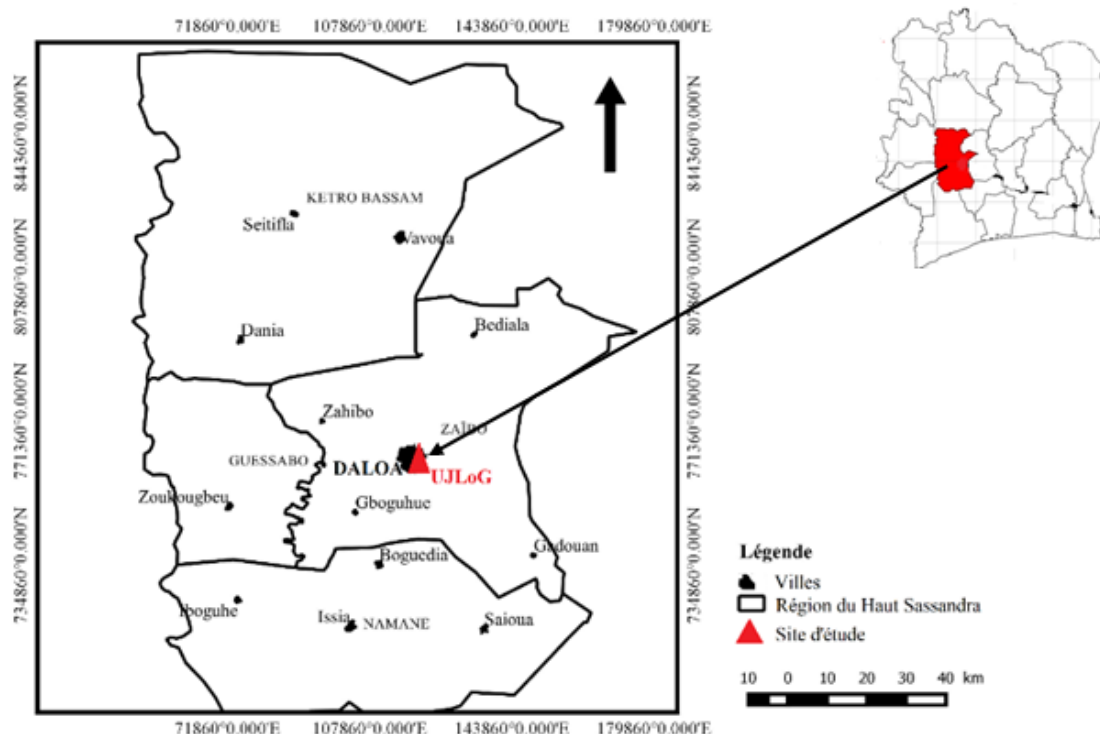


Fig. 1. Carte de la zone d'étude

2.2 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal de cette étude est constitué de fruits de tomate de la variété Boomerang F1. C'est une variété améliorée dont les semences proviennent du centre semencier français Technisem, distribuée en Côte d'Ivoire par la société Sémivoire. Il s'agit d'une variété à croissance indéterminée. Elle a été choisie pour son haut rendement, sa qualité gustative et pour l'obtention facile des semences.

2.3 MATÉRIEL FERTILISANT

Les fertilisants utilisés pour l'expérimentation sont le NPK (10-18-18), le filtrat de la fougère *Azolla caroliniana* (figure 3) et le compost à base de sciure de bois, de fiente de poulet et de charbon de bois.



Fig. 2. Semences de tomate de la variété Boomerang F1



Fig. 3. *Azolla caroliniana*

2.4 MÉTHODES

2.4.1 CONDUITE EXPÉRIMENTALE

Des essais ont été mis en place pour produire les fruits de tomate sur lesquels les effets des fertilisants ont été évalués et appréciés à travers les paramètres physicochimiques et organoleptiques.

Le dispositif expérimental était en blocs de Fisher complètement randomisés avec trois répétitions. Chaque bloc était constitué de quatre parcelles élémentaires de 12 m² correspondant au nombre de traitements dont deux biofertilisants (filtrat de *A. caroliniana* et le compost), un fertilisant chimique (NPK 10-18-18) et un témoin sans fertilisant. La distance entre les blocs était de 2 m et les parcelles élémentaires d'un même bloc étaient séparées les unes des autres de 2 m. La géométrie de repiquage était de 0,6 m entre les lignes et de 0,4 m entre les plants sur une même ligne, soit 45 plants de tomate par parcelle élémentaire.

Le filtrat d'*Azolla caroliniana* a été apporté à raison de 9 litres par parcelle élémentaire. Les apports du compost et du NPK ont été de 36 kg et de 240 g respectivement par parcelle élémentaire. A la maturité des fruits, ils ont été récoltés puis transportés au laboratoire pour les analyses.

2.4.2 ANALYSES DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES FRUITS

2.4.2.1 DETERMINATION DE LA TENEUR EN EAU

La teneur en eau des fruits a été déterminée sur 10 fruits par traitement à partir de la méthode proposée par [13] dont le principe repose sur la perte de masse de l'échantillon jusqu'à l'obtention d'une masse constante à 105 °C. À cet effet, des tranches de 5 g de tomate ont été pesées avant et après passage à l'étude à 105 °C pendant 24 heures à l'aide d'une balance de précision de type *Denver instrument Germany*. La teneur en eau a été déterminée à partir de la formule suivante:

$$Teneur\ en\ eau\ (\%) = \frac{M1 - M2}{PE} \times 100 \quad (1)$$

M1 : Masse fraîche de la prise d'essai (en g) ;

M2 : Masse sèche de la prise d'essai après l'étuvage ;

PE : Prise d'essai (en g).

2.4.2.2 DETERMINATION DU PH ET DE L'ACIDITE TITRABLE

Le pH et l'acidité titrable ont été déterminés selon la méthode décrite par [14]. Une quantité de 20 g de différents fruits de tomate d'un même traitement a été délayée dans 200 ml d'eau distillée formant une suspension de 10 % (m/v). Cette suspension a été agitée à l'aide d'une tige en verre à la température ambiante pendant 30 minutes et ensuite centrifugée à 6000 tr/min pendant 15 minutes.

Le potentiel hydrogène (pH) est une expression globale de l'acidité d'un produit. Il a été directement mesuré sur le surnageant recueilli au moyen d'un pH-mètre pHs-38w. Les mesures ont été faites en triple et les valeurs ont été notées afin d'établir une moyenne.

S'agissant de l'acidité titrable, le dosage a été effectué par titration avec la soude (NaOH 0,1N) en présence de la phénolphthaléine à partir de 50 ml du surnageant précédemment obtenu après la centrifugation. L'acide prédominant de la tomate est l'acide citrique monohydraté. Pour ce faire, il est utilisé dans l'expression des résultats selon la méthode normalisée (NA 691) (NF V0); ce qui permet d'aboutir à l'équation suivante:

$$A.T. \left(\frac{m\acute{e}q}{100g} \right) = \frac{N_b \times V_b \times V_d \times 100}{V_e \times PE} \quad (2)$$

V_b : Volume de soude versé (ml)

N_b : Normalité de la soude (0,1 N)

V_d : Volume de l'eau distillée (ml)

V_e : Volume de l'essai (ml)

PE : Prise d'essai (5 g)

A.T. : Acidité titrable

2.4.2.3 DÉTERMINATION DU BRUX

L'indice de réfraction est un paramètre de qualité important dans l'acceptation des fruits et légumes par les consommateurs. Le Brix traduit en pourcentage massique, la teneur en matières sèches solubles contenues dans une solution et exprimée en équivalent saccharose. Il a été déterminé également sur 10 fruits de même coloration (rouge) par traitement. Pour le déterminer, quelques gouttes du jus des tomates ont été déposées sur le prisme d'un réfractomètre numérique de type PR-1 Atago pour la lecture de l'indice de réfraction contre une source lumineuse. Les valeurs (en °B) affichées sur l'écran de l'appareil sont notées en vue d'établir une moyenne et ensuite exprimée en pourcentage selon la méthode normalisée (NA 5669).

2.4.2.4 DÉTERMINATION DE LA VITAMINE C

La teneur en vitamine C des tomates issues des différents traitements a été déterminée par la méthode de titrage indirecte de l'iodométrie décrite par [15]. Elle consiste à mettre un volume connu de jus de tomate en présence d'une quantité connue de diiode en excès. La totalité de la vitamine C réagit avec le diiode. Ensuite, l'excès de diiode est dosé par une solution de thiosulfate de sodium Na₂S₂O₃. Ainsi, une quantité de 20 g de tomate de chaque traitement a été broyée et dissoute dans 100 ml d'eau distillée. Le mélange a été ensuite filtré et le jus obtenu a été recueilli dans un bécher de 200 ml. Puis, 5 ml de jus de tomate filtré comprenant quelques gouttes d'empois d'amidon a été additionné à 5 ml d'une solution d'iode de concentration 12,02g/l d'I₂. L'excès d'iode de la solution est titré par une solution de thiosulfate de sodium de concentration 5.10⁻³ mol/l. Le dosage a été répété trois fois et les résultats ont été notés afin d'établir une moyenne.

2.4.2.5 DETERMINATION DE LA TENEUR EN LYCOPENE

Le taux de lycopène des fruits de tomate a été déterminé à l'aide d'un spectrophotomètre, à 502 nm [16]. En effet, une quantité de 10 grammes des fruits de tomate issus des différents traitements a été broyé dans un volume de 10 ml d'eau distillée. Ensuite, le broyat a été filtré avec du papier filtre et 1 ml du jus de tomate a été additionné de 7 ml d'un mélange hexane/acétone/méthanol (2: 1: 1) pour solubiliser les caroténoïdes. Le mélange obtenu a été protégé de la lumière avec du papier aluminium puis agité pendant 15 minutes au vortex et centrifugé à 3000 tr/min pendant 5 min. Le surnageant représentant la fraction organique a été recueilli et 1 ml d'hexane y a été ajouté. L'absorbance a été lue à 502 nm après une dilution au 1/10. La quantité de lycopène est donnée par la formule suivante:

$$\text{Teneur en lycopène } (\mu\text{g}) = (\text{Abs} - 0,0222) / 0,3016 \quad (4)$$

2.4.2.6 ANALYSE SENSORIELLE DES QUALITÉS ORGANOLEPTIQUES

La méthode utilisée pour l'analyse sensorielle des fruits de tomate est le descriptif quantitatif. Elle a consisté à prendre les avis d'un jury de dégustateurs de 60 personnes, à l'aide des fiches. Les dégustateurs sont des consommateurs réguliers de la tomate. Ils ont été recrutés au sein de la population estudiantine. Les qualités organoleptiques retenues étaient la coloration, le goût et la consistance (la fermeté).

L'analyse a été réalisée au Laboratoire de Biochimie de l'Université Jean Lorougnon Guédé. La session d'évaluation a été réalisée sur des tranches de tomate soigneusement codées et disposées dans des assiettes à usage unique. Les dégustateurs ont été convoqués par groupe de six personnes. Des instructions d'usage leur ont été communiquées. Ils doivent rincer 2 à 3 fois la bouche avec de l'eau distillée avant de passer à une autre tranche et remplir soigneusement les fiches.

2.4.2.7 ANALYSES STATISTIQUES DES DONNÉES

Les différentes données obtenues ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) à l'aide du logiciel STATISTICA version 7.1. En cas de différence significative ($p < 0,05$), le test de Student Newman-Keuls (SNK) a été réalisé pour séparer les moyennes.

3 RÉSULTATS

3.1 EFFETS DES FERTILISANTS SUR LES PARAMETRES PHYSICOCHIMIQUES DES FRUITS DE TOMATE

Les résultats ont montré un effet significatif ($P < 0,05$) des fertilisants sur l'ensemble des paramètres physicochimiques évalués (Tableau 1). Les teneurs en eau des fruits issus des différents traitements ont varié entre 92,20 et 93,23 %. Les teneurs en eau des fruits des plantes témoins sans fertilisation (93,23 %), des plantes fertilisées avec le filtrat d'*Azolla caroliniana* (93,20 %) et celle des fruits des plants fertilisés avec le NPK (92,99 %) ont été statistiquement identiques et supérieures à celle des plantes fertilisées avec le compost (92,20 %).

S'agissant du pH, les valeurs ont été comprises entre 4,04 et 4,31. Le pH le plus élevé a été noté chez les fruits des plantes fertilisées avec le filtrat d'*Azolla caroliniana* et le pH le plus faible a été enregistré chez les fruits obtenus sans fertilisation (témoin).

En ce qui concerne l'acidité, la plus forte valeur a été observée au niveau des fruits des plantes fertilisées avec le compost (6,85 g/l mf) et la plus faible a été obtenue chez les fruits des plantes de tomate traitées avec *Azolla caroliniana* (5,15 g/L MF).

Quant aux indices de réfraction, ils ont fluctué entre 6,63 et 7,50 %. Le plus fort indice de réfraction a été observé chez les fruits des plantes traitées avec le NPK ($p < 0,05$) et le plus faible chez les fruits des plantes témoins sans fertilisation.

Concernant les teneurs en vitamine C, les valeurs ont oscillé entre 27,99 et 44,44 mg/100 g de matière fraîche. Les teneurs en vitamine C des fruits des plantes fertilisées avec *Azolla caroliniana* (44,44 mg/100 g de mf) et avec NPK (43,56 mg/100 g de mf) ont été statistiquement identiques et supérieures à celles des fruits des plantes fertilisées avec le compost (33,88 mg/100 g de mf) et ceux des plantes non fertilisés (27,99 mg/100 g de MF).

Par ailleurs, *A. caroliniana* a augmenté de façon significative ($P < 0,05$) la teneur en lycopène des fruits de tomate (6,43 mg/100 g de matière fraîche (MF) tandis que celles des fruits provenant du compost et du NPK sont statistiquement égales à celle du témoin (tableau 1).

Tableau 1. Effet des traitements fertilisants sur les caractéristiques physico-chimiques des fruits de tomate

Paramètres chimiques	Fertilisants	Filtrat d' <i>Azolla caroliniana</i>	Compost	NPK	Témoin
Teneur en eau		93,20 ± 0,45 a	92,40 ± 0,30 b	92,99 ± 0,65 a	93,23 ± 0,51 a
pH		4,31 ± 0,18 a	4,10 ± 0,06 b	4,17 ± 0,06 ab	4,04 ± 0,07 b
Acidité (g/l MF)		5,15 ± 0,87 b	6,85 ± 1,25 a	5,88 ± 0,39 a	6,13 ± 0,69 a
Indice de réfraction (%)		6,80 ± 0,13 b	6,87 ± 0,30 b	7,50 ± 0,58 a	6,63 ± 0,48 b
Vitamine C (mg/100g MF)		44,44 ± 0,88 a	33,88 ± 1,52 b	43,56 ± 1,76 a	27,99 ± 5,17 c
Teneur en lycopène (mg/100g MF)		6,43 ± 1,30 a	5,57 ± 0,97 b	5,30 ± 0,20 b	5,03 ± 1,59 b

Moyennes ± Écart-type. Les valeurs affectées des lettres alphabétiques différentes sur la même ligne sont significativement différentes ($p < 0,05$), mf: matière fraîche

3.2 EFFET DES FERTILISANTS SUR LES PARAMETRES ORGANOLEPTIQUES DES FRUITS DE TOMATE

Les critères organoleptiques retenus pour apprécier les fruits de tomate étaient l'intensité de la couleur, le goût et la fermeté

3.2.1 INTENSITÉ DE COLORATION DES FRUITS

Le tableau 2 fait état de la répartition des dégustateurs selon leur appréciation de la couleur des fruits à la récolte par traitement fertilisant. Quarante et huit pour cent (48%) des dégustateurs ont trouvé que les fruits récoltés chez les plantes fertilisées avec le filtrat d'*Azolla caroliniana* étaient de couleur rouge. Par contre, 38,89 % et 12,96 % de ceux-ci les ont trouvés respectivement très rouge et peu rouge. Relativement aux plantes fertilisées avec le compost, 51,85 % des dégustateurs ont signifié que les fruits récoltés étaient de couleur rouge tandis que, 35,19 %, 11,11 % et 1,85 % des dégustateurs les ont qualifiés de très rouge, peu rouge et pas rouge respectivement. Plus de la moitié des dégustateurs (59,26 %) ont jugé les fruits récoltés chez les plantes fertilisées avec le NPK (10-18-18) de couleur rouge contre 25,93 % et 14,81 % des dégustateurs qui les ont trouvés respectivement peu rouge et très rouge. S'agissant des plantes non fertilisées, 44,44 % des dégustateurs ont signifié que les fruits récoltés étaient de couleur rouge contre 37 % et 15 % pour qui ces fruits étaient respectivement peu rouges et très rouge.

Tableau 2. Répartition des dégustateurs selon leur appréciation de l'intensité de coloration des fruits par traitement fertilisant

Fertilisants	Filtrat d' <i>Azolla caroliniana</i>	Compost	NPK (10-18-18)	Témoin sans fertilisant
Intensité de coloration des fruits				
Très rouge	38,89 %	35,19 %	14,81 %	14,81 %
Rouge	48,15 %	51,85 %	59,26 %	44,44 %
Peu rouge	12,96 %	11,11 %	25,93 %	37,04 %
Pas rouge	0 %	1,85 %	0 %	3,71 %
Indifférent	0 %	0 %	0 %	0 %

3.2.2 GOÛT DES FRUITS

La majorité des dégustateurs ont jugé les fruits récoltés peu salés chez l'ensemble des traitements fertilisants, à l'exception des fruits des plantes non fertilisées (Tableau 3). Chez ces dernières, il y avait une parité entre les dégustateurs (38,89 %) qui ont estimés que les fruits étaient peu salés et ceux qui les ont jugés de non salés (38,85 %). Par ailleurs, chez tous les traitements fertilisants, certains dégustateurs ont qualifié les fruits de très salés, d'autres de salés, non salés ou fade.

Tableau 3. Répartition des dégustateurs selon leur appréciation du goût des fruits par traitement fertilisant

Fertilisants / Goût des fruits	Filtrat d' <i>Azolla caroliniana</i>	Compost	NPK (10-18-18)	Témoin sans fertilisant
Très salé	5,56 %	9,26	5,56 %	3,7 %
Salé	25,92 %	25,92 %	33,33 %	14,81 %
Peu salé	40,74 %	37,04 %	44,44 %	38,89 %
Non Salé	22,22 %	16,67 %	12,96 %	38,85 %
Fade	5,56 %	11,11 %	3,7 %	3,75 %

3.2.3 FERMETÉ DES FRUITS

Quarante et trois pour cent (42,59 %) des évaluateurs ont indiqué que les fruits de tomates produits avec *A. caroliniana* étaient fermes. Par contre, 40,74 % de ceux-ci ont trouvés qu'ils sont peu fermes et 11,11 % et 5,56 % ont noté qu'ils sont très fermes et non fermes respectivement. Concernant les fruits produits avec le compost, 57 %, 31 %, 9 % et 2 % des évaluateurs ont dénoté que les fruits étaient respectivement fermes, peu fermes, très fermes et non fermes. S'agissant de la fermeté des fruits du traitement à base de NPK (10-18-18), 34 %, 49 % et 37 % des évaluateurs ont mentionné respectivement que les fruits de tomate étaient peu fermes, fermes et très fermes. Quant aux fruits issus des plantes non fertilisées, la majorité des évaluateurs (46 %), ont estimés qu'ils étaient fermes contre 28 %, 19 % et 7 % d'entre eux les ayant jugés respectivement peu fermes, très fermes et non fermes (Tableau 4).

Tableau 4. Répartition des évaluateurs selon leur appréciation de la fermeté des fruits par fertilisant

Fertilisants / Fermeté des fruits	Filtrat d' <i>Azolla caroliniana</i>	Compost	NPK (10-18-18)	Témoin sans fertilisant
Très ferme	11,11 %	9,26 %	3,7 %	18,52 %
Ferme	42,59 %	57,41 %	48,5 %	46,3 %
Peu ferme	40,74 %	31,48 %	33,5 %	27,78 %
Non ferme	5,56 %	1,85 %	0 %	7,4 %
Indifférent	0 %	0 %	14,3 %	0 %

4 DISCUSSION

La présente étude a été menée en vue d'évaluer l'effet des biofertilisants (*Azolla caroliniana* et compost de sciure de bois blanc) sur la qualité des fruits de tomate à partir des paramètres physicochimiques et sensorielles (organoleptiques).

Les pH des fruits ont été compris entre 4,04 et 4,31. Le pH le plus élevé a été noté chez les fruits des plantes fertilisées avec le filtrat d'*Azolla caroliniana* et le pH le plus faible a été enregistré chez les fruits obtenus sans fertilisation (témoin). Ces résultats corroborent ceux de [17] et ceux de [18]. Selon ces auteurs, les fruits de tomate ont en général un pH compris entre 3,70 et 4,50. Ce pH relativement faible des fruits de tomate est un avantage du point de vue de la stabilité du fruit. En effet, ce niveau de pH pourrait réduire considérablement la prolifération des microorganismes pouvant se développer sur les fruits de tomate [19].

