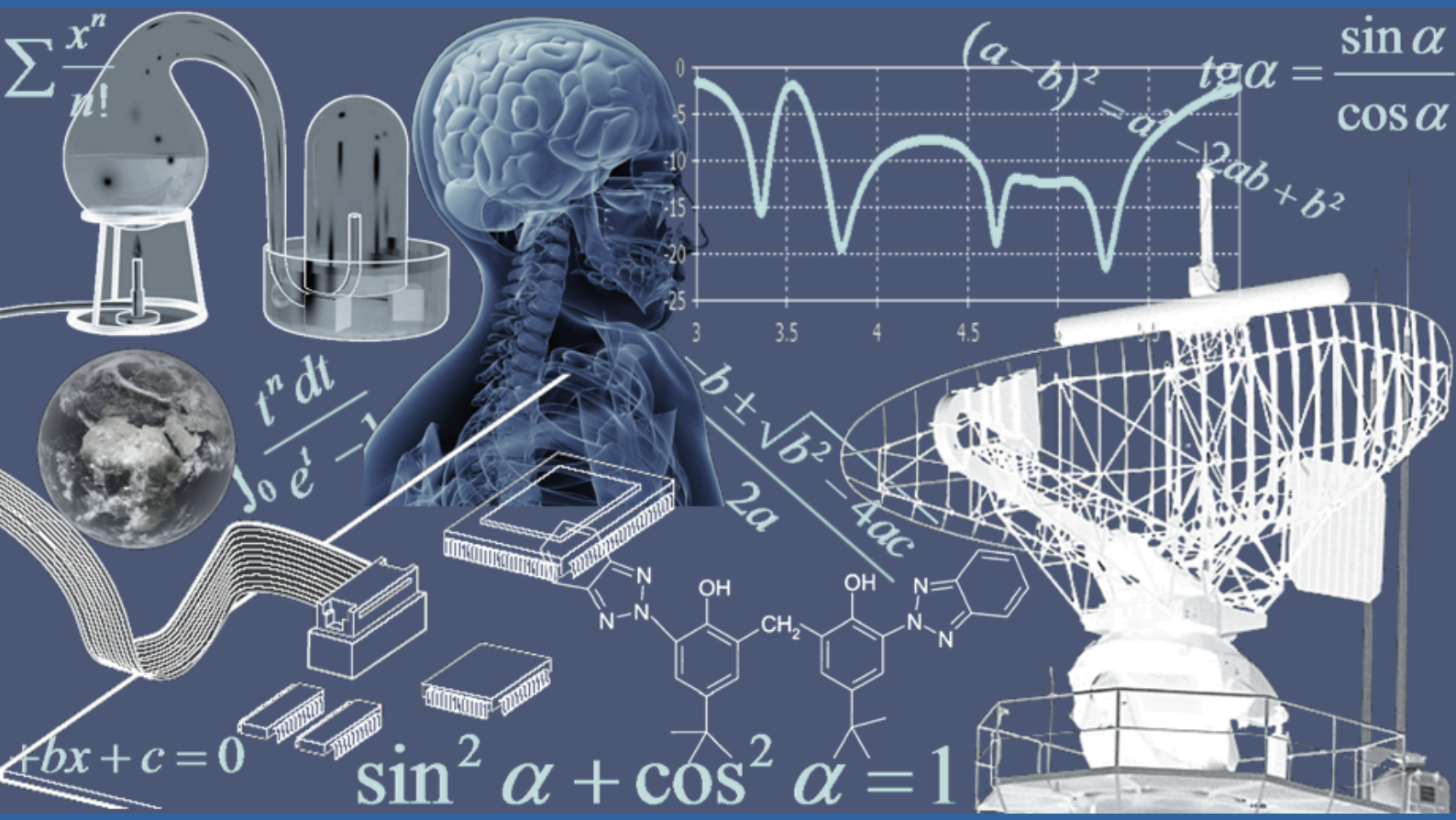
ISSN: 2028-9324
CODEN: IJIABO
Impact Factor: 6.71