Dans cette étude, l'acidité totale enregistrée se situait entre 5,15 et 6,85 g/l. Ces valeurs sont supérieures à celles rapportées par [19]. Par contre, elles sont inférieures à celles obtenues par [20] et par [18] qui variaient respectivement de 0,34 à 4 g/l et de 3,9 à 5,5g/l. Cela pourrait s'expliquer d'une part par la différence des conditions pédoclimatiques d'étude (climat, sol) et d'autre part par les variétés de tomate. Par ailleurs, une quantité importante en sucre et en acide organique contribue à donner un bon goût et une bonne saveur aux fruits de tomate.

Le filtrat *Azolla caroliniana* et le compost n'ont pas agi significativement sur l'indice de réfraction. Toutefois, les différents indices de réfraction des fruits produits sont supérieurs à ceux observés par [21] et [18] qui se situaient entre 3,10 % et 5,93 %. [22] ont rapporté des taux de Brix compris entre 4,5% et 6,25% pour la tomate destinée à la transformation, se rapprochant des valeurs obtenues dans cette expérimentation. Les différences observées pourraient être tributaires aux spécificités génétiques des variétés de tomates expérimentées.

Les tomates sont reconnues pour leur richesse en vitamine C, généralement comprise entre 7 et 30 mg/100g de matière fraîche et peut atteindre jusqu'à 70 mg/100 g de matière fraîche [23]. Les teneurs en vitamine C des fruits obtenus avec les biofertilisants (filtrat

d'*Azolla caroliniana* et compost) ont été significativement supérieures à celles des fruits témoins et celles obtenues par [24] et [25]. Ces différences seraient liées aux spécificités variétales, aux conditions de culture et environnementaux et de l'étape de maturation des fruits [26], [27]. Par ailleurs, la forte teneur en vitamine C obtenue suite à l'apport d'*Azolla caroliniana* s'expliquerait par la richesse en substances bioactives, en antioxydants et en métabolites secondaires des algues [28]. En effet, les substances telles que les caroténoïdes et les composés phénoliques affectent positivement le métabolisme cellulaire des plantes cultivées. En outre, grâce aux micronutriments et aux matières organiques qu'elles contiennent, ces algues améliorent la fertilité du sol et facilitent l'absorption des éléments nutritifs dont la plante a besoin [8]. De plus, dans la culture de tomate, certaines études tendent à démontrer que la qualité nutritive des tomates augmente dans une régie de culture biologique comparativement à une culture conventionnelle [29].

Les fruits de tomate et les produits à base de tomates sont les principales sources de lycopène, caroténoïde qui donne sa couleur rougeâtre. La teneur en lycopène des fruits de tomate frais est extrêmement variable, selon des critères agronomiques. Ainsi, elle pourrait varier de 1,9 à 6,8 mg/100 g selon les variétés et en fonction des calendriers de récolte [30]. Dans cette étude, les teneurs en lycopène des fruits de tomate dont les plants ont été traités avec les biofertilisants sont proches de celles obtenues par [31]. Ces auteurs ont obtenu des concentrations en lycopène comprises entre 1,8 et 6,5 mg/100g mf et 0,5 et 6,3 mg/100g mf pour des variétés espagnoles. Ces résultats montrent que les biofertilisants ont influencé significativement la teneur en lycopène des fruits de tomates. Ceci confirme les travaux de [32] et ceux de [33] qui ont affirmé que les algues améliorent les propriétés du sol et influencent les caractéristiques biochimiques des fruits de tomate.

Pour les caractéristiques sensorielles des fruits de tomate produits avec apport des biofertilisants, les perceptions des examinateurs ont été très variables suivant les critères retenus (couleur, goût et consistance). En effet, les différences individuelles impliquent des variations dans la réponse de différents sujets à un même stimulus [34]. Par ailleurs, la qualité des fruits de tomate est basée sur des critères organoleptiques comme [35] l'ont fait remarquer à travers leur étude portant sur la production de concentré de tomate réalisée au Bénin. La saveur, la couleur, la forme et la texture sont autant de critères importants des tomates fraîches. Un caroténoïde spécifique, le lycopène, confère aux tomates leur couleur rouge. Des niveaux plus élevés de bêta-carotène sont responsables d'une coloration orange.

5 CONCLUSION

Le présent travail a été réalisé en vue d'évaluer l'effet des biofertilisants (*Azolla caroliniana* et compost de sciure de bois blanc) sur les qualités physicochimique et organoleptique des fruits de tomate, variété Boomerang F1. Ces biofertilisants ont influencé significativement les paramètres physicochimiques et organoleptiques des fruits. Le compost de sciure de bois blanc a induit une augmentation de la fermeté et l'acidité des fruits. Quant à *Azolla caroliniana*, il a favorisé une augmentation significative des paramètres de qualité des fruits de tomates que sont le pH, la teneur en vitamine C, la teneur en lycopène et la fermeté. Ces biofertilisants peuvent constituer des alternatives aux intrants chimiques.

REFERENCES

- [1] INRA, Légumes, 2010. [Online] Available: Ephytia.inra.fr/tomate/importanceeconomique (7 août, 2024).
- [2] FAOstat, West African Food Composition Table, Italie, Rome, p 148, 2012.
- [3] N. Jean-Claude, K. Christophe et S. P. N. Assanvo, «Influence de quelques paramètres climatiques sur les effectifs de Bemisia tabaci sur la tomate (*Solanum lycopersicum* L.)», *International Journal of biological and chemical sciences*, vol. 13, n°.1, pp. 338-352, 2019.
- [4] W. S. R Tougma, «Effets de fertilisation organique et minérale sur la production en biomasse et en huile essentielle de la citronnelle (*Cymbopogon citraus* (D.C.) STAPF) dans la région des Cascades (Ouest du Burkina fasso)», Mémoire de fin de cycle Présenté en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur du développement rural; Université polytechnique de bobo-dioulasso, Burkina fasso, p. 71, 2016.
- [5] M. Awad, M. Adam, H. Ahmed, I. Abd Elaziz, T. Elsadig and D. Asia, «Pesticide Residues Detected on Tomato and Cucumber Fruits Grown in Greenhouse farms in Khartoum State, Sudan», *International Journal of Life Sciences Research*, vol. 6, n°.3, pp. 472-481, 2018.
- [6] L. Dari, A. Addo and K. Dzisi, «Détermination of Pesticide Residuals in Soil and tomato fruits from two Tomato Production areas in Northern Ghana», *Ghana Journal of Science, Technologie and Development*, vol. 6, n°.2, pp. 37-44, 2019.
- [7] Y. Oka, «Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments», *Applied Soil Ecology*, vol. 44, pp. 101-115, 2010.
- [8] S. T. Zodape, A. Gupta, S. C. Bhandari, U. S Rawat, D. R Chaudhary, K. Eswaran and J. Chikara, «Foliar application of seaweedsap as biostimulant for enhancement of yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.)», *Journal of Scientific & Industrial Research*, vol. 70, n°.3, pp. 215-219, 2011.
- [9] K. T. Kouamé, K. E. B. Dibi, K. S. Konan, B. S. Essis, K. A. Hala, A. E. Ehounou, and N. Groga, «Effects of *Azolla caroliniana* Based Biofertilizers Filtrate and Compost on Tomato (*Solanum lycopersicum*) Growth and Production in Côte d'Ivoire», *International Journal of Agriculture & Biology*, vol. 32, pp. 271-276, 2024.

- [10] R. Ligban, L. D. Goné, B. Kamagaté, M. B Saley and J. Biemi, «Processus hydrogéochimique et origine des sources naturelles dans le degré carré de Daloa», p. 17, 2009.
- [11] K. P Die, «Renforcement de l'alimentation en eau potable de la ville de Daloa à partir du barrage de Buyo en Côte d'Ivoire», Mémoire de diplôme d'études supérieures spécialisées de l'Institut International de l'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement de Ouagadougou, Burkina Faso, p. 77, 2006.
- [12] Sangaré, A., Koffi, E., Akamou F., and Fall, C. A., Etat des ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture: Second rapport national, Ministère de l'Agriculture de la Côte d'Ivoire, Note d'information de la FAO, p. 63, 2009.
- [13] AOAC, Official methods of Analysis of AOAC International, 16th ed. Method 970.12. *Association of Official Analytical Chemists International*, (USA Washington), DC. *Applied Soil Ecology*, vol. 44, pp. 101-115, 1995.
- [14] Dufour D, Larssonneur S, Alarçon F, Brabet C. and Chuzel G., Improving the bread making potential of cassava sour starch. In: Dufour D., G.M. O'Brien & R. Best (Eds). Cassava flour and starch: progress in research and development. *International Meeting on Cassava Flour and Starch*, pp. 133-142, 1996.
- [15] El gamouz S., Le suivi de la teneur de la vitamine C dans un jus industriel. Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master Sciences et Techniques, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah faculté des Sciences et Techniques, Maroc, p. 54, 2016.
- [16] Grolier, P., Bartholin, G., Broers, L., Carisveyrat, C., Dadomo, M., Di Lucca, G., Dumas, Y., Meddens, F., Sandei, L., Schuch W., Les anti-oxydants de la tomate et leur biosynthèse. In: Les anti-oxydants de la tomate et ses dérivés et leurs bienfaits pour la santé. Le livre blanc de la tomate, action concertée de la Commission Européenne, p.3, 2000.
- [17] C. A. B. Campos, P. D Fernandes, H. R. Gheyi, F. F. Blanco, C. B Goncalves, S. A. F. Campos, «Yield and fruit quality of industrial tomato under saline irrigation», *Scientia Agricola*, vol. 2, pp. 63-69, 2006.
- [18] E. B. Oboulbiga, C. Parkouda, H. Sawadogo-Lingani, E. W. R. Compaoré, A. K. Sakira, and A. S. Traoré, «Nutritional Composition, Physical Characteristics and Sanitary Quality of the Tomato Variety Mongol F1 from Burkina Faso», *Food and Nutrition Sciences*, vol. 8, pp. 444-455, 2017.
- [19] D. T. M. Agassounon, S. Gomez, F. P. Tchobo, M. M. Soumanou and F. Toukourou, «Essai de conservation de la tomate par la technique de la deshydratation impregnation par immersion (DII)», *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 6, pp. 657-669, 2012.
- [20] A. Turhan and V. Seniz, «Estimation of certain chemical constituents of fruits of selected tomato genotypes grown in Turkey», *African Journal of Agricultural Research*, vol. 4, n° 10, pp. 1086-1092, 2009.
- [21] L. Abidi, S. A. Snoussi and M. S. Bradea, «Variation du taux de brix sous l'effet d'un biofertilisant», *U.P.B. Scientific Bulletin*, vol. 79, n° 1, pp. 136-144, 2017.
- [22] E. Garcia and D. M. Barrett, «Evaluation of Processing Tomatoes from Two Consecutive Growing Seasons: Quality Attributes, Peelability and Yield», *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 30, n° 1, pp. 20-36, 2006.
- [23] Chanforan C., Stabilité de microconstituants de la tomate (composés phénoliques, caroténoïdes, vitamines C et E) au cours des procédés de transformation: études en systèmes modèles, mise au point d'un modèle stoechio-cinétique et validation pour l'étape unitaire de préparation de sauce tomate. Thèse de Doctorat, Université d'Avignon et des pays de Vaucluse, France, p. 399, 2010.
- [24] R. K. Toor, G. P. Savage and C. E. Lister, «Seasonal variations in the antioxidant composition of greenhouse grown tomatoes», *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 19, n° 1, pp. 1-10, 2006.
- [25] B. M. Bachir, H. Louaileche and Z. Mouhoubi, «Antioxidant activity of eight tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) varieties grown in Algeria», *Journal of Food Technology Research*, vol. 1, n° 2, pp. 133-145, 2014.
- [26] E. Hallmann, «The influence of organic and conventional cultivation systems on the nutritional value and content of bioactive compounds in selected tomato types», *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 92, n° 14, pp. 2840-2848, 2012.
- [27] V. Nour, M. E. I. Trandafir and Ionica, «Antioxidant compounds, mineral content and antioxidant activity of several tomato cultivars grown in Southwestern Romania», *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici*, vol. 41, n° 1, pp. 136-142, 2013.
- [28] Y. X. Li, I. Wijesekara, Y. Li, and S. K. Kima, «Phlorotannins as bioactive agents from brown algae», *Process Biochemistry*, vol. 46, pp. 2219-2224, 2011.
- [29] M. Dorais and B. Alsanis, «Advances and Trends in Organic Fruit and Vegetable Farming Research», *Horticultural Reviews*, vol. 43, pp. 185-268, 2015.
- [30] Benakmoum A., Effets du lycopené sur certains paramètres structuraux et fonctionnels chez le rat en croissance. Thèse pour l'obtention du Doctorat Option Sciences Alimentaires, École Nationale Supérieure Agronomique El Harrach Alger, Algérie, p. 114, 2009.
- [31] J. O. Kuti and H. B. Konuru, «Effects of genotype and cultivation environment on lycopene content in red-ripe tomatoes», *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 85, n° 12, pp. 2021-2026, 2005.
- [32] J. S. Craige, «Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture», *Journal of Applied Phycology*, vol. 23, pp. 371-393, 2011.
- [33] K. J. Guinan, N. Sujeeth and R. B. Copeland, «Discrete roles for Extracts of *Ascomyces nodosum* in enhancing plant growth and tolerance to abiotic and biotic stresses», *Acta Horticulturae*, vol. 10, n° 09, pp. 127-136, 2012.
- [34] Bavay C., Adaptation des méthodologies d'évaluation sensorielle aux produits agroalimentaires à forte variabilité. Thèse de Doctorat de l'Université d'Angers en Science Alimentaire, France, p.145, 2013.
- [35] J. Dossou, I. Soule and M. Montcho, «Évaluation des caractéristiques physico-chimiques et sensorielles de la purée de tomate locale produite à petite échelle au Bénin», *Tropicicultura*, vol. 25, pp. 119-125, 2007.

Analyse de la vulnérabilité des espaces agricoles dans le département d'Abengourou (Est de la Côte d'Ivoire)

[Analysis of the vulnerability of agricultural areas in the Abengourou department (East of Ivory Coast)]

KOFFI Innocent

Géographie, Laboratoire Ville, Société et Territoire (LABO VST), Université Alassane OUATTARA, Côte d'Ivoire

Copyright © 2024 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 expansion of the plantation economy has led to difficulties in many rural areas of Côte d'Ivoire, and specifically in Abengourou. These difficulties can be seen in the ageing of cocoa orchards and the scarcity of arable land. This situation makes farmland vulnerable. The aim of this study is to map vulnerable agricultural areas in order to contribute to better management. In addition to data collected through literature and field missions, the results are based on AHP multifactorial spatial analysis techniques and geographic information systems (Land suitability map). The results showed that two groups of factors govern the vulnerability of agricultural land in the Abengourou department. These are physical and anthropogenic factors. The combination of these factors enabled us to identify five levels of vulnerability, from the most vulnerable to the least vulnerable. Level 1 is the extremely vulnerable zone (30.54%), followed by level 2 (very vulnerable, 16.68%), level 5 (less vulnerable, around 10.61%), level 3 (highly vulnerable, 27.79%) and level 4 (moderately vulnerable, 12.38%). People are adopting various strategies to deal with land vulnerability. These include changing the rules governing access to land, adopting agroforestry and using phytosanitary products to improve production. In addition, the study revealed that areas with different levels of vulnerability have different cropping histories, namely: dense forest (16,478 ha, 14.06%), degraded forest (11,364 ha, 9.7%), fallow-crop (21,808 ha, 18.61%), lowland (37,199, 31.75%) and annual cropping (30,324 ha, 25.88%). These cropping histories would provide clues for decision-making in the planning and sustainable management of arable land.

KEYWORDS: vulnerability, agricultural land, mutations, adaptation strategies, Abengourou.

RESUME: L'essor pris par l'économie de plantation a engendré des difficultés dans de nombreux espaces ruraux en Côte d'Ivoire et spécifiquement à Abengourou. Ces difficultés se manifestent par le vieillissement des vergers cacaoyers, la rareté des terres cultivables. Cette situation rend vulnérable les terres agricoles. L'objectif de cette étude est de cartographier les espaces agricoles vulnérables afin d'en contribuer à une meilleure gestion. En plus des données collectées au travers de la littérature et des missions de terrain, les résultats s'appuient sur les techniques d'analyse spatiale multifactorielle AHP et des systèmes d'informations géographiques (*Land suitability map*). Les résultats ont montré que deux groupes de facteurs président la vulnérabilité des terres agricoles à l'échelle du département d'Abengourou. Ce sont les facteurs physiques et les facteurs anthropiques. La combinaison de ces facteurs a permis d'identifier cinq niveaux de vulnérabilité, des plus vulnérables aux moins vulnérables. Le niveau 1 est la zone extrêmement vulnérable (30,54%), suivi du niveau 2, très vulnérable (16,68%) au niveau 5 (moins vulnérable environ 10,61%) en passant par les espaces de niveau 3 (fortement vulnérable, 27,79%) et niveau 4 (moyennement vulnérable, 12,38%). Face à la vulnérabilité des terres, diverses stratégies sont adoptées par les populations. Il s'agit de la modification des règles d'accès à la terre, de l'adoption de l'agroforesterie et de l'utilisation des produits phytosanitaires pour améliorer les productions. Par ailleurs, l'étude a révélé que dans les espaces à différents niveaux de vulnérabilités sont repartis des antécédents culturels à savoir: la Forêt dense (16 478 ha, 14,06%), Forêt dégradée (11 364 ha, 9,7%), Jachère-culture (21 808 ha, 18,61%), Bas-fond (37 199, 31,75%) et Culture annuelle (30 324 ha, 25,88%). Ces antécédents culturels constitueraient des indices de prises de décision pour une planification et une gestion durable des terres cultivables.

MOTS-CLEFS: vulnérabilité, terres agricoles, mutations, stratégies d'adaptation, Abengourou.

1 INTRODUCTION

En Afrique de l'Ouest, les économies des régions de plantation les plus anciennes ont connu une première période de crise (1965-1975). Laquelle correspond essentiellement à une baisse de la production provoquée par le vieillissement des vergers créés durant l'époque coloniale et les déplacements démographiques vers de « nouveaux » espaces d'activité (les villes en pleine croissance et les fronts pionniers où se mettaient en place de nouvelles plantations) [1].

La Côte d'Ivoire n'a pas été épargnée par cette crise. En effet, le secteur agricole qui a constitué le maillon essentiel et prioritaire de l'économie ivoirienne, est entré depuis plus de trois décennies dans une phase de crise majeure qui a sérieusement remis en cause le mode de développement économique du pays. Cette crise, caractérisée par la saturation des terres agricoles, la dégradation des aptitudes culturales des sols, auxquels s'ajoutent le vieillissement et la mauvaise qualité du verger a fragilisé le système agricole basé sur les cultures traditionnelles d'exportation [2]. Elle a de toute évidence transformé les campagnes agricoles ivoiriennes aussi bien dans leurs économies que dans leurs structures sociales. Ces mutations économiques et sociales en cours en milieu rural ivoirien et notamment les difficultés qui se manifestent en économie de plantation ont marqué le déclenchement d'un processus de recomposition et de diversification du secteur de l'agriculture [3].

Aussi faut-il le rappeler que le « miracle économique » ivoirien des années 1960 à 1980 s'est largement construit sur la consommation d'une rente écologique tirée des exportations de trois produits dont l'existence est liée à l'exploitation de la forêt tropicale: le bois, le café et, de façon de plus en plus dominante, le cacao. En effet, la « mise en valeur » du milieu forestier s'est surtout faite par le développement de fronts pionniers dont le plus important s'est mis en place dans le quart Sud-Ouest du pays au début des années 1970 et s'est trouvé en voie de saturation à partir de la fin des années 1980. La forêt ivoirienne, qui représentait près de 16 millions d'hectares au début du siècle et encore 12 millions à l'indépendance, a depuis subi une dégradation rapide: 6 millions d'hectares en 1975, 3,2 millions en 1981 et moins de 2 millions en 1992 [1]. Cette situation fait de la Côte d'Ivoire, l'un des pays qui a le plus fort taux de déboisement en Afrique avec 90% de forêt disparue avec un rythme d'environ 300.000 ha/an [4]. Par ailleurs, la Côte d'Ivoire vit une ère d'urbanisation rapide d'autant plus qu'elle est classée parmi les pays les plus urbanisés d'Afrique subsaharienne. En effet, dix ans plus tôt avant le Recensement Général de la Population et de l'Habitation de 1975, on estimait les citadins à 970 000 habitants, ce qui représentait près de 25 % de l'ensemble de la population. Plus tard, le recensement général de la population de 1988 dénombrait 4 418 028 personnes vivant dans des agglomérations considérées comme villes. A cette période, les citadins représentaient 40,8 % des résidents. En 1998, avec les données du recensement général de la population, le nombre de citadins est passé 6 529 138 personnes soit 42,5 % des résidents (RGPH, 1998, p. 6). Ce taux est passé à 47 % (RGPH, 2014) pour atteindre 52,5% en 2021 selon le Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH) de 2021. Cette urbanisation s'accompagne de l'étalement urbain et la mise en place d'infrastructures, ce qui consomme selon [5] d'importante superficie de terre agricole.