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 40 N. 4 October 2023



International Peer Reviewed Monthly Journal

Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.issr-journals.org/

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 Pharmaceutics, 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

The effect of operational risk management on the profitability of small and medium size enterprises of the hotel sector in Cameroon 1069-1083

Mayegle François Xavier and Ngoe Frankline Dioni

Evaluation of material flows in the Mé River watershed (Ivory Coast) 1084-1102

Ehouman Serge Koffi, Anzoumanan KAMAGATÉ, Jean Thierry Koffi KOFFI, Amidou Dao, Dabissi Djibril Noufé, Bamory Kamagaté, Lanciné Droh GONE, Maurice Guilliod, Luc Séguis, and Jean Louis PERRIN

Analyse des potentialités agro-pédologiques dans un contexte de changement climatique: Comparaison des systèmes agroforestiers cacaoyers, jachères et forêts 1103-1112

Akotto Odi Faustin, N'Guessan Kouamé Jean-Claude, Kouadio Konan Kan Hippolyte, and Kouamé Konan Constant

Efficacité de quatre insecticides d'origine végétale dans la gestion des dégâts du criquet puant (Zonocerus variegatus Linné) sur la culture de manioc 1113-1120

Laurent Kikeba Mbala, Gilbert Pululu Mfwidi Nitu, Antoine MUMBA DJAMBA, Ovide Yobila Nuambote, Willy Bitwisila Lusundji, Idi Eca Idrissa, and Théodore Ndungi Vangu

Domestication préliminaire et intégration dans un système agroforestier de quelques plantes alimentaires, médicinales, héliophiles et sciaphiles 1121-1130

Blaise MATONDO NKAU, Pélagie MBANDU LUZOLAWO, Gilbert Pululu Mfwidi Nitu, Antoine MUMBA DJAMBA, and Laurent Kikeba Mbala

Prevalence of intestinal parasitosis at the university hospital of Abomey-Calavi and So-Ava in Benin (West Africa) from 2010 to 2020 1131-1137

Medoatinsa Seindé Espérance, Aboubakar Yarou Samirath, Agbangnan Dossa Cokou Pascal, Tchogou Pascal, Degbelo Jean Eudes, Agbogba Félicienne, Atchade Sossa Pascal, and Senou Maximin

Analyse des données lithologiques du district aurifère du Yaouré 1138-1161

Niamien Michael Kouadio KOUAKOU, Barthélémy Gnammytchet KOFFI, Gbele Ouattara, Cisse AMADOU, and Guillaume Yao YAO

Contributive to the floristic study of the Partial Natural Reserve of Dahliafleur located in the Department of Bingerville, in southern Côte d'Ivoire 1162-1170

Missa Koffi, Koffi Kouao Jean, Kanga Amy Léonie, and Soro Kafana

Accueil et intégration des nouveaux assistants à l'Université de Kinshasa: Processus, appréciation et conséquences 1171-1176

Roger Nzapakembi Kwando

Etudes des toxicités aigüe et subaiguë de Rhynchospora corymbosa et de Olax subscorpioïdea, plantes médicinales utilisées dans la prise en charge de la drépanocytose dans la région du Poro (Côte d'Ivoire) 1177-1191

M'Béfèhê Soro, Jacques Auguste Alfred Bognan Ackah, OBOUAYEBA Pacome, Joël Akakpo-Akue, Jean-François Sibri, BÉDOU Kouassi Denis, and Tatiana Kangah Mireille Kple

Are symbolic wounds linked to intellectual disability? A case study of the father of a child with an intellectual disability 1192-1199

Choupo Tamwa Julio Trésor

Diversité et distribution spatiales des Macroinvertébrés Aquatiques du cours moyen du fleuve Comoé (Côte d'Ivoire, Afrique de l'Ouest) 1200-1213

Youssouf BAMBA, Mamadou KAMAGATÉ, BERTÉ Siaka, and Koffi Komoé

Relation poids-longueur et facteur de condition de Trematocara unimaculatum Boulenger 1901 et Oreochromis niloticus (Linnaeus, 1758), deux espèces de poissons - cichlidés de la zone littorale du Nord du Lac Tanganyika: Cas des stations Kumase et Estuaire de la Rusizi de la côte burundaise 1214-1222