Abengourou, localité située dans l'ancienne boucle du Cacao n'est pas en marge des deux phénomènes susmentionnés. En effet, avec son double statut de localité de l'ex boucle du cacao, Abengourou fait partie des plus grandes villes de la Côte d'Ivoire avec une population 430 539 (RGPH, 2021). Elle a été le théâtre d'intenses activités agricoles depuis l'indépendance. Plus de 30 ans après le déplacement de la boucle du cacao vers le Sud-Ouest, l'on constate que les terres agricoles ainsi que les reliques forestières demeurent vulnérables. Ce présent travail aborde le problème de la consommation des terres en se focalisant sur les terres agricoles à l'échelle du département d'Abengourou. Il est structuré autour de trois grandes questions:

- Quels sont les facteurs qui président la vulnérabilité des terres agricoles à Abengourou ?
- Quels sont les espaces agricoles vulnérables ?
- Et quelles sont les stratégies populaires d'adaptation ?

En vue de contribuer à l'amélioration de la gestion durable des terres agricoles, ce travail veut dans une première section, identifier les facteurs qui pourraient expliquer la vulnérabilité des terres agricoles, ensuite cartographier les espaces agricoles vulnérables et enfin, étudier les stratégies adoptées par les populations pour réduire les conséquences de cette situation sur leurs conditions de vie, leurs territoires et leurs activités. Pour atteindre ces objectifs, le travail admet en hypothèse que:

- La pression anthropique et les potentialités physiques sont à la base de la vulnérabilité des terres agricoles
- Les espaces forestiers sont exposés aux activités agricoles
- Les stratégies d'adaptation mises en place par les populations face à la vulnérabilité des terres agricoles s'expriment par l'exploitation des terres de bas-fond et l'usage de fertilisant pour les cultures pérennes et vivrières.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Abengourou, capitale de l'ancienne boucle du cacao, fait partie de la région de l'Indénié Djuablin, situé à l'Est de la Côte d'Ivoire à 210 km d'Abidjan (Figure 1). La région est composée de Forêt dense mésophile de type semi-décidue. Elle est drainée par le fleuve Comoé et de ses affluents (Béki, Bossematié, Mazan et le Sogan). Le climat est de type tropical humide (sub-équatorial) avec 2 saisons de pluies

et 2 saisons sèches qui s’alternent au cours de l’année. La précipitation annuelle est de 1667 m. Le mois de juin constitue la précipitation la plus élevée avec 283 mm et la moins élevée est le mois de janvier avec 50 mm de pluie. La population du département d’Abengourou est de 430 539 habitants, dont 53,13% d’hommes et 46,86% de femmes, avec une densité de 32 habitants/km². C’est une population cosmopolite composée d’ethnie autochtone Agni, allochtone ivoirienne et une population étrangère estimée à 43,4% (RGPH, 2021).

Le café et le cacao sont les deux principales cultures pérennes. Toutefois, depuis le début l’année 2000, l’hévéa apparaît comme la culture pérenne, la plus en vogue [6]. L’agriculture constitue la principale ressource de l’économie du département d’Abengourou. Elle représente 90% de l’économie du département. Outre ces cultures d’exportation, le secteur agricole d’Abengourou demeure riche en cultures vivrières et maraîchères que sont banane plantain, igname, manioc, taro, maïs, tomate, etc.

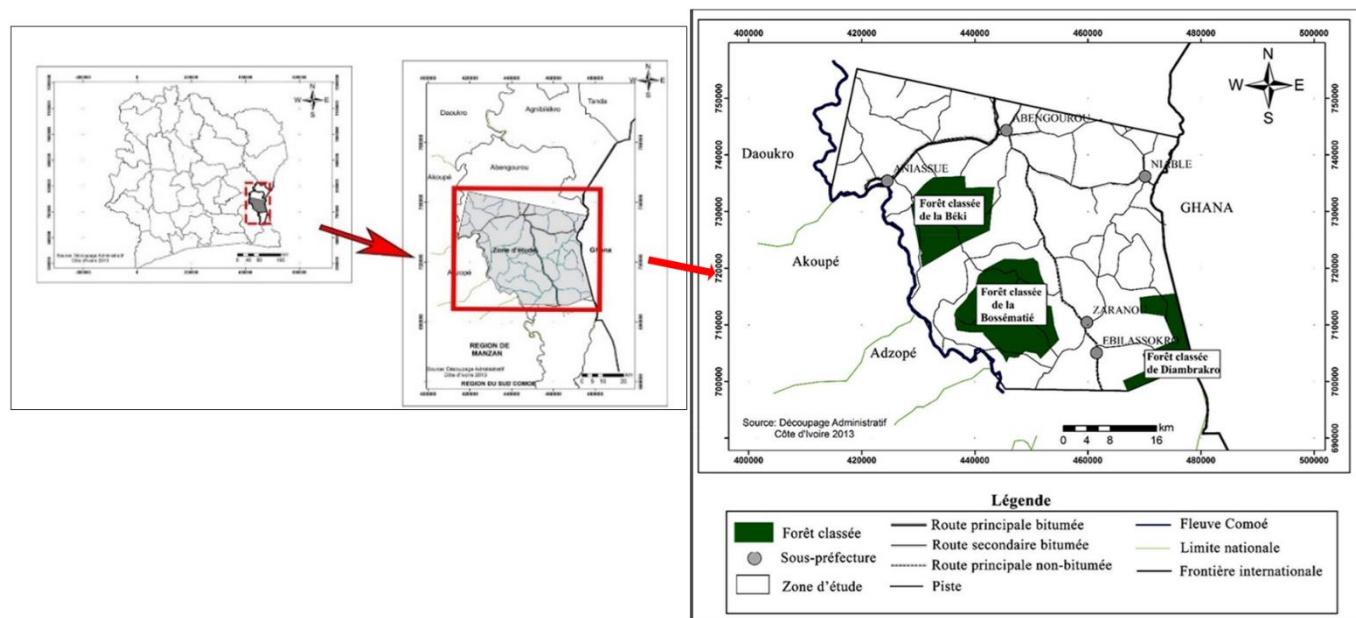


Fig. 1. Présentation de la zone d'étude

La Figure 1 montre la zone d’étude qui occupe le centre du département d’Abengourou et s’inscrit dans un quadrilatère délimité par les coordonnées géographiques 3°10’’ à 3°40’’ de longitude Ouest et 6°20’’ à 6°50’’ de latitude Nord. Elle renferme les Forêts classées de la Béki et de la Bossématié.

2.2 MATERIEL MOBILISE POUR LA REALISATION DE L’ETUDE

Deux jeux de données ont été utilisés pour conduire ces travaux. Il s’agit des images satellitaires de Landsat couvrant les scènes 195-55 et 195-056 (Tableau 1). Les quatre images satellitaires, préalablement traitées, ont été téléchargées sur le site Earthexplorer de l’USGS, United State Geological Survey (<https://earthexplorer.usgs.gov>) et datent de 1986, 2000, 2016 et 2024 avec des caractéristiques qui varient d’une image à une autre. Aussi, avons-nous utilisé des images RADAR pour l’élaboration des cartes de critères des Potentialités physiques et celles de la Pression anthropique.

Tableau 1. Données satellitaires acquises (Landsat, scène 195-055 et 195-056)

Nature des capteurs satellites	Resolutions (m)	Nombre de bandes	Dates acquisition
Landsat 5-TM (Thematic Mapper)	30	6	22 décembre 1986
Landsat 7-ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus)	30	8	09 février 2000
Landsat 8-Oli-Tirs (Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor)	30	11	06 mars 2016
Landsat 9-Oli-Tirs	30	11	04 février 2024

Source: <https://earthexplorer.usgs.gov>

Des logiciels et outils ont été utilisés pour la cartographie. Il s’agit entre autres de:

- GPS, outil nomade utilisé pour la collecte de données géographiques lors de la mission de terrain
- ENVI 5.3, utilisé pour le prétraitement et le traitement numérique des images satellites,

- ArcGis 10, utilisé pour le géotraitement et la cartographie thématique,
- Microsoft Excel, utilisé pour la réalisation des graphes et histogrammes.

2.3 MÉTHODES DE COLLECTE DE DONNÉES

L'intégration des techniques d'analyse spatiale multifactorielle AHP et des systèmes d'informations géographiques mettront en évidence les recompositions spatiales des zones potentiellement défrichables [7]. C'est un ensemble de méthode qui permet d'orienter un choix sur la base de plusieurs critères communs, destinés à la compréhension et à la résolution de problèmes de décision.

2.3.1 CHOIX DES INDICATEURS ET CRITERES, FACTEURS DE VULNERABILITE

Dans la mise en œuvre de la structure, différents critères ont été choisis comme facteurs de vulnérabilité de l'espace agricole et forestier. Ces critères ont été identifiés sur la base de l'analyse des données collectées sur le terrain, des échanges avec des personnes, de nos propres enquêtes et observations. Ils ont été choisis en fonction de leur disponibilité, de leur distribution spatiale et de leur importance dans l'occupation du sol, ainsi que de leur précision. Ces facteurs reflètent à la fois le potentiel naturel et la pression anthropique. Ce sont:

Indicateur Potentialité physique, composé en critère Type de Sol, Altitude du relief, et Drainage des réseaux hydrographiques

Indicateur Pression anthropique, on a: Critère Densité population, Distance route, Distance campement, Distance village/Sous-préfecture

2.3.2 IDENTIFICATION ET DEVELOPPEMENT DES CRITERES INTEGRES AU MODELE AHP (ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS OU PROCESSUS DE HIERARCHIE ANALYTIQUE)

L'AHP permet de décomposer le problème en une hiérarchie de sous-problèmes qui peut être plus facilement compris et évalué subjectivement. Les évaluations subjectives sont converties en valeurs numériques et traitées pour classer chaque alternative sur une échelle numérique. La méthodologie de l'AHP peut être expliquée dans les étapes suivantes:

Étape 1: Le problème est décomposé en une hiérarchie d'objectifs, de critères, de sous-critères et alternatives.

C'est la partie la plus créative et la plus importante de la prise de décision. Structurer le problème de la décision en tant que hiérarchie est fondamental pour le processus de l'AHP.

Étape 2: Comparaison binaire et Pondération des facteurs

Il s'agit d'effectuer des comparaisons binaires (Pairwise comparaison). C'est à dire donner la priorité aux critères de décision par paires de comparaison. Puis, on réalise une pondération des facteurs dans un contexte de processus décisionnel appelé *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Ainsi, les facteurs sont comparés, deux à deux, dans une matrice de comparaison dite de [8]. et ce en fonction de leur importance relative par rapport à l'objectif fixé (Tableau 2). Il faut signifier que la note est subjective et dépend entièrement de l'analyste.

Tableau 2. Echelle de Saaty pour la pondération des facteurs par paire (Saaty, 1990)

Expression d'un critère par rapport à un autre	Echelle numérique	Expression d'un critère par rapport à un autre	Echelle numérique
Même importance que	1	Même importance que	1
Modérément plus important que	2	Modérément moins important que	1/2
Fortement plus important que	3	Fortement moins important que	1/3
Très important que	4	Très moins important que	1/4
Extrêmement plus important que	5	Extrêmement moins important que	1/5

Étape 3: Déterminer les priorités et comparer les solutions de rechange par paire

Ces priorités sont organisées en une matrice carrée. Les éléments diagonaux de la matrice sont 1. Le critère dans la rangée i est meilleur que le critère dans la j ième colonne si la valeur de l'élément (i, j) est supérieure à 1; sinon, le critère de la j ième colonne est meilleur que celui de la rangée i. L'élément (j, i) de la matrice est l'inverse de l'élément (i, j). La somme des matrices de jugement de chaque colonne est faite à travers les tableaux 3 et 4.

Tableau 3. Matrice de jugement des Critères liés à la Potentialité physique

Critère	Sol	Altitude	Drainage hydrographique
Sol	1	3	5
Altitude	1/3	1	3
Drainage hydrographique	1/5	1/3	1
Somme de chaque colonne	1,5333	4,3333	9

Tableau 4. Matrice de jugement des Critères liés à la Pression anthropique

Critère	Densité pop	Distance route	Distance Campement	Distance village /sp
Densité population	1	2	3	4
Distance route	½	1	2	3
Distance Campement	1/3	1/2	1	2
Distance village/Sp	1/4	1/3	1/2	1
Somme de chaque colonne	2,08	3,83	6,5	10

Etape 4: Calcul de vecteur de priorité

La détermination des priorités des éléments de chaque matrice se fait par la résolution du problème de vecteurs propres, à savoir:

- Effectuer les sommes de chaque colonne
- Diviser chaque élément de la matrice par le total de la colonne
- Calculer la moyenne des éléments de chaque ligne de la matrice

Le résultat de la division de chaque élément de la matrice par le total de la colonne est représenté à travers les tableaux 4 et 5.

La moyenne des éléments de chaque ligne de la matrice représente les éléments de vecteurs de priorité ou le poids de chaque critère ou encore le coefficient de pondération (tableau 5 et 6).

Tableau 5. Vecteurs de priorité ou Poids des critères ou Coefficient de pondération de l'indicateur Potentialité physique

Critère	Sol	Altitude	Drainage Hydro	Total	Coefficient de pondération Poids = Somme/3
Sol	0,652	0,69	0,555	1,897	0,636
Altitude	0,217	0,23	0,333	0,78	0,26
Drainage Hydro	0,13	0,077	0,111	0,318	0,106

Tableau 6. Vecteurs de priorité ou Poids des critères ou Coefficient de pondération de l'indicateur Pression anthropique

Critère	Densité population	Distance route	Distance Campement	Distance village /sp	Somme	Coefficient de pondération ou Poids = somme /3
Densité pop	0,48	0,52	0,46	0,4	1,86	0,46
Distance route	0,24	0,26	0,31	0,3	1,11	0,28
Distance Campement	0,16	0,13	0,154	0,2	0,644	0,16
Distance village/Sp	0,12	0,087	0,08	0,1	0,387	0,1

Étape 5: La valeur propre principale (λ_{max}) correcte normalisée correspond à la matrice de comparaison et donne l'importance relative des différents critères comparés. Les éléments du vecteur propre normalisé sont appelés poids en ce qui concerne les critères ou sous-critères et les évaluations en ce qui concerne les alternatives.

Pour calculer la valeur propre λ_{max} , on multiplie la matrice A par les éléments de vecteur de priorité (x); x est la valeur propre du vecteur (n) de priorité. On calcule la moyenne des valeurs trouvées. Le résultat est appelé valeur propre λ_{max} . Valeur propre de la matrice réciproque de dimension (sous critère Potentialité physique). [8] a suggéré que la plus grande valeur propre λ_{max} est:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{w_j}{w_i} a_{ij}$$

$$636 x \frac{1}{3} + 0,26 x \frac{1}{1} + 0,106 x \frac{3}{1} = 1,946$$

$$= 0,790$$

$$= 0,3199$$

Vecteur propre (sol) = [(1x0,636) + (3x 0,26) + (5x 0,106)] /0,636 = 1,946/0,636 = 3,06

Vecteur propre (altitude) = [(1/3x 0,636) + (1x 0,26) + (3x 0,106)] /0,26 = 0,79/0,26 = 3,038

Vecteur propre (Hydrographie) = [(1/5x 0,636) + (1/3x 0,26) + (1x 0,106)] /0,106 = 0,32/0,106 = 3,019

Ainsi, Valeur propre principale (λmax) Potentialité physique

$$\lambda_{max} = \frac{3,06+3,038+3,019}{3} = 3,039 \text{ec N} = 3$$

Valeur propre de la matrice réciproque de dimension (sous-critère Pression anthropique)

$$0,465 x \frac{1}{3} + 0,28 x \frac{1}{2} + 0,16 x \frac{1}{2} + 0,1 x \frac{1}{4} = 1,905$$

$$= 1,365$$

$$= 0,655$$

$$= 0,389$$

Vecteur propre (Densite pop/sous-pref) = [(1x 0,46) + (2x 0,28) + (3x 0,16) + (4 x 0,1)] /0,46 = 4,13

Vecteur propre (Distance route) = [(1/2x 0,46) + (1x 0,28) + (2x 0,16) + (3x 0,1)] /0,28 = 4,036

Vecteur propre (Distance campement) = [(1/3 x 0,46) + (1/2x 0,28) + (1x 0,16) + (2x 0,1)] /0,16 = 4,08

Vecteur propre (Distance village/sp) = [(1/4x 0,46) + (1/3x 0,28) + (1/2x 0,16) + (1x 0,1)] /0,1 = 3,88

Avec N = 4 on a:

Valeur propre principale (λmax) Pression anthropique

$$\lambda_{max} = \frac{4,13 + 4,036 + 4,08 + 3,88}{4} = 4,0315$$

Étape 6: Détermination de la valeur d'Indice Aléatoire (IA), établie en effectuant des jugements aléatoires à partir de l'échelle de Saaty. Ce nombre IA représente la moyenne des indices calculés à chaque réplification pour différente grandeur de matrice carrée (N), indiquée par le tableau 7.

Tableau 7. Valeur d'Indice Aléatoire (IA)

N=nombre de critères	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
IA	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

N = nombre de critères.

Pour N = 3, la valeur correspondante est égale à 0,58; IA = 0,58 pour le facteur physique

et N = 4, la valeur correspondante est égale à 0,90; IA = 0,90 pour la pression anthropique

Étape 7: Cohérence des jugements (IC)

Il s'agit de calculer l'index d'uniformité et déterminer la validité des jugements [9]. La cohérence de la matrice d'ordre n est évaluée. Les comparaisons effectuées par cette méthode sont subjectives. Les réponses obtenues présentent souvent un certain degré d'incohérence. AHP n'exige pas que les jugements soient cohérents ni transitifs, par contre Saaty a défini un indice de cohérence (IC).

$$IC = \frac{\lambda_{max} - N}{N - 1}$$

Avec λ_{max} : Valeur propre maximale de la matrice donnée

N: nombre d'éléments comparés ou de critères

Alors

Pour N = 3, $\lambda_{max} = 3,0386$



IC = 0,0193 (Potentialité physique)

Pour N = 4, $\lambda_{max} = 4,0315$



IC = 0,0105 (Pression anthropique)

Plus l'indice de cohérence devient grand et plus les jugements de l'utilisateur sont incohérents et vice versa. IC est ensuite comparé à des valeurs critiques obtenues par simulation.

Étape 8: Calcul de Ratio de Cohérence (RC)

Le Ratio de Cohérence (RC) est le rapport de l'indice de cohérence calculé sur la matrice correspondant aux jugements du décideur et de l'indice aléatoire IA d'une matrice de même dimension. Si $RC \leq 0,1$ ou $RC \leq 10\%$, la matrice est considérée comme suffisamment cohérente. Dans le cas où cette valeur dépasse 10%, les appréciations peuvent exiger certaines révisions.

Selon Saaty, la valeur de ce dernier doit être au plus égale à 10%.

Le ratio de cohérence est donné par la formule suivante:

$$RC = IC / IA$$

Avec RC: ratio de cohérence; IA: indice aléatoire; IC: indice de cohérence

On a pour N = 3; IC = 0,0193; IA = 0,58



RC = 0,0336 = 3,36% avec 3,36% < 10%

Pour N = 4; IC = 0,0105; IA = 0,90



RC = 0,01112 soit 1,16% avec 1,16% < 10%

Le degré de cohérence de comparaison est acceptable pour N = 3 et N = 4

Étape 9: Pondération des indicateurs

La note de chaque alternative est multipliée par les poids des sous-critères et agrégée pour obtenir des notes locales pour chaque critère. Les notes locales sont ensuite multipliées par les poids des critères et agrégées pour obtenir les évaluations globales. Le tableau 8 met en exergue la pondération des indicateurs et celui du tableau 9 nous relate le poids de ceux-ci.

L'AHP produit des valeurs de pondération pour chaque alternative en fonction de l'importance jugée d'une alternative par rapport à une autre et par rapport à un critère commun.

Tableau 8. Pondération des indicateurs par la méthode AHP

Critère	Physique	Pression anthropique
Physique	1	1/3
Pression Anthropique	3	1
Total	4	1,33

Tableau 9. Poids des indicateurs

Critère	Physique	Pression anthropique	Somme	Poids
Physique	0,25	0,248	0,498	0,249
Anthropique	0,75	0,752	1,502	0,751

Suite à la pondération des indicateurs, les poids des différents critères et indicateurs déterminés sont représentés dans le tableau 10.

Tableau 10. Récapitulatif de pondération des critères

Indicateurs	Poids des indicateurs	Critères	Poids partiel des critères	Poids global
Aspect physique	0,249	Sol	0,636	0,158
		Altitude	0,26	0,065
		Drainage	0,106	0,026
Pression anthropique	0,751	Densité population	0,46	0,345
		Distance route	0,28	0,21
		Distance campement	0,16	0,12
		Distance village /SP	0,1	0,075

Après avoir défini les poids des critères, les cartes des niveaux de vulnérabilité issues des différents critères sont élaborées et combinées dans la formule à travers l'équation de la *Carte d'aptitude des terres*, utilisé par [10], [11], [12], intégrées dans un logiciel SIG.

Land suitability map = Carte d'aptitude des terres

$$Land\ suitability\ map\ (LSM) = \sum_{1}^{n} (Cn * Wn)$$

Land suitability map = [(sol*0,636 + altitude*0,26 + hydrographie*0,106) *0,164] + [(Densité population*0,46+distance route*0,28+distance campement*0,16+ distance village/SP*0,1) *0,3].

Intégrées au logiciel SIG, les cartes thématiques issues des différents critères sont affichées.

A l'aide de l'outil superposition et Géotraitement, Arctoolbox, outil spatial analyste (Overlay-weighted overlay), la formule somme des poids (weighted sum) est appliquée. Il ressort les cartes des niveaux de vulnérabilité des différents indicateurs à savoir: Carte de niveau de vulnérabilité des facteurs physiques et carte de niveau de vulnérabilité de la pression anthropique

Enfin, à partir de l'outil Map Algebra, associé à la superposition des cartes des indicateurs, la carte des niveaux de vulnérabilité des espaces agricoles est élaborée. Cette démarche est illustrée à travers la figure 2.

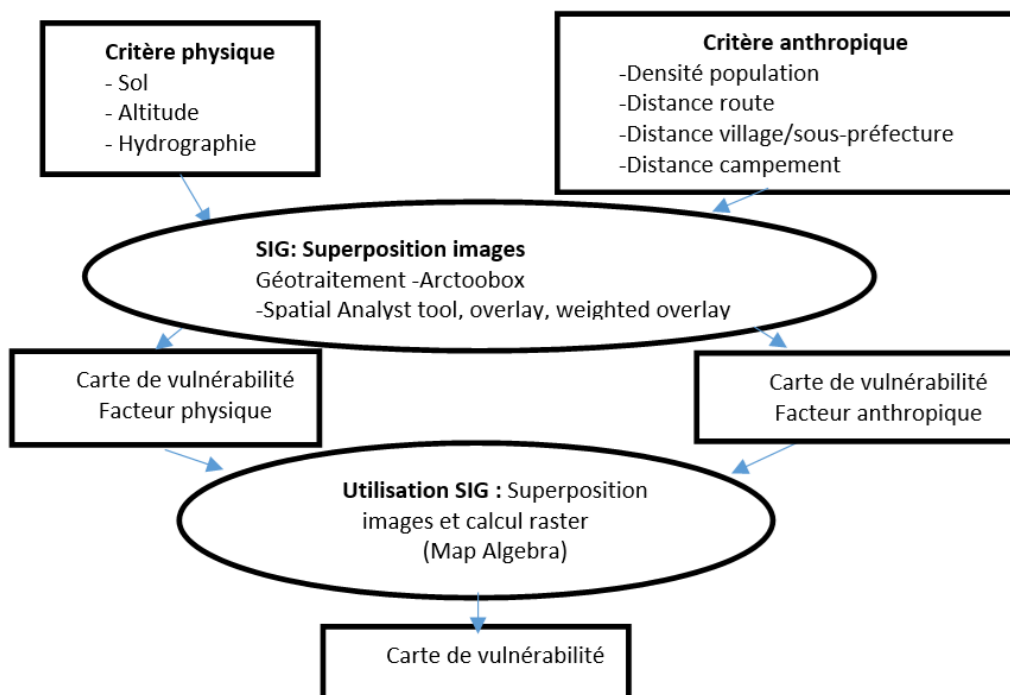


Fig. 2. Processus d'élaboration de la carte de niveaux de vulnérabilité des espaces agricoles

A la fin, la carte de niveaux de vulnérabilité des espaces agricoles est couplée aux mutations Cacao-Hévéa pour faire ressortir les Superficies zonales. Ainsi, à partir du logiciel SIG, on affiche la carte de critère et on la convertit en RASTER (en vue d'extraire les zones). Dans Arcttoobox, les outils Spatial Analyst tool et Reclassify, sont utilisés pour reclassifier la carte, puis convertir en Vecteur. Ensuite, par des requêtes à partir des gricodes, on aboutit à l'extraction zonale des cartes et au fur et à mesure, on superpose les différents shapefiles des superficies des mutations Cacao-Hévéa. Et à partir de l'outil clip, on obtient les Superficies zonales des différentes mutations Cacao-Hévéa par rapport à la carte de vulnérabilité. Cette démarche est mise en exergue à travers la figure 3.

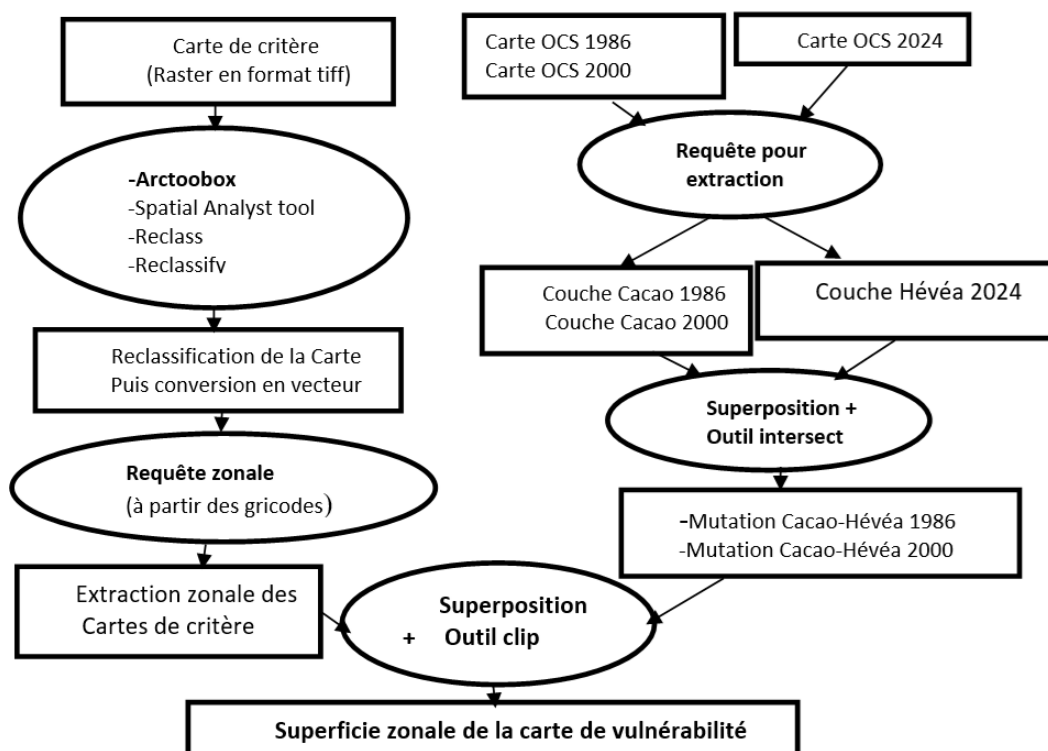


Fig. 3. Superficie zonale de la carte de vulnérabilité par les SIG

3 RÉSULTATS

3.1 IDENTIFICATION DES FACTEURS DE VULNERABILITE DES TERRES CULTIVABLES

Les résultats des travaux ont montré que deux grands groupes de facteurs permettent d'expliquer la vulnérabilité des terres agricoles cultivables dans le département d'Abengourou. Il s'agit d'une part des facteurs physiques et d'autre part des facteurs humains.

3.1.1 ANALYSE DES FACTEURS PHYSIQUES LIES À LA VULNERABILITE DES ESPACES CULTIVABLES

L'analyse des facteurs physiques de la vulnérabilité des terres cultivables se fonde sur un certain nombre de critères. Lesquels se résument à l'altitude du relief, au type de Sol et le drainage des réseaux hydrographiques.

L'altitude du relief est une aptitude définie selon la pente. Elle joue un rôle fondamental dans le drainage des eaux de pluies. La carte de la figure 4 présente le relief du département d'Abengourou.

Elle met en évidence les niveaux d'altitudes du relief de la zone d'étude. On constate que les niveaux d'altitudes varient de 70 à 400 mètres soit une différence de 330 mètres. Cette différence facilite l'écoulement des eaux de ruissellement des points les plus hauts vers les points les plus bas. Ainsi, plus la pente est forte, plus le ruissellement est important au détriment de l'infiltration, réduisant de fait, la quantité d'eau infiltrée dans le sol. Comme effet subséquent, les terres agricoles deviennent de plus en plus arides.

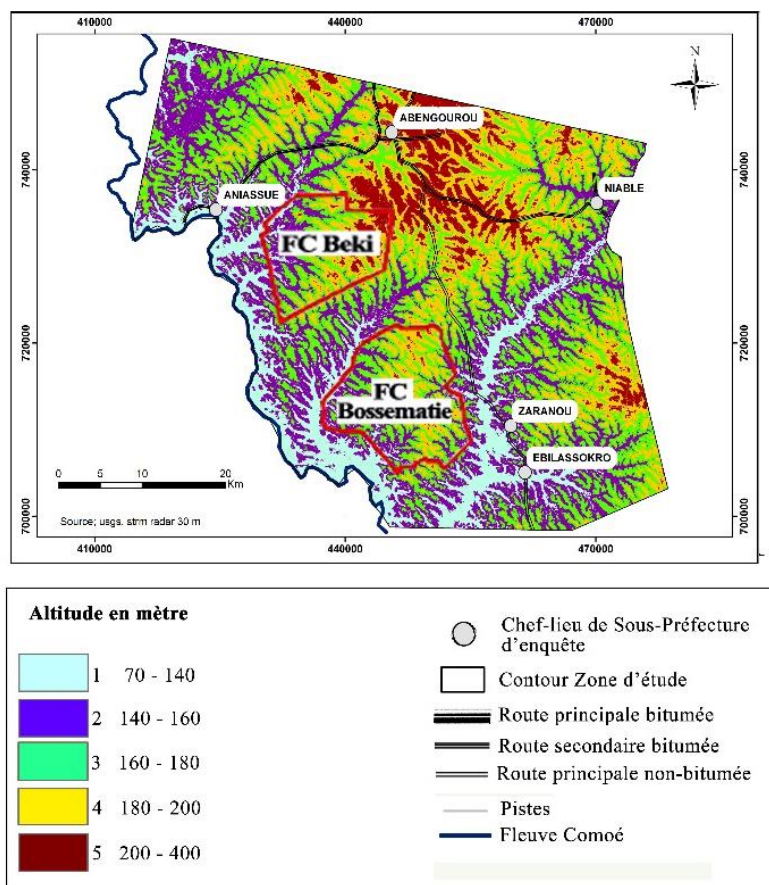


Fig. 4. Carte du relief d'Abengourou

Quant au type de sol dans le département d'Abengourou (figure 5), il est une aptitude définie selon sa nature morpho-pédologique. Il est déterminant dans la capacité de rétention en eau qui conditionne l'état de vigueur de la végétation et des cultures agricoles. Ceci rend ce facteur important dans l'analyse de la vulnérabilité non seulement des espaces cultivables mais également des forêts.

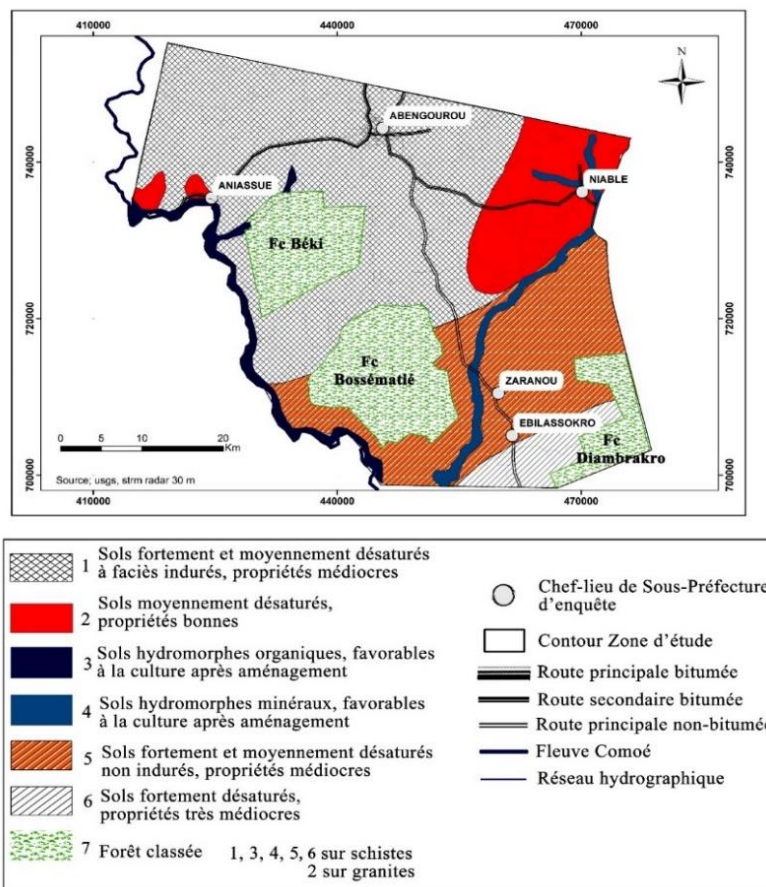


Fig. 5. Typologie des sols dans le département d'Abengourou

Enfin, l'impact du drainage des réseaux hydrographiques (figure 6), dans le département d'Abengourou est un facteur qui est définie selon la nature de la ressource en eau et de la distance la séparant d'un site potentiel. Trois couches de facteurs ont été distinguées. Ce sont le plan d'eau permanent (le fleuve Comoé), les cours d'eau temporaires (les affluents du fleuve Comoé) et les cours d'eau non temporaires. Le niveau de drainage est caractérisé par 69,36% de surfaces modérément humide, 22,11% moins humide donc non permanente et 9,49% en zone très humide en permanence.

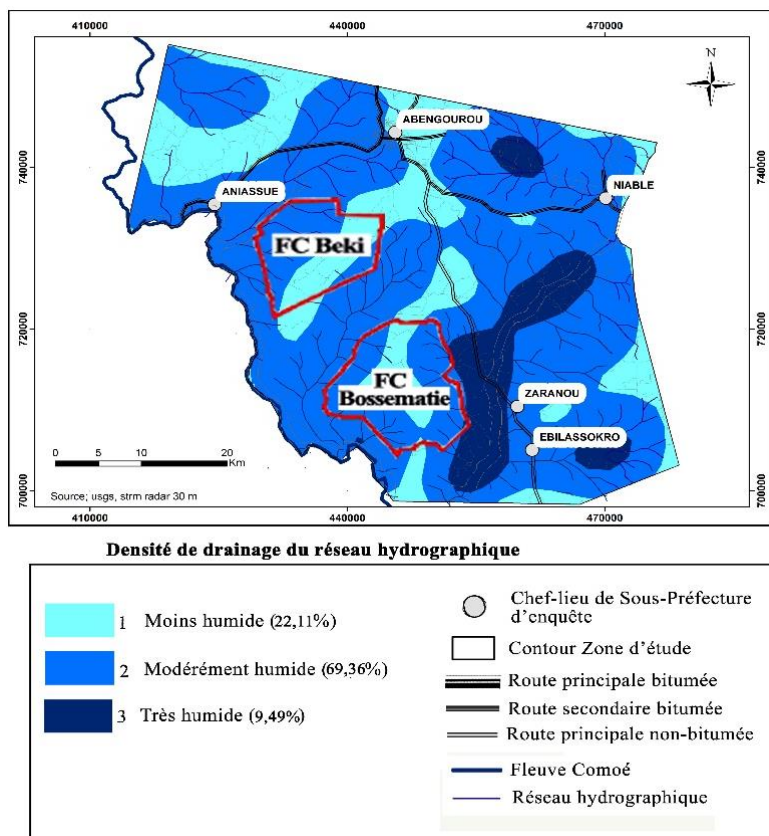


Fig. 6. Carte de critère drainage

3.1.2 LES FACTEURS ANTHROPIQUES LIES À LA VULNERABILITE DES ESPACES CULTIVABLES

Ces facteurs sont composés des indicateurs comme la densité de la population, la distance route, la distance village/sous-préfecture et la distance campement. La densité de la population (figure 7) est un critère défini comme une menace constante de dégradation des espaces cultivables et de déforestation. Plus on assiste à une densification humaine de l'espace, plus les espaces cultivables régressent pour faire place à l'habitat.

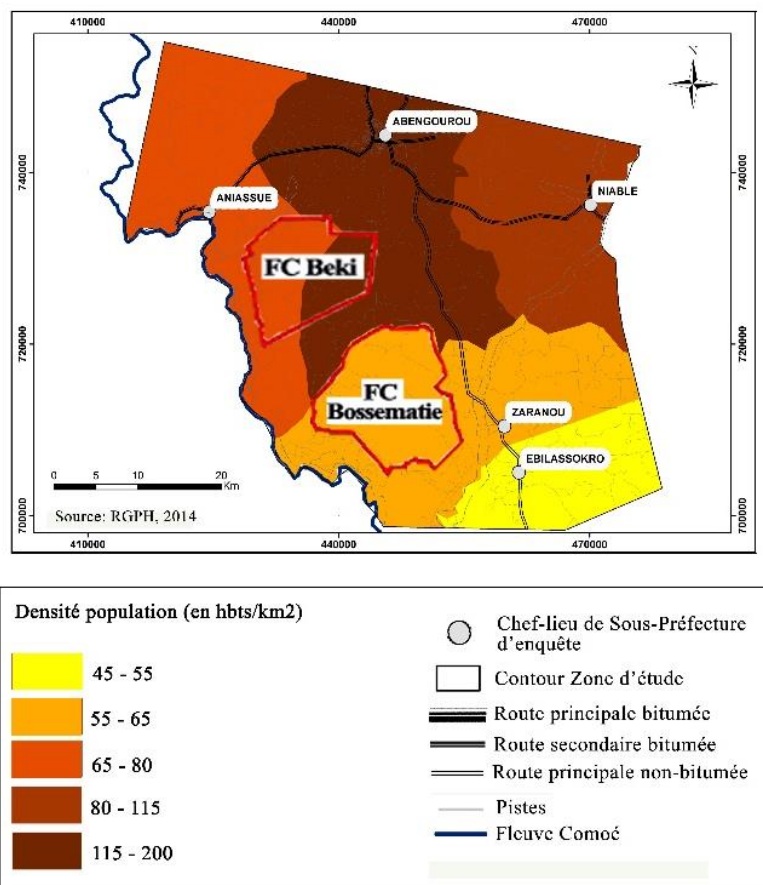


Fig. 7. Critère Densité de la population

La distance route (figure 8) est considérée comme un critère caractérisé par l'accès vers les sites de défrichement agricole et la praticabilité pour le transport des produits vers les marchés d'écoulement.