Mbonimpa Gordien, Niyonkuru Charles, and Nibona Emile

Etude de la résistance de douze (12) nouveaux génotypes de riz pour le contrôle de Magnaporthe oryzae B.C. Couch., pathogène de la pyriculariose du riz au Burkina Faso 1223-1229

Souleymane Ouattara, KASSANKOGNO Abalo Itolou, SÉRÉMÉ Abdoulaye, ZOUGRANA Sylvain, and KOÏTA Kadidia

ICT use by the Life and Earth Sciences subject teachers of regional academies of education and training of Rabat-Salé-Kenitra in Morocco before and during the Covid-19 epidemic 1230-1239

H. Labioui, F. Guerss, Safaa Moqaddem, L. Hafdi Idrissi, R. Touir, and Mohammed Chahboune

Amélioration de la désinfection solaire de l'eau par la photosensibilisation des extraits de plantes 1240-1245

Teddy Makuba SUNDA and Nicolas Kalulu Muzele TABA

Determinants of willingness to pay for hybrid cocoa seed in Cameroon 1246-1253

Bikele Charles Emmanuel, Nkendah Robert, and Mvodo Stephanie

Conception et étude expérimentale d'un nouveau dispositif électronique de contrôle par ESP32 d'une enceinte anti-moisissure de conservation d'articles en cuir 1254-1263

Agathe Matenou and Jean Mbihi

Comparative evaluation of the loss of mass, under the effect of corrosion, and the corrosion rate that initiates the cracking of asphalt concrete, steel bars for reinforced concrete used in constructions in Senegal 1264-1280

El Hadji Amadou Fall SY, Dame Keinde, Malang Bodian, and Modou Fall

Influence des rejets municipaux sur la qualité physico-chimique et biologique des écosystèmes aquatiques urbains: Cas de la rivière Massili (Burkina Faso, Afrique de l'Ouest) 1281-1291

Kabore Idrissa, Bance Victor, Zangre Tatiana Dora Rebecca, and Oueda Adama

Etiologies et prévalence des bisalbuminémies associées aux néphropathies découvertes sur électrophorèse des protéines sériques sur capillaire au Laboratoire de Biochimie CHU Ibn Rochd de Casablanca Maroc 1292-1298

Essayh Yousra, Lassouli Kawtar, Cheikh Sara, Asmaa Morjan, Mohamed Benghanem Gharbi, and Nabiha Kamal

Evaluation de la qualité des eaux de forages et de puits destinées à la consommation humaine: Approches d'analyses multivariées 1299-1311

Kandana Marthe Yéo, Aya Nelly Berthe Kouadio, and Droh Lanciné GONÉ

Les déterminants de l'utilisation de la comptabilité par les petites et moyennes entreprises dans la sécurité alimentaire du secteur informel : Cas des alimentations, boutiques et magasins au Sud-Kivu 1312-1348

ZAGABE MULUMEODERHWA OLIVIER

Etude de l'élevage et écologie alimentaire de deux espèces des poissons (Tilapia Niloticus et Clarias Gariepinus) dans le bassin du lac Kivu (Cas de Kalengera) 1349-1412

ZAGABE MULUMEODERHWA OLIVIER, Nicole Cubaka, Nzigire Buhendwa Rosine, and Kizungu Mulangane Emmanuel

Identification des mécanismes impliqués dans la résistance observée chez Anopheles gambiae sensu lato dans la zone d'Oyem (Nord du Gabon) 1413-1422

Pyazzi Obame Ondo Kutomy, Roland Christophe Zinga Koumba, Aubin Armel Koumba, Seynabou Diedhiou Mocote, Coumba Diouf, Faye Ousmane, and Jacques François Mavoungou

Caractéristiques structurales des granitoïdes des secteurs d'Ayorou et de Kandadji (Liptako, Ouest Niger) 1423-1436