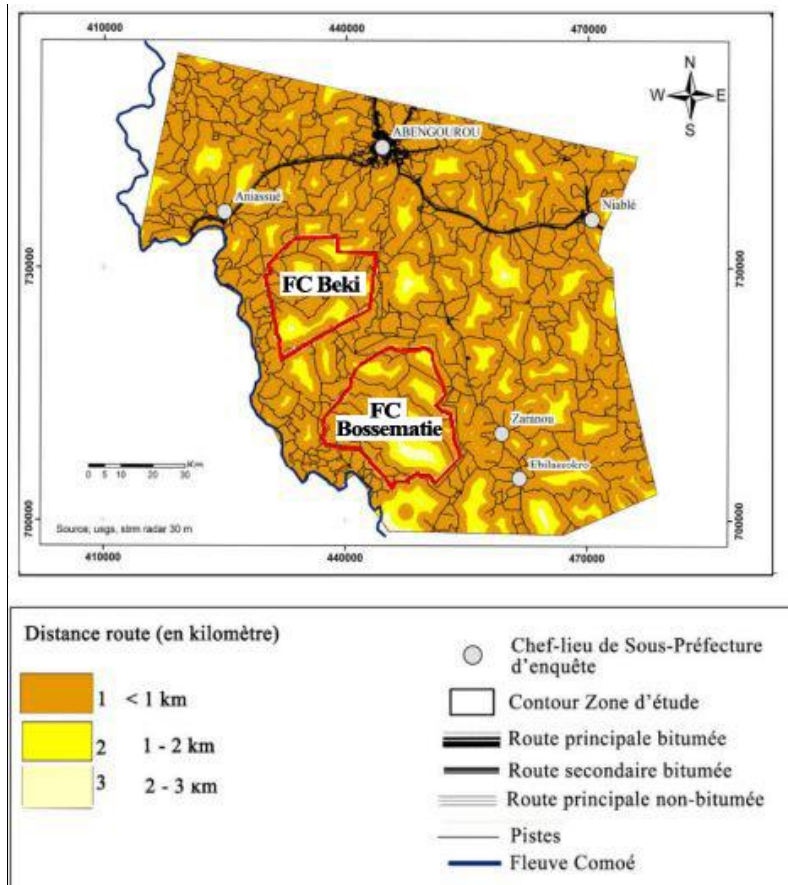


Fig. 8. Critère Distance-Route

Quant à la distance village/sous-préfecture (figure 9) et distance campement (les localités) (figure 10), elles sont des critères considérés comme étant la distance séparant les localités aux sites potentiels de défrichement des parcelles agricoles.

Ces facteurs identifiés représentent le projet d'étude de la vulnérabilité de la forêt et de l'espace agricole.

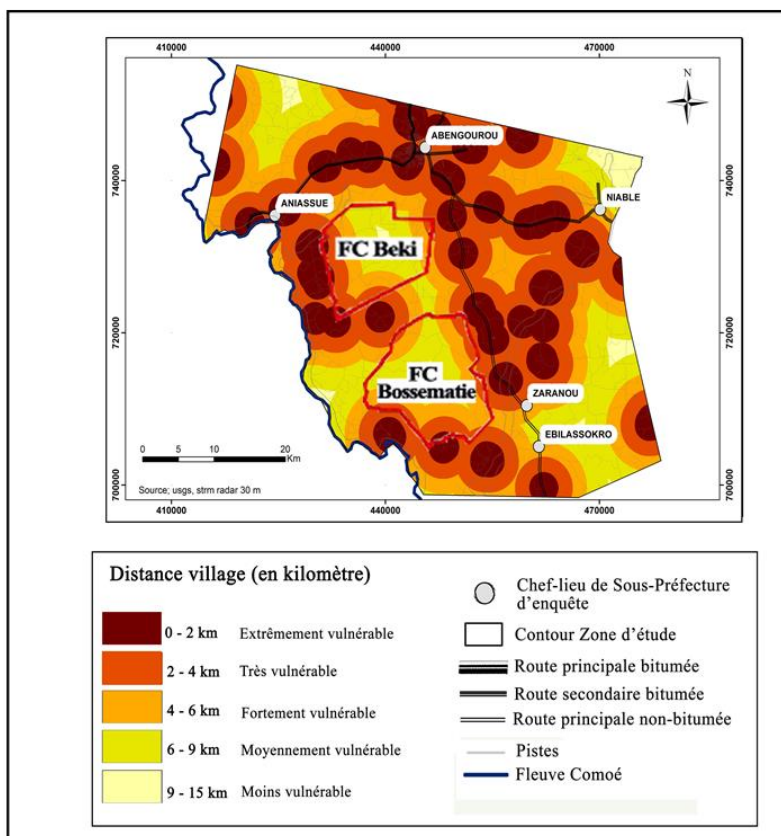


Fig. 9. Carte de critère Distance-village/Sous-Préfecture

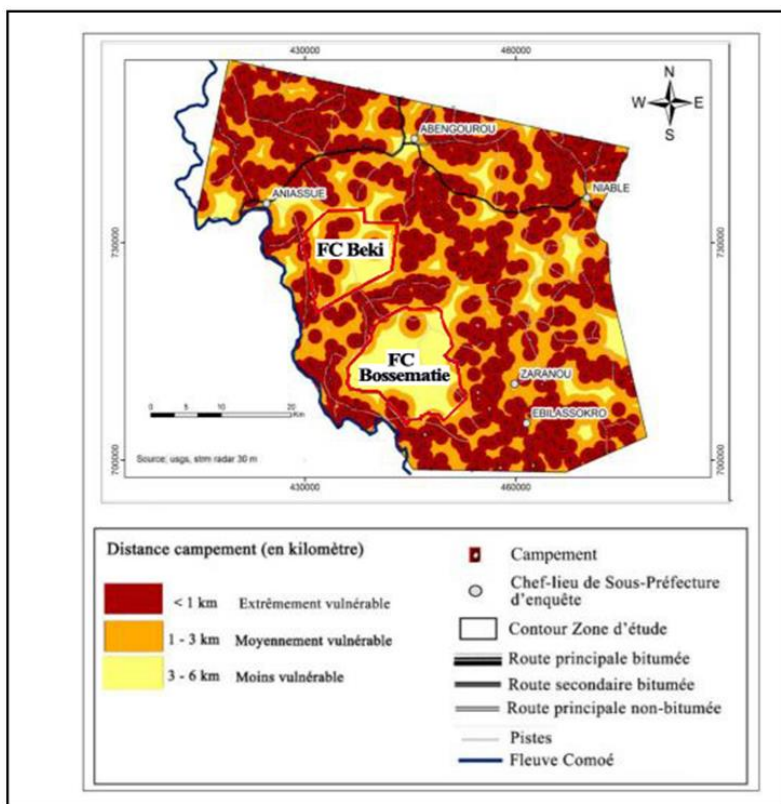


Fig. 10. Carte de critère Distance-Campement

Après analyse des cartes des figures 9 et 10, il ressort que plus les parcelles agricoles sont proches des villages ou campements, plus ces zones sont exposées aux activités agricoles, ces terres sont donc extrêmement et très vulnérables. Plus ces zones sont éloignées, moins elles sont soumises aux travaux à des fins agricoles. En ce moment, elles sont moins vulnérables.

3.2 CARTOGRAPHIE DES ESPACES AGRICOLES VULNERABLES DANS LE DEPARTEMENT D'ABENGOUROU

3.2.1 IDENTIFICATION DES ESPACES AGRICOLES VULNERABLES DUS AUX FACTEURS PHYSIQUES

La combinaison des critères d'altitude, de sol et de drainage a permis d'élaborer à partir de l'analyse multicritère AHP, la carte de vulnérabilité qui indique le facteur physique (fig. 11).

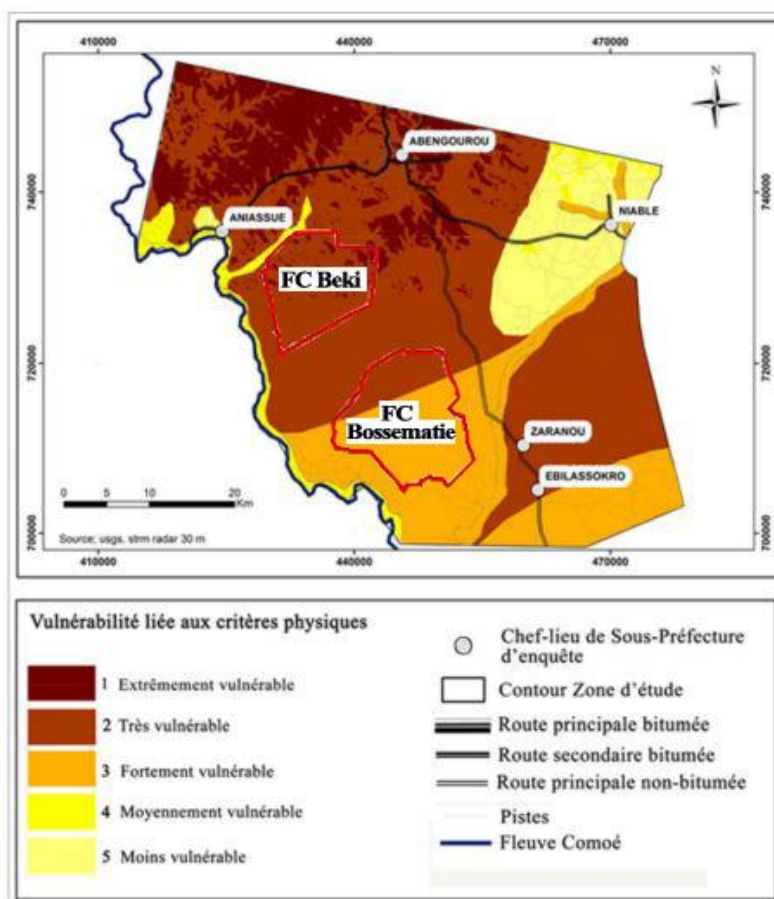


Fig. 11. Carte de vulnérabilité liée à l'Indicateur Potentialité physique

Il ressort de la figure 11 que les zones 4 et 5 sont respectivement moyennement et moins vulnérables. Ces espaces occupent successivement 4,11% et 9,27% de la zone d'étude. Les raisons évoquées sont le fait que le niveau 4 et 5 sont situés sur un sol hydromorphe organique, moyennement désaturé, exposés sur des granites et donc favorables à la culture après aménagement. Ce qui n'est pas le cas pour les autres niveaux 1, 2 et 3. C'est dire que les espaces de niveau 1, 2 et 3 sont sujets à une prise de décision afin de se mettre à l'abri d'éventuel crise socioéconomique et alimentaire à travers la pratique d'une agriculture durable.

3.2.2 VULNERABILITE DES ESPACES AGRICOLES LIEE À LA PRESSION ANTHROPIQUE

Le croisement des critères Densité de la population, Distance-village/Sous-préfecture, Distance-route et Distance-campement a permis d'élaborer la carte de **vulnérabilité liée à la pression anthropique** (figure 12).

Cette carte met en exergue les zones de niveau 4 et 5, dont les superficies représentent un taux de 11,49% et 0,25%. Ces niveaux sont moyennement et moins vulnérables. Cette situation trouve son explication dans le fait que ces espaces sont très éloignés des villages (6 à 15 km) au regard de la carte de distance village/Sous-Préfecture et des campements (entre 3 et 6 km). Aussi, pouvons-nous ajouter que la densité de la population de ces espaces agricoles est moins dense (45 et 55 hbts/km²) sans toutefois ignorer qu'ils sont éloignés des routes (environ 3 km). Par ailleurs, ces zones 4 et 5 couvrent la forêt classée de Bossématié qui est un espace forestier protégé bien

qu'il indique des indices d'infiltrations humaines. Cependant, la forêt classée de la Béki également située dans l'enceinte de ces aires protégées n'existe que de nom. Elle a totalement disparu et se trouve à un niveau de vulnérabilité extrême. Au total, tous les espaces agricoles vulnérables sont sujets à décision en fonction de chaque niveau de vulnérabilité.

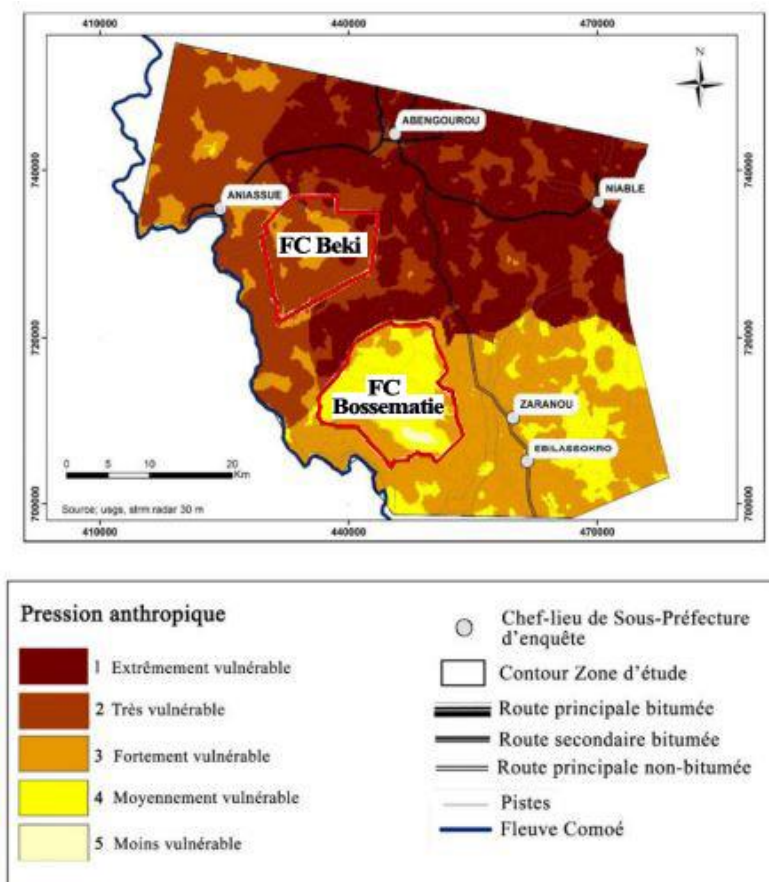


Fig. 12. Indicateur Pression anthropique

3.2.3 VULNERABILITE DES ESPACES AGRICOLES DUE À LA PRESSION ANTHROPIQUE ET AUX POTENTIALITES PHYSIQUES

La carte de vulnérabilité de l'espace cultivable de la figure 13 est le résultat de la combinaison des indicateurs de Potentialité physique et de la Pression anthropique du milieu. Elle met en évidence cinq niveaux de vulnérabilités différentes. Le niveau 1, extrêmement vulnérable a une superficie de 73 793,35 ha avec un taux de 30,54%. Il couvre le Centre-nord de la zone d'étude dont la Sous-préfecture d'Abengourou. L'extrême vulnérabilité est soumise à une multiforme d'activités anthropiques socio-économiques. Le niveau 2, qualifié de zone très vulnérable s'étend sur une proportion de 18,68% de l'ensemble de l'espace d'étude. Il couvre également la Sous-préfecture d'Abengourou et celle d'Aniasse y compris la forêt classée de la Béki qui a totalement disparu au profit d'intense activité agricole, d'où sa très forte vulnérabilité.

Le niveau 3, fortement vulnérable a une superficie estimée à 27,79% de l'ensemble de la couverture spatiale d'étude. Il renferme la plus grande partie de l'Est de la zone d'étude et abrite les Sous-préfectures de Niablé, d'Ebilassokro et de Zaranou.

Les niveaux 4 et 5 sont qualifiés respectivement de zones moyennement et moins vulnérables. Le niveau 4 parcourt la périphérie de la Forêt classée de Bossématié et a une étendue spatiale estimée à 12,38% de la zone d'étude. Ce niveau montre des signes d'infiltration humaine et d'exploitation agricole à la périphérie de la forêt classée de Bossématié. Le dernier niveau à savoir le niveau 5 s'étend sur 10,61% de la surface d'étude. Il couvre la forêt classée de Bossématié et est disséminé dans la zone de Niablé et d'Aniasse. Ce dernier niveau présente un état de conservation quasi-naturelle qu'il faille préserver.

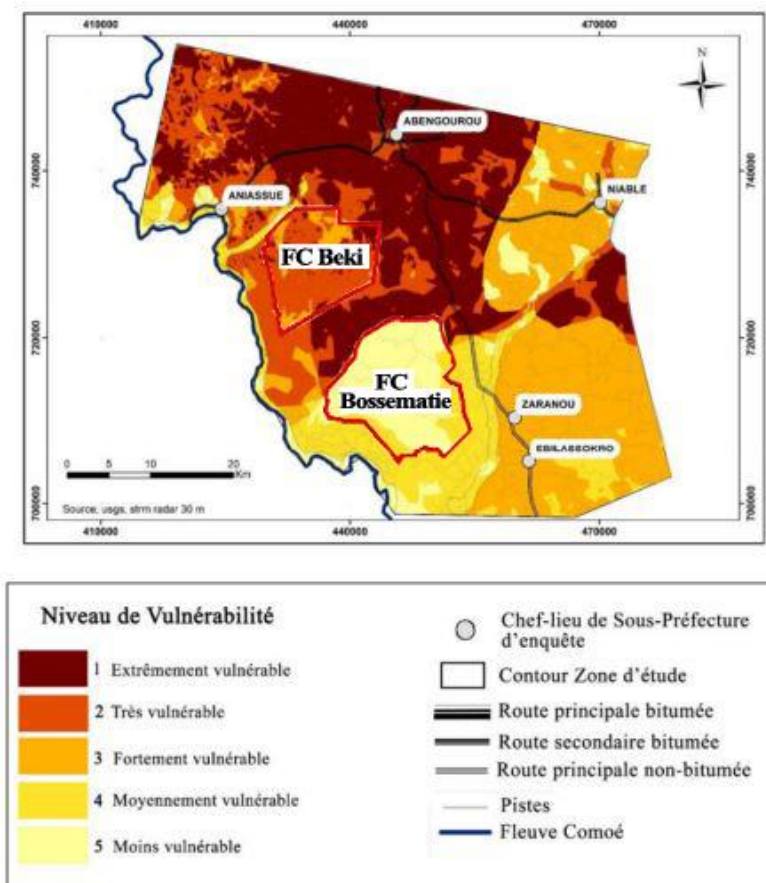


Fig. 13. Carte de vulnérabilité due aux facteurs physiques et à la pression anthropique

3.3 STRATEGIE D'ADAPTATION DES POPULATIONS RURALES FACES À LA VULNERABILITE DES TERRES AGRICOLES

Trois types d'adaptation ont été identifiés face à la vulnérabilité des terres agricoles. Ce sont: la modification des règles d'accès à la terre, l'adoption de l'agroforesterie et l'usage des engrais pour l'amélioration de la productivité.

3.3.1 MODIFICATION DES REGLES D'ACCES À LA TERRE AU FIL DES ANS

La terre est un bien précieux qu'il ne faut pas la vendre. L'analyse des graphes de la planche 1 montre que l'acquisition de terre s'est amplifiée à partir des années 1980 de diverses manières.

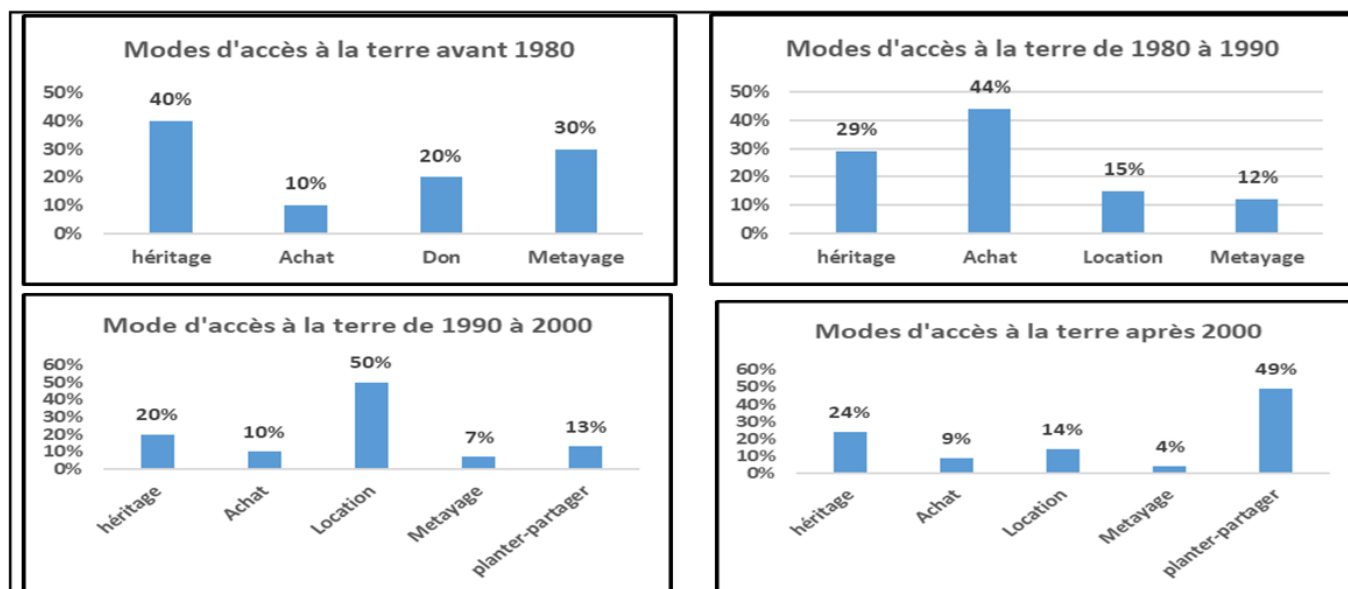


Planche 1: Dynamique temporelle du mode d'accès à la terre dans le département d'Abengourou

Les terres soumises à l'étude sont acquises soit par héritage, par achat, par lègue ou soit par les systèmes travailler-partager ou "Domintchè", location simple (sans partage), location avec partage ou métayage ou "Aboussan" communément appelée en langue locale Agni. Ces modes d'acquisition ont progressé au fil des années. Avant 1980, le mode d'accès par héritage (40%) et métayage (30%) étaient les plus propices. Entre 1980 et 1990, le mode d'accès par achat au taux de 44% a pris le pas sur les autres modes d'accès. Entre 1990 et 2000, le mode d'accès des terres par location est plus pratiqué, il atteint 50%. A partir de 2000, le système planter-partager à 49% est en vogue.