Gambo Ranaou Noura, Yacouba Ahmed, Mallam Mamane Hallarou, Hassane Ibrahim Maharou, Sofiyane Abdourahamane Attourabi, and Hamidou Garba Saley

Caractéristiques familiales et performances des élèves du premier cycle du secondaire au Togo 1437-1444

BAWA Ibn Habib

Caractéristiques physiques et organoleptiques des œufs et de la chair de la caille japonaise nourrie avec trois (3) régimes alimentaires différents à base de produits locaux en Côte d'Ivoire 1445-1457

N'Gbo Martin Luthère King, Disseka William Kwithony, Tchumou Messou, and Kouamé Lucien Patrice

Détermination de la distance d'un point à une droite par la méthode analytico-graphique 1458-1469

Edouard MUKONKOLE MWANANSENGA

Influence de la date de semis et du régime hydrique sur la croissance et le rendement de deux variétés de niébé (KN1 et KVX 61-1) au Burkina Faso 1470-1478

Adama Pascal Kihindo, Badoua BADIEL, Edmond Dondasse, and Gérard Zombre

Analyse de l'application des informations bioclimatiques dans la conception de bâtiments dans la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire) 1479-1488

Amani Odilon KOUASSI, Conand Honoré KOUAKOU, Koffi Clément KOUADIO, and Edjikémé Emeruwa

Disponibilité, valeurs alimentaires et utilisations des sous-produits agricoles et agro-industriels dans les productions bovines et ovines au Burkina Faso 1489-1500

Dié Xavier Millogo, Timbilfou Kiendrébéogo, Salam Richard Komdombo, Ouedraogo Salifou, Dossa Luc Hippolyte, Mopate Logténé Youssoufou, Aboubacar TOGUYENI, and Chantal Yvette Kabore-Zoungrana

Commercialisation et niveau de consommation des poissons pêchés au lac de Songori (Région du Gontougo, Nord-Est de la Côte d'Ivoire) 1501-1508

Kouamé Marcel N'DRI, Aka Jean-Paul AGNISSAN, Djakaria OUATTARA, and Guéhi Jonas IBO

Individual gears fishing in Aby lagoon (Adiaké, Côte d'Ivoire): Stakeholders, fishing gear, catches and constraints 1509-1514

Kouamé Marcel N'DRI, MOUSTAPHA DIABY, Koudou Lobel Henri Michel ADJI, and Dramane Diomandé

Modélisation à 3D des effets des pertes d'électrons à la jonction d'une cellule PV au silicium polycristallin sur ses performances 1515-1530

Ramatou Saré, Mamoudou Saria, Dioari Ulrich Combari, I. Sourabié, Vinci De Dieu Bokoyo Barandja, Martial Zoungrana, and Issa Zerbo

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1069-1083
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

The effect of operational risk management on the profitability of small and medium size enterprises of the hotel sector in Cameroon

Mayegle François Xavier[1] and Ngoe Frankline Dioni[2]

[1]Faculty of Economic science and Applied Management (FSEGA), University of Douala, Cameroon

[2]ENSET DE DOUALA –LAREGA, University of Douala, Cameroon

Copyright © 2023 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: One of the most common types of risk faced by SMEs of the hotel sector in Cameroon is the operational risk as there exist uncertainty related to personnel, clients, processes and systems that motivated this study. Today, organizations are investing a lot on business activities which requires risk management practices to mitigate the negative outcomes of operational risks. In line with this, the study focuses on the effect of operational risk management on the profitability of Small and Medium Size Enterprises (SMEs) of the hotel sector in Cameroon. The data used was collected through questionnaires and limited to SMEs of the target sector, imputed through SPSS and analyzed by multiple correlations with ANOVA tables. The findings reveals that there exist strong positive relationship between operational risk management and profitability. Hence, By managing enterprise-wide risk, the management will develop a unified picture of risk for decision-making and improve the organization's ability to manage risk effectively which can enhance its profitability. This present research will give new insight to the researchers and will help them to consider the proposed model to implement and generalize in different settings.