Compte tenu de la pression démographique de la population aussi bien en milieu urbain qu'en milieu rural, une bonne politique de planification et de gestion de ses terres s'avère importante.

3.3.2 L'ADOPTION DE L'AGROFORESTERIE

Face à la vulnérabilité des terres, les populations enquêtées ont recours à la pratique de l'agroforesterie. C'est une technique culturale utilisée comme stratégie d'adaptation pour atténuer la vulnérabilité des espaces et des sols agricoles. Cette technique commence la plupart du temps par la coupe et le brûlis d'une végétation préexistante: forêt « naturelle », forêt dégradée, jachères ou ancienne plantation. Dans cet espace à exploitation, sont également laissés des arbres et arbustes que le paysan juge bien pour les cultures vivrières mais aussi pour les jeunes cacaoyers qu'il s'apprête à planter. L'objectif, est que les jeunes plants puissent bénéficier de l'ombrage des arbres qui n'ont pas été coupés. Les résultats des enquêtes ont révélé que cette technique culturale combine trois variétés de cacao: l'Amelonado appelé communément français, la variété *Forasteros Haut-Amazonienne et hybrides (Ghana)* et la variété *Mercedes (Hybride Forasteros Haut-Amazonienne et mélange Amelonado et Trinitario)*. La variété Ghana est la plus cultivée (56,7%) dans l'ensemble de la zone d'étude. Viennent ensuite les variétés Français (30,3%) et Mercedes (25%). Le mélange variétal représenté par Français/Ghana est généralement pratiqué dans 53,4% des plantations. En outre, la variété Français constitue la plus cultivée dans les plantations vieillissantes de plus de 30 ans. Cependant, la variété Mercedes est de plus en plus pratiquée dans les nouvelles plantations de Cacao.

3.3.3 USAGE DES ENGRAIS POUR L'AMELIORATION DE LA PRODUCTIVITE

La cacao-culture et l'hévéaculture nécessitent l'apport des produits phytosanitaires (pesticides) et fertilisants (engrais) pour leur croissance et une bonne production (figure 14).

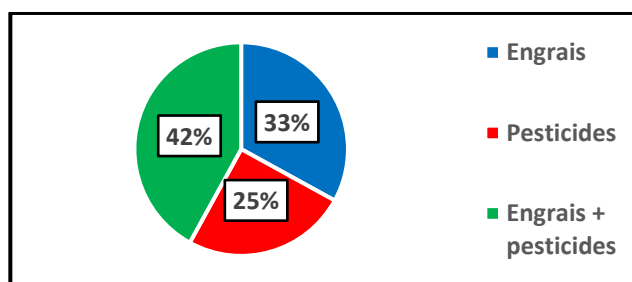


Fig. 14. Répartition des enquêtés selon le type de produits phytosanitaires

Source: Enquêtes de terrain, juillet 2024

Il ressort de l'enquête que 33% des planteurs interrogés utilisent des fertilisants (engrais) et 25% d'entre eux font usage des pesticides pour améliorer l'évolution des plants de cacao et d'hévéa. 42% utilisent aussi bien les engrais que les pesticides. Lors des missions de terrain, il a été donné de constater que l'utilisation correcte de ces produits reste de mise.

3.3.4 DE L'AVENIR DES TERRES AGRICOLES DANS LE DEPARTEMENT D'ABENGOUROU

Cette section, analyse dans une vision prospective la situation des terres cultivables. Et propose mes ures en vue d'une agriculture durable. Ainsi, à partir de la carte des vulnérabilités, la carte des antécédents culturaux a été réalisée.

La carte des antécédents culturaux (Figure 15) est issue du croisement de la carte de vulnérabilité des facteurs physiques et anthropiques. Elle fait un bilan des différentes parcelles de terre cultivables. Elle met en exergue la Forêt dense (16 478 ha, 14,06%), la Forêt dégradée (11 364 ha, 9,7%), la Jachère-culture (21 808 ha, 18,61%), le Bas-fond (37 199 ha, 31,75%) et la parcelle de Culture annuelle (30 324 ha, 25,88%).

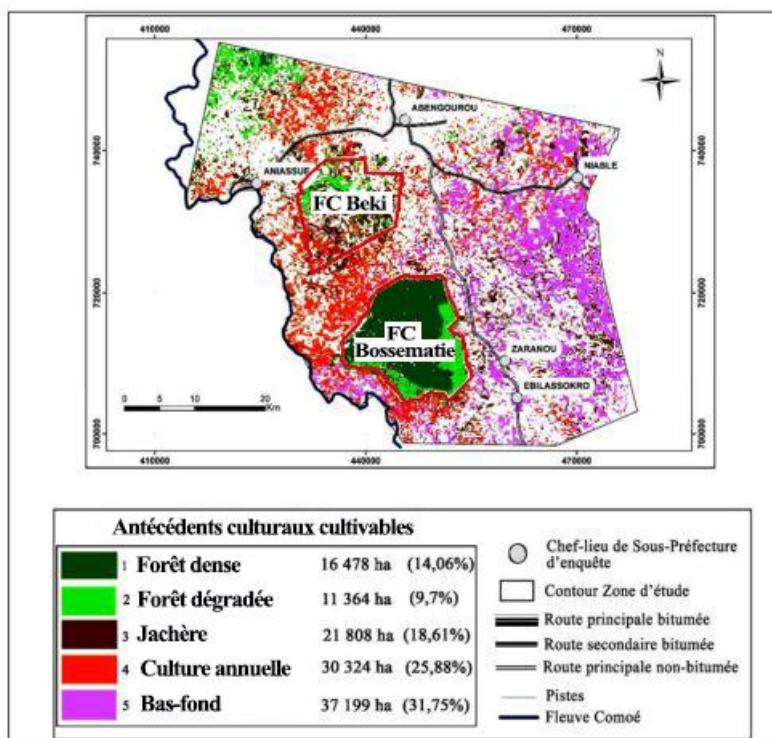


Fig. 15. Carte des Antécédents culturaux de la zone d'études

Ces différentes parcelles disséminées en de petites proportions à travers la zone d'étude sont sujets à des prises de décision relatée dans le tableau 11.

Tableau 11. Listing des actions à mener par rapport aux antécédents cultureaux

Type d'espace	Superficie en hectare	%	Action à mener
Forêt dense	16 478	14,06	A préserver
Forêt dégradée	11 364	9,7	A reboiser
Jachère	21 808	18,61	A cultiver
Culture annuelle	30 324	25,88	A cultiver
Bas fond	37 199	31,75	A cultiver

Source: Enquête de terrain, 2024

4 DISCUSSION

CRITÈRE ALTITUDES ET CULTURE DE CACAO ET HÉVÉA

Un ensemble de critères a été identifié et servi de base à la détermination des zones vulnérables au défrichement agricole de l'espace géographique d'étude. Les zones les moins vulnérables sont les zones 1 de très basses altitudes qui représentent des Bas-fond et celles des hauts plateaux (zones 4 et 5). En effet, dans une étude, [13] a montré que la saturation en eau des sols est plus élevée dans les zones de basses altitudes (bas-fond) et seraient peu propices à la culture du cacao et de l'hévéa. Selon [14], l'échelle temporelle et spatiale utilisée, rend difficilement compte du détail des phénomènes liés à la situation topographique des zones en forte pente, sols peu évolués de sommet de colline, qui peuvent rendre un sol inapte à la cacaoculture, et à l'horizon de surface. Certaines caractéristiques, notamment la teneur en matière organique et la flore adventice, influencent fortement l'aptitude à l'installation des jeunes cacaoyers, [14].

CRITÈRE TYPE DE SOLS ET CULTURE DU CACAO ET DE L'HÉVÉA

Le Critère Type de sols se justifie par son importance en culture cacaoyère, [15]. La répartition des surfaces agricoles serait liée à l'aptitude des sols pour le développement de la culture cacaoyère. Bien que les paysans ne mènent pas d'étude pédologique, toutefois, ils procèdent à une analyse sommaire basée sur leur propre expérience et sur la productivité des exploitations déjà installées dans les environs, [16]. Les sols hydromorphes (organique et minéral) représentent respectivement 2,79% et 5,22% des surfaces et 2,44% et 8,55% de Cacao reconvertis. Ce sont des bas-fonds, caractérisés par les arénosols parfois liés avec les gleysols. Ces derniers se distinguent par un surplus d'eau causé par une couche impénétrable très argileuse à une profondeur de plus de 55 cm, [17]. Ils sont aussi caractérisés par une forte proportion de matière organique jusqu'à une profondeur de 20-25 cm, ce qui les rend intéressant en vue d'une exploitation saisonnière vivrière, par exemple avec du riz. Ces sols se caractérisent par un potentiel nutritif plus important que dans les autres types de sols de la région [18]. Du fait de leur structure et de leur composition, ils possèdent une bonne capacité de rétention en eau. Cela en fait les sols les plus favorables au développement de cultures de type pérenne comme le cacao. Malgré ce potentiel, les bas-fonds de la zone enregistrent un faible taux de culture cacaoyère.

PRESSIION ANTHROPIQUE ET CULTURE DU CACAO ET DE L'HÉVÉA

Les activités humaines apportent de façon générale une consommation des ressources naturelles et un changement dans le fonctionnement des écosystèmes qui les entourent [19], [20], [21]. L'hévéaculture connaît un succès en milieu rural. Elle est l'un des facteurs des nombreuses mutations observées dans les campagnes, surtout en zone forestière. Qualifiée d'espèce écologiquement rentable et protectrice de l'environnement [22], cependant, l'hévéaculture suscite des inquiétudes consécutives à la forte pression foncière qu'exige parfois sa mise en place d'exploitations, [23]. En effet, dans la zone d'étude, le taux de reconversion de Cacao en Hévéa dans les Sous-préfectures d'Ebilassokro et de Zaranou est respectivement de 38,40% et 32,05% pour une densité de population d'environ 45 à 55 hbts/km² et de 55 à 65 hbts/km². Un tel rendement est inspiré du succès de l'hévéaculture dans le département de Bettié, localité située à une vingtaine de kilomètre des sous-préfectures d'Ebilassokro et de Zaranou dont les terres étaient des espaces dédiés jusqu'alors à des cacaoyères vieillissantes et désormais, ces espaces voués à la création de nouvelles plantations d'hévéa, suite aux années d'instabilité, de cours erratiques, de spéculations effrénées et de scandales politico-financiers à répétition [24].

D'un point de vue environnemental selon le groupe [25], l'hévéa respecte parfaitement l'environnement. En effet, les plantations d'hévéa ont remplacé des couvertures forestières primaires et les avantages comparatifs de ce constat sont avérés, tant d'un point de vue environnemental que du point de vue du développement durable villageois [26]. Des recherches ont aussi montré qu'au-delà de la forte fourniture d'arbres, l'hévéaculture est par excellence, l'essence la plus écologique en raison de la faible utilisation des produits phytosanitaires dans les exploitations [25]. Sans donc négliger l'inquiétude des sceptiques sur les conséquences néfastes probables de la forte propension de l'hévéaculture sur l'environnement, nombreuses sont aussi les approches, qui ont montré que l'hévéaculture joue un rôle important dans l'équilibre environnemental.

VULNÉRABILITÉ DES ESPACES AGRICOLES

La vulnérabilité des espaces agricoles due à la pression anthropique et aux potentialités physiques a modifié la biodiversité du milieu d'étude en mettant en évidence cinq niveaux de vulnérabilités différentes évoluant du niveau 1 (extrêmement vulnérable, 30,54%) au niveau 4 et 5 qualifiés respectivement de zone moyennement, (12,38% de la zone d'étude) et moins vulnérable (10,61%) en passant par le niveau 2 (zone très vulnérable, 18,68%) au niveau 3 (fortement vulnérable 27,79%). A partir de ces constats, [27] a estimé qu'il est donc important d'identifier les pressions qui s'exercent sur ces zones, mais également de mieux connaître comment ces pressions sont distribuées sur l'espace d'étude, et avec quelle intensité elles s'exercent sur le milieu. Ces connaissances peuvent contribuer à une gestion plus efficace de la biodiversité et activités économiques.

5 CONCLUSION

La détermination des niveaux de vulnérabilités de la zone d'étude à partir de l'analyse spatiale multifactorielle AHP et des systèmes d'informations géographiques a permis d'évaluer les différents niveaux des zones vulnérables en se basant sur les cartes de potentialités physiques et de pressions anthropiques. Cette carte de vulnérabilité couplée aux mutations cacao-hévéa a permis de discriminer les antécédents culturels qui constitueraient des indices de prises de décision pour une planification et une gestion optimale des espaces cultivables dans l'optique d'un défrichement agricole durable.

REFERENCES

- [1] Léonard Eric et Vimard Patrice, Crises et recompositions d'une agriculture pionnière en Côte d'Ivoire: Dynamiques démographiques et changements économiques dans le Bas-Sassandra (Côte d'Ivoire), p. 16 IRD et KARTHALA, Paris, 367 pages, 2005.
- [2] Zogbo Zady Edouard, «Valorisation rizicole et maraichère des bas-fonds, une alternative à la crise agricole dans le district de Yamoussoukro,» in *Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou*, Vol. 1, N° 08, LERMIT, Ouagadougou, pp. 145-174, 2019.
- [3] Assi-Kaudjhis Joseph Pierre, *Étude géographique de l'aquaculture en Afrique sub-saharienne: exemple de la Côte d'Ivoire*, thèse de doctorat, p. 233, Université libre de Bruxelles, Bruxelles, 369 pages, 2005.
- [4] Inventaire Forestier et Faunique National, Côte d'Ivoire: Enquête exclusive « Comment la Déforestation accentue le changement climatique, l'Etat organise la riposte » (dossier) publié par Elvis GOUZA le 21 mars 2023, 2021.
- [5] Roel Plant, Pierre Maurel, Éric Barbe, Jane Brennan, Les terres agricoles face à l'urbanisation De la donnée à l'action, quels rôles pour l'information ? éditions Quæ, 2018 ISBN: 978-2-7592-2922-2 Éditions Quæ RD 10 78026 Versailles Cedex, 2018.
- [6] Koffi Innocent, Dibi N'da Hyppolite, N'dri Kouamé Félix, Koffi Brou Emile, Kouame Koffi Fernand «Apport de la Télédétection et des SIG à la caractérisation des mutations de cultures pérennes à base de Cacao et d'Hévéa dans l'ancienne boucle de Cacao: cas du département d'Abengourou (Sud-est de la Côte d'Ivoire) » *International Journal of Engineering Science Invention (IJESI)* ISSN (Online): 2319 – 6734, ISSN (Print): 2319 – 6726 www.ijesi.org | |Volume 7 Issue 5 Ver. IV | | May 2018 | | PP 01-12, 2020.
- [7] Wilson, DK, Purdon, SE et Wallston, KA Respect des recommandations en matière de santé: aperçu théorique de la formulation des messages. *Health Education Research*, 3 (2), 161–171,1988. <https://doi.org/10.1093/her/3.2.161>
- [8] Saaty, T.L. «Comment prendre une décision: le processus de hiérarchie analytique» *Revue européenne de recherche opérationnelle*, 48, 9-26, 1990. [http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I).
- [9] Saaty, T.L. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York, USA, 20-25, 1980.
- [10] Mohamed A. AL-SHALABI, Shattri Bin Mansor, Nordin Bin Ahmed, Rashid Shiriff, GIS Based Multicriteria Approaches to Housing Site Suitability Assessment, TS 72 – GIS Applications – Planning Issues, Shaping the Change XXIII FIG Congress Munich, Germany, October 8-13, 2006.
- [11] Sheikh, N., Kumar, Y., Mishra, A.K. and Pfoze, L., Phytochemical Screening to Validate the Ethnobotanical Importance of Root Tubers of Dioscorea Species of Meghalaya, North East India. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 1, 62-69, 2013.
- [12] Mohammed, B.; Gabel, M.; Karlsson, LM, Valeurs nutritives de l'ensète, une plante vivrière et fourragère tolérante à la sécheresse. *Afr. J. Agric. Sci.*, 8 (20): 2326-2333, 2013. <https://doi.org/10.5897/AJAR12.129>
- [13] Vooren A.P., Appropriate buffer zone management practices for Taï National Park (Côte d'Ivoire). In *Atelier sur l'aménagement et la conservation de l'écosystème forestier tropical humide*. Actes. Cayenne, Guyane française, 12-16 de mars de 1990, Paris, MAB-Unesco-Nogent-sur-Marne, CTFT, 1992.
- [14] Petithuguenin, Philippe, Les conditions naturelles de production du cacao en Côte d'Ivoire, au Ghana et en Indonésie. *Plantations, Recherche, Développement*, 5, 393-411, 1998.
- [15] CI (Conservation Internationale) et MINEFOR (Ministère des Eaux et Forêts), Ligne Directrices pour le Parc National de la Marahoué, République de Côte d'Ivoire, 91pages, 2001.
- [16] Rougerie Gabriel, Le façonnement actuel des modelés en Côte d'Ivoire forestière Éditeur: IFAN / Langue: Français. Nombre de pages: 542, 1960.
- [17] Sanchez, Property and management of soils in the tropics. John Wiley and Son, New york, 1976.
- [18] Gérold P, *Mol Biochem parasitol* 75: 131, 1996.

- [19] Scheffer, M., Hosper, SH, Meijer, ML & Moss, B. Équilibres alternatifs dans les lacs peu profonds. *TrendsEcol.*200/201 475-486 (1990), 2001.
- [20] W. Neil Adger, Nigel Arnell, Emma Tompkins, Adaptation réussie au changement climatique à toutes les échelles *Changement environnemental global* 15 (2): 77—86, 2005, DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2004.12.005
- [21] Carpenter, S. R., E. M. Bennett, and G. D. Peterson, Scenarios for ecosystem services: an overview. *Ecology and Society* 11 (1): 29 Copyright © 2006 by the author (s). *Published here under license by the Resilience Alliance*, 2006, [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/art29>.
- [22] Greenpeace, Acheter Amical de la forêt et Conseil de gestion de la Forêt. 4 pages, 2011, [Ressource en ligne], Disponible sur: <http://www.greenpeace.org/newzealand/campaigns/ancientforests/action/buy-forest-friendly>. (Consulté le 24-12-2016).
- [23] Kouamé Kra Frédéric, Biologie et écologie des adventices majeures de la riziculture dans la région du.Bélier au Centre de la Côte d'Ivoire. Thèse unique de Doctorat à l'Université FHB Abidjan, 157 pages, 2014.
- [24] Enquête Jeune Afrique, La ruée vers l'hévéa, publié par Théophile Kouamouo le 28 juillet 2009, archive Côte d'Ivoire, 2009.
- [25] Dbhardwoods, L'hévéa respecte parfaitement l'environnement, 2006, [Ressource en ligne]. Disponible sur: <http://www.dbhardwoods.com> (Consulté le 24-12-2016).
- [26] Hamel, O. & Eschbach, J. M., Impact potentiel du mécanisme de développement propre dans l'avenir des cultures pérennes: état des négociations internationales et analyse prospective à travers l'exemple de la filière de production du caoutchouc naturel. In: *CIRAD forêt*, Vol. 8 N° 6. TA10/ Campusinternational de Baillarguet: In: EDP Sciences. 11 pages, 2001, [Ressource En ligne].Disponible sur: <http://www.edpsciences.org>. (Consulté, le 24- 10- 2016).
- [27] Richardson E.A., Kaiser M.J., Edwards-Jones G., Possingham H.P., Sensitivity of Marine-Reserve Design to the Spatial Resolution of Socioeconomic Data. *Conservation Biology*, 20, 1191–1202, 2006.

Facteurs liés au faible poids à la naissance chez les nouveaux nés à la maternité de l'Hôpital Général de Référence de Gemena, Province de Sud Ubangi, RDC

[Factors associated with low birth weight in newborns at the maternity ward of the Gemena General Reference Hospital, Sud Ubangi Province, DRC]

Clarice Webina Sana, Martin Mambesa Bainamboka, David Dole Dawili, Maurice Mangi Bende, Freddy Malaka Makongo, Zachée Temopele Kombo, and Desiré Mombela Ibele

Institut Supérieur des Techniques Médicales (ISTM), Gemena, RD Congo

Copyright © 2024 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: Low birth weight is one of the real public health problems. It is used as an indicator that reflects fetal growth within its mother but also predicts the future and growth of the child, at least in the first years of life. Several studies express the point of view that there would be a very high morbidity and mortality rate in children born with low birth weight than in other children.

The general reference hospital being a 2nd level structure takes care of all people in need of health from the entire health zone. It has been noted according to our observation that there have been more and more children born with low birth weight, particularly at the maternity ward of the HGR of Gemena, a reason for any person with a scientific mind to seek to discover what the determinants may be. It should be noted that the study was conducted in the peri-urban area of Gemena and covered nine health areas out of the twenty-three in the health zone. Rural health areas were not taken into account in this study given the difficulties of access and financial constraints. Well beyond the ZSUR of Gemena and its particular typology (urban health areas and rural health areas), each health zone, depending on the context, can be full of specific factors that other studies can help to discover.

Beyond the survey, our observation, our sense of apprehension and our curiosity were used to collect empirical data, analyze them and bring out the essential elements useful for providing guidance as results for our study. Overall, six factors were incriminated for which a positive association was found between the parameter analyzed and the occurrence of low birth weight (LBW).

This set of factors identified and listed above are therefore not exhaustive. It should also be noted that since the study was prospective, only cases recorded during the period of our study were considered for analysis. Like the shadow that hides the forest, rural areas and those not analyzed may well hide many other factors.

KEYWORDS: low, weight, birth, infant, maternal, child health.

RESUME: Le faible poids à la naissance est un des vrais problèmes de santé publique. Il est utilisé comme un indicateur qui traduit la croissance fœtale au sein de sa mère mais aussi présage l'avenir et la croissance de l'enfant, du moins dans les premières années de sa vie. Plusieurs études émettent le point de vue selon lequel, il y aurait une forte morbi-mortalité très élevée chez les enfants nés avec faible poids qu'il n'y en a chez les autres enfants.

L'hôpital général de référence étant une structure de 2^{ème} échelon prend en charge l'ensemble des personnes en besoin de santé venant de toute l'étendue de la zone de santé. Il a été constaté selon notre observation, qu'il y a eu de plus en plus d'enfants naissant avec un faible poids notamment à la maternité de l'HGR de Gemena, une raison pour toute personne animée d'un esprit scientifique de chercher à découvrir quels en peuvent être les déterminants.

Signalons que l'étude a été menée dans la zone péri urbaine de Gemena et a couvert neuf aires de santé sur les vingt-trois que compte la zone de santé. Les aires de santé rurales n'ont pas été prises en compte dans cette étude compte tenu des difficultés

d'accès et aux contraintes financières. Bien au-delà de la ZSUR de Gemena et sa typologie particulière (aires de santé urbaines et aires de santé rurales), chaque zone de santé, selon les contextes peuvent regorger des facteurs particuliers que d'autres études peuvent permettre de découvrir.

Au-delà de l'enquête, notre observation, notre sens d'appréhension et notre curiosité ont été mises à contribution pour collecter les données empiriques, les analyser et en ressortir les éléments essentiels utiles à donner des orientations comme résultats pour notre étude. Dans l'ensemble, six facteurs ont été incriminés pour lesquels une association positive a été trouvée entre le paramètre analysé et la survenue de faible poids à la naissance (FPN).

Cet ensemble des facteurs identifiés et énumérés ci-haut ne sont donc pas exhaustifs. Il convient aussi de noter que l'étude étant prospective, seuls les cas enregistrés pendant la période de notre étude ont été considérés pour être analysés. Comme l'ombre qui cache la forêt, les zones rurales et celles non analysées peuvent bien cacher beaucoup d'autres facteurs.

MOTS-CLEFS: faible, poids, naissance, nourrisson, santé maternelle, infantile.

1 INTRODUCTION

Le faible poids à la naissance – défini comme inférieur à 2 500 grammes – est un indicateur important de la santé du nourrisson parce qu'il paraît comme révélateur de la santé fœtale intra utérine mais aussi présage la morbidité et mortalité infantiles de la petite enfance qui peuvent se poursuivre jusqu'à l'âge adulte et de ce fait, il constitue une préoccupation pour tous les acteurs du secteur de la santé au niveau institutionnel et communautaire. Il est aussi généralement admis que le faible poids à la naissance peut être dû à deux facteurs: un retard de croissance intra-utérin ou une naissance prématurée. Les nouveau-nés de faible poids risquent plus d'être en mauvaise santé ou de décéder, doivent souvent être hospitalisés plus longtemps après la naissance et sont davantage susceptibles de souffrir de handicaps importants (Unicef et OMS, 2004). Pourtant bien d'autres facteurs présentent un risque de faible poids à la naissance. Parmi ceux-ci figurent le tabagisme et la consommation excessive d'alcool de la mère, une mauvaise hygiène alimentaire, un faible indice de masse corporelle, un milieu socio-économique défavorisé, la fécondation *in vitro* et une grossesse multiple.

Dans certains pays émergents, la forte proportion de naissances de faible poids est liée principalement à une nutrition inadaptée de la mère avant et pendant la grossesse, à une mauvaise santé et à la difficulté d'accéder à des soins de santé appropriés pendant la grossesse.

Le poids de naissance est donc un important indicateur de l'état de santé et de la situation nutritionnelle de la mère avant et pendant la grossesse. C'est aussi un important prédicteur de la survie de l'enfant et de son développement ultérieur. Il y a en effet une association étroite à court terme entre le niveau de FPN, la mortalité fœtale et néonatale et la morbidité infantile.

Pour apprécier et évaluer un bébé, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et l'UNICEF ont mis en place un ensemble des critères qui permet de juger de la qualité du nouveau-né et même de prédire sur son évolution à court terme voire à long terme.

Si à la naissance, les prestataires des soins (infirmiers, médecins, sage-femme) utilisent l'APGAR (Apparence, Pulsation, Grimaces, Activités et Respiration) pour évaluer l'état de l'enfant à la naissance, il n'en reste pas moins que le poids à la naissance soit considéré comme l'un des paramètres anthropométriques qui fournit une nette appréciation de la constitution de l'enfant, bien sûr, en relation avec les autres paramètres considérés, le diamètre crânien par exemple.

Loin d'être un problème spécifique des pays en voie de développement, même les pays dits développés (industrialisés) sont concernés par cette situation.

Outre cette surmortalité, il est admis, selon plusieurs études, que le FPN a des conséquences sur la croissance physique et mentale de l'enfant. (PRONANUT RDC, 2019)

La République Démocratique du Congo comme d'autres pays à faible revenu est confronté à une prévalence élevée de petit poids des enfants à la naissance. Selon l'UNICEF, 60 à 80% de décès néonataux sont dus à ce problème de santé sans compter les autres conséquences ultérieures comme le retard de croissance physique et neurologique, l'augmentation de risque de développer des maladies chroniques telles que le diabète, l'obésité et autres (TSHIBANGU, 2014).

La Province de Sud – Ubangi figure parmi les provinces touchées par cette situation comme il en est le cas à travers tout le pays, dont les conséquences à court et moyen terme sont préoccupantes.

A l'hôpital générale de Gemena où nous prestons, il se révèle que près de 5 enfants sur 80 naissent avec un faible poids (dysmatures), 25% d'entre ces nouveau-nés développent une maladie infectieuses, 95% de ces maladies se compliquent immédiatement et conduisent à la mort du bébé faute de prise en charge correcte; les structures médicales de la province, avec leurs équipements de soins vétustes ne permettent pas de les sauver.

Toutes ces constatations méritent une attention soutenue des prestataires des soins et des décideurs, voilà pourquoi, il nous a paru plus que nécessaire d'entreprendre des recherches pour connaître les facteurs, du moins les plus prépondérants couramment rencontrés dans nos milieux, qui occasionnent la naissance des bébés de faible poids dans la province, plus spécifiquement dans la Ville de Gemena, en vue de proposer des stratégies en amont et ainsi, sauver la vie des milliers de futurs bébés.

Quels sont les facteurs liés à la naissance des nouveaux – nés de faible poids à la maternité de l'hôpital générale de référence de Gemena ? Telle est la question de départ de cette étude.

Pour cette étude, il s'avère vraisemblablement que les facteurs liés au faible poids à la naissance dans la ville de Gemena seraient notamment:

La mauvaise alimentation de la femme enceinte; les maladies parasitaires mal soignées pendant la grossesse (tels que le paludisme, la toxoplasmose) et les maladies placentaires (DPPNI).

L'objectif principal que poursuit la présente étude est de déterminer les principaux facteurs associés à la naissance des nouveaux – nés avec un faible poids observés à la maternité de l'HGR de Gemena.

2 MÉTHODOLOGIE

La présente étude s'inscrit dans une approche quantitative. Elle est descriptive et analytique. Elle tente d'identifier les déterminants à l'origine de faible poids à la naissance dans le contexte de la ville de Gemena à travers les enfants nés avec un poids inférieur à 2500 grammes retrouvés à l'HGR de Gemena. Les dossiers ont été retrouvés dans les archives du service de néonatalogie de l'HGR de Gemena, où 47 dossiers ont été retrouvés pour une période de 6 mois soit du mois de janvier au mois de juin 2022. A l'issue de cette trouvaille, les références ont été remontées pour rattraper les géniteurs en vue de les enquêter. Les déterminants étant potentiellement trouvables chez ces derniers.

Elle est une recherche du domaine de la santé publique, dans l'approche santé sexuelle et reproductive axée sur la prise en charge infantile et néonatale de nouveau-nés avec faible poids à la naissance. L'HGR de Gemena a été pris dans ce travail comme structure de référence d'où la convergence des malades, mieux des enfants nés avec FPN de toutes les structures des soins de la zone de santé.

Il convient de mentionner que les enfants retenus étaient venus de sept aires de santé dans les alentours de Gemena, citons: Libenge-Moke, Bokuda, Boyambi, Ngbandala, Salongo II, Gemena III et Gemena II.

La zone de santé est l'unité de base opérationnelle et de planification sanitaire.

L'HGR de Gemena est l'un des hôpitaux de la Province du Sud-Ubangi, il fut érigé en 1943 sous forme d'un dispensaire maternité dirigé par les religieuses catholiques.

Son rôle principal consistait à recevoir les parturientes et à dispenser des soins de santé aux pensionnaires de la mission catholique.

L'HGR de Gemena dessert toutes les populations de Zone de Santé Urbano-Rurale de Gemena estimée en 2021 à 403.979 habitants répartis dans 172 Villages et 13 Quartiers sur 23 Aires de Santé.

L'HGR de Gemena a une capacité d'accueil de 250 lits théoriques et 186 lits montés.

Pour cette étude, nous avons recouru à la méthode d'enquête sur terrain c'est-à-dire les données qui seront présentés sous forme des résultats dans les pages qui suivent ont été collectées sur le terrain (HGR de Gemena, centres de santé puis domiciles) auprès des mères ayant eu des enfants avec faible poids à la naissance à l'hôpital général de référence de Gemena durant la période couverte par notre étude.

En vue de faciliter la descente sur le terrain, la revue des documents a été utilisée au préalable pour aider le chercheur à retrouver les données élémentaires à sa recherche. En effet, les registres d'accouchement ont été la principale source de référence où, les mères des enfants nés avec FPN ont été identifiées.

Les adresses inscrites dans le registre de la maternité ont servi pour cibler les aires de santé de provenance et les localités d'origine des concernés de notre étude ainsi que les domiciles. Puis, avec le concours des Recos, ces mères ont été suivies en vue des échanges interpersonnels des entretiens et des observations directes qui ont permis de ressortir les éléments essentiels à l'élaboration de ce travail.

Pour collecter les données, un guide d'entretien a été initié pour la cause en vue d'orienter l'enquêteur vers les objectifs visés de l'étude. Non directif et non figé, cet outil a été utilisé non comme un questionnaire auto administré mais bien plus, comme note d'orientation de l'enquêteur pour ne pas errer dans ses propres pensées lors de la collecte des données sur le terrain.

Pour la présente étude, nous avons eu recours à un d'échantillonnage non probabiliste de convenance c'est-à-dire, ne connaissant pas la taille totale de la population, il était impossible d'organiser un quelconque tirage au sort ou une sélection aléatoire des sujets à enquêter. Signalons que la taille définitive de notre échantillon a été déterminée à posteriori c'est-à-dire c'est à l'issue de l'enquête sur le terrain suivant le nombre des dossiers retrouvés des enfants nés avec FPN et les mères disponibles sur le terrain que nous avons déterminé la taille définitive de notre échantillon.

En définitive de notre échantillon s'est élevée à 39 sujets. Il convient de signaler que 49 dossiers ont été retrouvés comme ayant eu des enfants avec FPN. Nous avons pourtant connu des difficultés à les retracer à travers les adresses retrouvées dans les dossiers, mais aussi, deux des ménages identifiés ont émis une résistance envers les enquêteurs et n'ont pas accepté de participer à notre étude.

Tableau 1. Répartition des enquêtées selon les AS de provenance

AIRE DE SANTE	Village/Quartier	Nbre	%
Bokuda	Bokuda 1	02	
	Bobazolo	06	
	Boketa	03	
Total AS Bokuda		11	28,2
Gemena III	Ipok	02	
	Gbadolite	04	
	Antenne	01	
Total AS Gemena III		07	17,9
Boyambi	Bosengbene	02	
	Boyambi	05	
Total AS Boyambi		07	17,9
Salongo II	Gôô	03	
	Movoto	02	
Total AS Salongo II		05	12,8
Ngbandala	Kunda	01	
	Mombonga	03	
Total AS Ngbandala		04	10,3
Gemena II	Susula	01	
	Bokonzo	01	
	Camp Yola	01	
Total AS Gemena II		03	7,8
Libenge-Moke	Libenge-Moke	02	5,1
Total		39	100

3 PRESENTATION DES RESULTATS DE L'ETUDE

3.1 RENSEIGNEMENTS SUR LA MÈRE

Tableau 2. Répartition des enquêtées selon les tranches d'âge

Caractéristique	n (39)	% (100)
Tranche d'âge (an)		
45 - 49	06	15,4
40 – 44	07	17,9
35 – 39	09	23,0
30 – 34	04	10,3
25 – 29	04	10,3
20 – 24	03	7,7
15 – 19	06	15,4

Il se dégage de ce premier tableau que la tranche d'âge la plus représentée est celle comprise entre 35 à 39 ans. Elle compte à elle seule 09 enquêtées soit 23,0%. La tranche de 20 – 24 ans vient en dernière position avec 03 enquêtées soit 7,7%.

Aussi, il se dégage trois tendances au vu de ce tableau. La première est représentée par le 10 – 20 % avec cinq classes; la deuxième tendance se cristallise au-delà de 20% (23%) avec une classe et en fin, en dessous de 10% (7,7%) avec une seule classe aussi.

Tableau 3. Répartition des enquêtées selon leur statut matrimonial

Statut matrimonial	n(39)	%(100)
Marié	26	66,7
Célibataire	8	20,5
Divorcé	5	12,8
Veuf	0	0

Au regard de ce tableau, il se note que 66,7% de nos enquêtées sont mariées et 20,5% sont célibataires alors que les divorcées sont comptées au nombre de 05 avec une proportion de 12,8%.

Ce qui laisse transparaître que la majorité des enquêtées sont venues de leurs toits conjugaux et que celles dont le divorce aurait probablement un effet sur le FPN ne serait que très minoritaire donc très peu significatif.

Tableau 4. Répartition des enquêtées selon leur niveau d'instruction

Niveau d'instruction	n (39)	% (100)
Primaire	16	41,0
Sans formation scolaire	10	25,7
Secondaires	9	23,0
Supérieur et universitaire	4	10,3

On découvre de ce tableau que la majeure partie de nos enquêtées ont un niveau d'instruction primaire. Elles sont de l'ordre de 16 soit 41,0%. Celles qui ont un niveau supérieur et universitaire sont seulement quatre soit 10,3%.

On a constaté aussi qu'une bonne frange de nos enquêtées sont sans instruction c'est-à-dire n'ont bénéficié d'une quelconque formation scolaire 10 soit 25,7%.

Tableau 5. Répartition des enquêtées selon leurs occupations actuelles (occupations professionnelles)

Occupation professionnelle	n (39)	% (100)
Ménagères	17	43,6
Commerçantes/Vendeuses	15	38,5
Employées	4	10,2
Elèves / étudiantes	3	7,7

Il ressort de ce tableau que la principale occupation professionnelle de nos enquêtées est les travaux de ménage avec 43,6% (17 sujettes); les élèves/étudiantes sont très minoritaire avec 3 participantes soit 7,7%.

Tableau 6. Répartition des enquêtées selon leurs antécédents médicaux

Antécédents médicaux	n (39)	% (100)
Aucun	18	46,2
Maladies non spécifiées	11	28,2
VIH	6	15,4
TBC	2	5,1
Hépatite virale B	2	5,1
Maladies non spécifiées	11	28,2

Il ressort de ce tableau que 46,2% (18) n'ont eu aucun antécédent médical pouvant présager un quelconque FPN, 15,4% (6) auraient été VIH positif, 5,1% de la TBC. Onze de celles-ci ont eu des antécédents des maladies non spécifiques c'est-à-dire qu'on ne sait pas définir.

Tableau 7. Répartition des enquêtées selon le nombre d'accouchements (parité)

Parité	n (39)	% (100)
2	16	41,0
3	13	33,3
1	8	20,6
≥ 4	2	5,1

Au regard de ce tableau, nous constatons ce qui suit: 41,0% de nos enquêtés ont deux enfants chacune, 20,6% de ces dernières ont un seul enfant, 33,3 % de nos enquêtés ont trois enfants, enfin 7% de ces dernières ont quatre enfants et plus.

On constate une certaine cristallisation des accouchements autour de 2 à 3 enfants alors que celles qui ont plus de 4 enfants ne sont que 2 soit 5,1%.

Tableau 8. Répartition selon leur nombre de grossesses (Gestité)

Gestité	n (39)	% (100)
≥ 5	13	33,3
4	11	28,2
2	7	18,0
1	5	12,8
3	3	7,7

Les données de ce tableau, nous révèlent ce qui suit: 33,3% de nos enquêtées ont déjà eu cinq fois et plus d'accouchements, 28,2% ont en eu quatre. Celles qui ont été trois enceintes représentent 7,7%.

Il se dégage donc que quatre grossesses et plus accumulent 61,5% de l'ensemble des accouchements avec FPN décomptés durant la période couverte par l'étude.

Tableau 9. Répartition des enquêtées selon nombre d'avortements subis

Avortement	n (39)	% (100)
2	14	35,9
0	12	30,8
3	6	15,4
1	4	10,3
≥ 4	3	7,6

Au vu de ce tableau, il se dégage que le plus grand nombre de nos enquêtées est celui qui a déjà subi plus de deux avortements. Elles sont quatorze soit 35,9% alors que le plus petit nombre est celui qui a subi quatre avortements ou plus qui est de trois soit 7,6%.

Nous découvrons aussi que les femmes qui n'ont jamais connu un avortement parmi nos enquêtées sont de l'ordre de 12 soit 30,8%.

Tableau 10. Répartition des enquêtées selon les maladies dont elles auraient souffert pendant la grossesse

Maladie de la mère pendant la grossesse	n (39)	% (100)
Paludisme	19	48,7
IST	9	23,1
Menace d'avortement	7	17,9
Anémie	4	10,3

Il ressort de ce tableau que le paludisme, comme dans toutes les listes des pathologies dominantes, vient en tête des maladies dont les mères auraient souffert pendant la grossesse. Il s'en suit les infections sexuellement transmissibles (9 soit 23,1%).

Il ne va pas sans dire que les anémies aussi sont comptées parmi les causes de la souffrance des mères pendant la grossesse avec 4 soit 10,3%.

3.2 RENSEIGNEMENTS SUR LES BEBES NES AVEC FAIBLE POIDS

Tableau 11. Répartition bébés selon leurs poids à la naissance

Poids à la naissance	n (39)	% (100)
1,600 – 2,00 kg	24	61,6
1,00 – 1,500 kg	13	33,3
< 1,00 kg	2	5,1

Il se dégage selon ce tableau que la plupart de faible poids se concentre entre 1600 à 2000 grammes de poids alors que le moins de 1000 grammes sont 2 représentant 5,1%.

Tableau 12. Répartition des bébés nés avec faible poids selon leur sexe

Sexe	n (39)	% (100)
Féminin	23	59,0
Masculin	16	41,0

Ce tableau démontre que sur les trente-neuf bébés nés avec faible poids durant la période couverte par cette étude, vingt-trois sont de sexe féminin soit 59,0% contre seize de sexe masculin, soit 41,0%.

Il y a de ce fait, plus de FPN chez le sexe féminin qu'il y en a chez le sexe masculin.

Tableau 13. Répartition des bébés nés avec faible poids selon le type de grossesse

Type de grossesse	n (39)	% (100)
Simple	27	69,2
Gémellaire	12	30,8

Ce tableau démontre que sur les trente-neuf bébés nés avec faible poids durant la période couverte par cette étude, les grossesses gémellaires sont plutôt moins (12 soit 30,8%) nombreuses que les grossesses simples (27 soit 69,2%). Ceci laisse entrevoir que la gémellité ne serait pas probablement la cause de FPN.

Tableau 14. Répartition des enquêtées selon leurs régimes alimentaires pendant la grossesse

Régime alimentaire	n (39)	% (100)
Non spécifique	32	82,0
Spécifique	7	18,0

Ce tableau montre que sur les 39 enquêtées, seules sept étaient soumises à un régime alimentaire spécifique alors que 32 soit 82,0% n'avaient pas un quelconque régime spécifique pouvant influencer le poids de l'enfant à la naissance.

Le régime spécifique était essentiellement un régime désodé par crainte de l'éclampsie. Il convient de mentionner que les accouchements à la maternité de l'HGR sont pour la plupart des accouchements référés des centres de santé et, en l'absence des nutritionnistes au niveau du premier échelon, il est donc difficile que ces femmes bénéficient d'un quelconque régime spécifique comme tel pendant la grossesse.

Tableau 15. Répartition des enquêtées selon les principaux types d'aliments consommés pendant la grossesse

Principaux types d'aliments	n (39)	% (100)
Fuku, pondu et légumes	18	46,2
Chikwangue, viande et légumes	10	25,6
Fuku, viande et pondu	7	18,0
Banane, Pondu et légumes	4	10,2

Il ressort de ce tableau que les principaux types d'aliments sont faits de Fuku, pondu, légumes (71,8%) et parfois un peu de la viande (25,6%).

Si la viande et les légumes sont réputées et peuvent être recommandées pour apporter des protéines aux femmes enceintes, les autres aliments énumérés et généralement consommés sont plutôt reconnus comme très pauvres en protéines et donc non recommandés pour l'alimentation d'une femme enceinte.

Tableau 16. Répartition des enquêtées selon les habitudes alimentaires pendant la grossesse (consommation des drogues)

Consommation des drogues	n (09)	% (100)
Excès d'alcool	5	55,6
Tabac	2	22,2
Autres drogues	2	22,2

Concernant la consommation de certaines substances drogueuses, on découvre de ce tableau que seules 09 enquêtées sur les 39 ont admis avoir consommé ce genre des substances. Parmi celles-ci, l'alcool vient en première position comme la drogue la plus consommée avec 5 enquêtées soit 55,6%.

Le tabac et les autres drogues se partagent le même nombre des consommatrices représentant chacune 22,2%.

Tableau 17. Répartition des enquêtées selon la régularité à la CPN pendant la grossesse

Régularité à la CPN	n (39)	% (100)
Non régulières	26	66,7
Régulières	13	33,3

Au regard de ce tableau, nous constatons ce qui suit: 66,7% de nos enquêtés n'ont pas été régulière à la CPN et 33,3% l'ont été.

Tableau 18. Répartition selon le nombre de fois où la gestante a été hospitalisée pour cas de maladie pendant la grossesse

Hospitalisation pendant la grossesse	n (39)	% (100)
Une fois	12	30,8
Trois fois et plus	11	28,2
Deux fois	9	23,1
Aucune	7	17,9

Au regard de ce tableau, nous constatons que sur les 39 enquêtées, seules 7 soit 17,9% n'ont jamais été admises dans une structure de soins pour un quelconque traitement.

Vingt ont été vues à l'hôpital plus d'une fois pendant la grossesse qui s'est soldée par la naissance d'un enfant avec faible poids (51,3%) alors que 12 soit 30,8% l'ont été une seule fois.

Tableau 19. Répartition des enquêtées selon qu'elles ont reçu le TPI durant la grossesse

TPI durant la grossesse	n (39)	% (100)
Non	25	64,1
Oui	14	35,9

Au regard de ce tableau, on s'aperçoit que la majorité d'enquêtées n'avaient pas bénéficié d'un traitement permanent intermittent pendant la grossesse (64,1%) et que seulement 35,9% en ont bénéficié.

Ce qui laisse certainement présager une contamination et le développement du paludisme pendant la grossesse, un facteur multiplicateur de risque de FPN.

Tableau 20. Répartition des enquêtées selon qu'elles ont reçu la MIILDA durant la grossesse

MIILDA durant la grossesse	n (39)	% (100)
Non	20	51,3
Oui	19	48,7

Au regard de ce tableau, nous constatons ce qui suit: 66,7% de nos enquêtés n'ont pas été régulière à la CPN et 33,3% l'ont été.

Tableau 21. Répartition des enquêtées selon qu'elles ont dormi sous la MIILDA pendant toute la durée de la grossesse

Dormir sous la MIILDA	n (39)	% (100)
Non	25	64,1
Oui	14	35,9

Nous nous apercevons, à travers ce tableau, que dans l'ensemble de nos enquêtées, seules 14 soit 35,9% ont affirmé avoir dormi régulièrement toutes les nuits sous une moustiquaire imprégnée d'insecticide à longue durée d'action (MIILDA).

Ce qui crée déjà une disparité avec celles qui ont prétendu avoir effectivement bénéficié d'une MIILDA au centre de santé lors de la grossesse ayant abouti à l'accouchement d'un enfant avec FPN.

Tableau 22. Répartition selon qu'elles ont bénéficié des micronutriments (fer + acide folique) pendant la grossesse

Fer + Acide folique pendant la grossesse	n (39)	% (100)
Non	31	79,5
Oui	8	20,5

Ce tableau nous montre que la majorité de nos enquêtées avait bénéficié des micronutriments pendant la grossesse.

On a dénombré 31 soit 79,5% qui ont avoué avoir reçu le fer et acide folique pendant la grossesse contre seulement 8 (20,5%) qui ont déclaré n'avoir pas reçu ces produits pendant leur grossesse.

Tableau 23. Appréciation de la salubrité domiciliaire

Salubrité domiciliaire	n (39)	% (100)
Non salubre	28	71,8
Salubre	11	28,2

Il ressort de ce tableau que sur les trente-neuf domiciles visités où habitent les femmes que nous avons enquêté, 28 d'entre elles soit 71,8% sont considérées insalubres (mal propres), seulement 11 soit 28,2% qui sont considérées comme salubres (propres).

Ceci est le fruit de nos observations sur le terrain. Ce qui laisse présager un potentiel risque d'exposition au paludisme.

Tableau 24. Répartition des enquêtées selon la maladie qui a été à la base de l'hospitalisation pendant la grossesse

Maladie pendant la grossesse	n (39)	% (100)
Paludisme	21	53,8
Menace d'avortement	7	17,9
Hémorragie	4	10,3
Douleur au bas ventre	4	10,3
Anémie	3	7,7

Comme dans la plupart des statistiques des pathologies dominantes, il ressort de ce tableau que 21 soit 53,8% d'enquêtées avaient visité l'hôpital pour paludisme alors que 7,7% l'ont été pour l'anémie.

ANALYSE INFÉRENTIELLE

Tableau 25. Lien entre quelques caractéristiques sociodémographiques et les paramètres de l'étude

Occupation professionnelle	Faible poids à la naissance		Total	χ^2_{cal}	ddl	P	χ^2_{tab}	S
	Oui	Non						
Ménagère	17	0	17					
Commerçante/vendeuse	15	0	15					
Employée	04	0	04					
Elève/Étudiante	03	0	03					
Total	39	0	39	32,351 ^a	4	,000	9,488	***
Antécédents médicaux de l'enquêtée	Faible poids à la naissance							
	Oui	Non						
Aucun	00	18	18					
HIV	6	0	6					
TBC	2	0	2					
Hépatite B	2	0	2					
Maladies non spécifiques	11	0	11					

Total	21	18	39	25,408 ^a	3	,000	7,815	***
Parité	Faible poids à la naissance							
	Oui	Non						
2	16	0	16					
3	13	0	13					
1	8	0	8					
≥ 4	2	0	2					
Total	39	00	39	11,706 ^a	4	,020	9,488	***
Gestité (nombre de grossesses)	Faible poids à la naissance							
	Oui	Non						
≥ 5	13	0	13					
4	11	0	11					
2	7	0	7					
1	5	0	5					
3	3	0	3					
Total	39	0	39	12,947 ^a	1	,000	3,841	***
Maladies de la grossesse	Faible poids à la naissance							
	Oui	Non						
Paludisme	19	0	19					
IST	9	0	9					
Menace d'avortement	7	0	7					
Anémie	4	0	4					
Total	39	0	39	2,800 ^a	4	,000	3,841	***
Sexe de l'enfant à la naissance	Faible poids à la naissance							
	Oui	Non						
Féminin	23	0	33					
Masculin	16	0	16					
Total	39	0	39	12,945 ^a	1	,000	3,881	*
Types de grossesses	Faible poids à la naissance							
	Oui	Non						
Gémellaire	12	0	12					
Simple	27	0	27					
Total	39	0	39	17,956 ^a	1	,000	20,001	**
Drogues consommées par la mère pendant la grossesse	Faible poids à la naissance							
	Oui	Non						
Excès d'Alcool	5	0	5					
Tabac	2	0	2					
Autres drogues	2	0	2					
Aucune drogue	30	0	30					
Total	39	0	39	10,977 ^a	1	,000	8,858	*
Gestité	Faible poids à la naissance							
	Oui	Non						
≥ 5	13	0	13					
4	11	0	11					
2	7	0	7					
1	5	0	5					
3	3	0	3					
Total	39	0	39	12,947 ^a	1	,000	3,841	***

Ce tableau nous démontre que sur l'ensemble des résultats issus de notre enquête sur le terrain, sur huit paramètres appariés (occupation professionnelle, antécédents médicaux de la mère, parité (le nombre d'accouchements), gestité (nombre des grossesses), la maladies de la mère pendant la grossesse, le sexe de l'enfant, les types de grossesses (simple ou gémellaire), consommation des drogues par la mère pendant la grossesse, pour lesquels nous avons voulu rechercher une signification en lien avec la survenue de faible poids à la naissance; l'étude a permis de découvrir que six de ces paramètres se sont avérés significatifs et sortent du lot c'est-à-dire peuvent avoir une influence significative sur le faible poids à la naissance.

De ces facteurs, on a pu relever : les antécédents médicaux de la mère, la parité, la gestité, la maladie qu'aurait souffert la mère pendant la grossesse, les types de grossesses, consommation des drogues par la mère pendant la grossesse. Pris au seuil de signification de $p < 0,5$, les six paramètres se sont révélés très significatifs. Les antécédents médicaux de l'enquêtée (X^2 calc: 25,408^a, ddl: 3,000, X^2 tab: 7,815, ***), nous avons ici considéré les maladies dont les mères ayant eu des enfants avec faible poids à la naissance auraient souffert bien avant la grossesse.

Parmi ces paramètres six avaient eu un antécédent de HIV⁺, deux avaient souffert d'une probable tuberculose, deux de l'hépatite du type B et onze des maladies non spécifiques. De ces maladies non spécifiques, nous pouvons énumérer le diabète gestationnel, les hypertension artérielles, la cardiopathie. Un autre paramètre que nous avons analysé est la Parité (X^2 calc: 11,706^a, ddl: 4, 020, X^2 tab: 9,488, ***).

L'étude a impliqué seize (16) villages ou quartiers répartis sur sept (7) aires de santé autour de la ville de Gemena. Chacune de ces aires de santé disposait d'un centre de santé hébergeant une maternité publique et la zone d'étude est donc rattachée à ces 3 centres de santé en termes d'accès aux soins. Toutefois il faut noter que cette représentativité ne concerne que les femmes ayant utilisé le système de santé publique pour l'accouchement de référence. Il se pose tout de même un problème des femmes qui accouchent à domicile ou dans des structures privées ou même dans les maternités des centres de santé. Il faut reconnaître, et selon le rapport de l'EDS et de l'INS (2014), sur l'ensemble des naissances vivantes survenues au cours des 5 dernières années précédant notre présente étude, 79,8% ont eu lieu dans un établissement public de santé, 17,6% dans une structure sanitaire privée et 2,6% de naissances avaient eu lieu à domicile sans l'assistance par un professionnel de santé avéré.

Au regard des critères de sélection imposés, les 39 accouchements sur lesquels l'étude a porté représentent 7,7 % du total d'accouchements qu'il y a eu à la maternité de l'HGR de Gemena sur toute la période couverte par notre étude soit 39 accouchements avec FPN sur 504 accouchements enregistrés. Cette proportion pourrait sembler acceptable quantitativement mais nous sommes bien conscients que les chiffres émanant de ce rapport doivent être replacés dans leur contexte et tenir compte par exemple des particularités géographiques ou encore liées aux groupes ethniques, aux pratiques religieuses mais aussi aux périodes.

Une analyse comparative des résultats aiderait certainement les autorités sanitaires à émettre des recommandations plus en phase les contextes particuliers de chaque zone de santé.

Dans une étude réalisée par Sètonджи Géraud Roméo Padonou au Bénin (2014) sur le faible poids de naissance, prématurité et retard de croissance intra utérin: facteurs de risque et conséquences sur la croissance de la naissance à 18 mois de vie chez des nouveau-nés Béninois, il a été démontré à priori que les prévalences de FPN, de prématurité et de RCIU étaient de 9,1%, 10,3% et 25,3% respectivement. Trois quarts des enfants nés avec un FPN avaient connu un retard de croissance intra utérin. Alors que dans notre étude, aucun cas relatif à un RCIU n'a été relevé. Ce qui suppose que tous les 39 cas de FPN que nous avons suivi étaient des enfants nés à terme. Il en est de même pour la prématurité, car dans l'étude de Sètonджи G. (op.cit.), il avait trouvé que la grande majorité des prématurés (44 sur 54), ce qui n'est pas le cas dans notre contexte.

Notre étude va dans le même sens en ce qui concerne la parité. La parité est intimement liée au faible poids à la naissance. Mais plutôt dans ce sens où, plus les parités augmentent, plus la femme a des chances d'avoir des enfants avec faible poids l'analyse des facteurs de risque en utilisant le poids de naissance comme une variable quantitative a retrouvé des résultats similaires et a montré en plus un effet négatif indépendant de la petite taille de la mère qui n'avait pas été objectivé avec le poids de naissance en variable dichotomique. Gestité (X^2 calc: 12,947^a, ddl: 1, 000, X^2 tab: 3,841, ***).

Aussi, le nombre d'accouchements que la femme aurait eu a certainement une influence significative dans la survenue de FPN (Parité (X^2 calc: 11,706^a, ddl: 4, 020, X^2 tab: 9,488, ***).

Enfin, on comprend bien que l'augmentation de la prématurité en rapport direct avec les avancées technologiques énoncées pour les pays industrialisés joue un rôle moindre dans les PED ou bien moins de grands prématurés survivent. Au final si la progression de la prématurité est une réalité dans les pays industrialisés, sur le continent africain il y a un grand besoin de précision des données afin de mieux évaluer la situation.

Comme pour la plupart des études et dans beaucoup des listes des pathologies dominantes, c'est le paludisme qui apporte son plus grand lot dans la survenue de FPN. Avec 48,7%, le paludisme se positionne comme la première maladie pour laquelle, les mères auraient souffert pendant la grossesse.

D'un autre côté le faible taux de FPN que nous avons observé pourrait être dû à un meilleur contrôle du paludisme gestationnel qui, comme cela a été largement décrit dans la littérature, a un effet délétère sur la croissance fœtale et le poids de naissance.

Le traitement préventif intermittent chez la femme enceinte (TPIg) introduit par le Ministère de la Santé depuis quelques années contribue à une réduction de la prévalence de FPN, passant de 15,7% avant la mise en place du TPIg à 10,0% après cette mise en place (Le Port, Cottrell et al. 2011). Dans une étude réalisée par le ministère sur cette question, il a été démontré que près de 83% des femmes enceintes avaient reçu au moins une dose de TPIg au cours de leur grossesse.

Soulignons également que 66% des femmes interrogées avant l'accouchement ont déclaré avoir dormi sous moustiquaire la nuit précédente. Nous pensons donc que les mesures de protections des femmes enceintes contre le paludisme ont pu jouer un rôle positif sur le taux de FPN réduit que nous avons relevé.

Notre étude a aussi prouvé que les infections sexuellement transmissibles (9 soit 23,1%) sont contributives dans la survenue de FPN. Dans la littérature à notre disposition, nous n'avons pas pu trouver des textes qui se sont attardés à cette analyse.

Concernant la consommation de certaines substances drogueuses, l'OMS reconnaît et admet que la consommation des drogues n'est pas sans danger pour la mère et le fœtus. Toute prise de drogue doit être interrompue, que ce soit le cannabis, l'ecstasy, les amphétamines ou les opiacées. La cocaïne favorise les hématomes rétro placentaires et les pathologies neurologiques néonatales.

La consommation de cannabis entraîne une diminution du poids de naissance et des effets sur le comportement du nouveau-né (diminution de la puissance des pleurs, altération du sommeil et augmentation de l'impulsivité).

La prévention du syndrome d'alcoolisme fœtal et la survenue de malformations liées à l'alcool imposent l'absence d'ingestion alcoolique avant la conception, car une seule nuit d'ivresse avant le diagnostic de grossesse peut aboutir à une atteinte fœtale irréversible.

PERSPECTIVES

Au regard des résultats trouvés, ces quelques perspectives sont envisageables pour d'éventuelles améliorations:

AUX AUTORITÉS SANITAIRES

- Intensifier les campagnes de sensibilisation pour la participation active des femmes à la CPN;
- Encourager la CPN recentrée qui va aider à identifier et à suivre de façon spécifique de chaque femme;
- Equiper les structures de santé pour une prise en charge adaptée et pour l'amélioration de la santé sexuelle et reproductive;
- Sensibiliser les femmes sur la nécessité d'un bon suivi pendant la grossesse pour réduire le FPN et autres risques inhérents qui peuvent entraver la vie de la mère et celle de son futur enfant.

A LA COMMUNAUTÉ (FEMME EN ÂGE DE PROCRÉER)

- Appuyer, accepter et adhérer aux actions menées par les autorités politico - sanitaires dans le cadre de la sexuelle et reproductive;
- Privilégier les activités génératrices de recettes pour leur permettre l'auto-prise en charge et l'amélioration de la santé générale.

AUX FUTURS CHERCHEURS

- de compléter cette étude en abordant d'autres aspects non explorés dans le présent travail en vue de fournir un ensemble des connaissances plus large qui peut aider à la mise en place des stratégies plus élaborées et concourir à la bonne santé sexuelle et reproductive ainsi qu'à la santé générale de la population.

REFERENCES

- [1] Assimadik, Zongo P, Graga D.; Kessie K., Degboe L.A.; Hodonou H.; Vovor M, (1983), Mortalité et morbidité à l'unité des prématurés au CHU de Lomé. Rev med. Côte d'ivoire.
- [2] Beaufils M, Uzan S, Breat G., (1995), Aspirine et grossesse: Réalités et perspectives d'avenir. Contracep – fertilise.
- [3] Camara B.; Diak B., Diouf S. et Coll. (1995), Les faibles poids de naissance: Fréquence et facteurs de risque dans le District de Guediawaye (Banlieue Dakar – Sénégal Dakar Médical.
- [4] Diakitè N.: Petits poids de naissance étiologie, pronostic foetal immédiat dans le centre de santé de référence de la commune V 08 - M – 158.
- [5] Edgard Peters (2001), Etre infirmier en néonatalogie, le bien-être du nouveau-né.
- [6] Fourn L, Takpara I, zohoun T., (1994), Grossesses compliquées d'hémorragie et naissance d'enfant de faible poids à Cotonou (Benin).
- [7] Fourn L.; Zohoun T., (1990), Etude statistique des petits poids et de la taille du nouveau-né à Cotonou. Afr. Méd.
- [8] Goldenberg RL, Culhane JF, Iams JD, Romero R, (2008), Epidemiology and causes of preterm birth, Lancet.
- [9] Hamoud.B.A., (2000), Etude épidémiologique du faible poids de naissance dans le service gynécologie obstétrique de l'Hôpital National du Point G.
- [10] Larroque B, Ancel P-Y, (2008), Marret for the EPIPAGE Study group, Neurodevelopmental disabilities and special care of 5-year-old children born before 33 weeks of gestation (the EPIPAGE study): a longitudinal cohort study.
- [11] Sangaré Y. (1995), Etude épidémiologique des poids de naissance dans les maternités de la commune VI du District de Bamako.