KEYWORDS: Operational Risk Management, Profitability, SMEs.

1 INTRODUCTION

Small and medium sized enterprises (SMEs) are the bed rock of a country's economic development because they contribute to economic growth, increased exports, unemployment reduction, and innovation advancement (Nikolić et al., 2019).Ouma Mugabe et al. (2021) stated that most businesses worldwide are SMEs which are significant predictors of job creation and market economic growth. According to World Bank (2020) statistics, SMEs account for approximately 90 percent of all businesses and more than 50 percent of total productive economic activity. As GDP, well planned SMEs can contribute close to 40% of a country's gross domestic product as stated by Nimfa et al., (2021)

SMEs continuously face many operational risks and uncertainties in their daily operations, and these risks threaten to reduce productivity, turnover, affect their profit and increase cost. Businesses are required to compete in a global, volatile and dynamic market. Cheng and Kam (2008), stated that the increase in markets for products have created potentials for increase sales and profits for Businesses. Hence, a better management of operational risk may enhance these potential and improve their flexibility, quality standards and innovativeness. To achieve this, businesses need experienced and trained staff, reliable machines, efficient processes, good relationships with suppliers and customers, a supply of quality materials and services and other value-adding processes throughout the operations system. This is not easy to achieve as most small businesses, especially small and medium-sized enterprises (SMEs), face a number of business risks in their day-to-day operations that threaten to reduce productivity, increase costs and liabilities and reduce profits (as cited by Islam, 2012; Michalski 2009).

The sector of hospitability especially hotel is one of the biggest and diverse sector which offers a wide range of services such as meetings, conferences, incentive as well as events (Wadongo et al, 2010). A study was done to investigate whether hotel-related small and medium-sized enterprises (SMEs) perform better than non-hotel-related SMEs in the four main coastal

Corresponding Author: Ngoe Frankline Dioni

tourist destinations in South Africa and revealed that hotel-related SMEs have higher profit and higher productivity than non-hotel-related SMEs.

Factors such as firm's capital assets, number of workers, sales revenue, level of human capital, and size positively affect SMEs' profit and productivity (ADB Institute, 2020). In particular, the small and medium-sized enterprises (SMEs) were worst-hit by Covid 19 given their size, scarce resources and limited cash flows. Sectors such as hotels and food services, retail, entertainment and manufacturing are characterized by SMEs that are susceptible to such social and economic restrictions (McKinsey and Company, 2020). Compared to other sectors, hospitality sector especially hotels are the most affected since both international and national travel declined due to obligatory lockdowns.

SMEs in general and those of the hotel sector in particular, are the most vulnerable to risk and crisis due to lack of provisions, limited cash and inability to raise sufficient funds strategically as stated by (Lu et al., (2020); Runyan (2006)). They continue to play a critical role in the development of the hotel sector in Cameroon with many entrepreneurs starting small hotels, guest houses and lodges in popular tourist destinations such as Yaounde, Douala, Limbe and Buea. These SMEs often offer more affordable and personalized accommodations than larger hotels, catering to a wide range of customers, including budget travellers, back packers and families as well as specific markets such as eco-tourism or cultural tourism. (Denis and Lenora, 2019; NIS, 2020).

PROBLEM STATEMENT

Banjo and Oloyede (2021) stated that, the management of firms must put in place an effective risk management practice so as to enhance performance by identifying, assessing and controlling risk on time. This will help to minimize its negative consequences. The research problem within the ambit of this study reads as follows: 'No structured approach to risk management exists for Cameroonian SMEs which affects their financial performance; Also, economic and financial crisis caused by Boko Haram insurgency in the northern regions as well as the political unrest in the two English speaking regions of the country, not leaving aside the Covid 19 pandemic which took SMEs by surprise and continues to impact on supply chains, shortage of energy supply and Ukraine invasion which caused price increases, which all strongly affect business continuity and returns. In addition, few studies exist on the effect of risk management in general on the financial performance of SMEs in Cameroon. It was based on the above observations that this study seek to examine the effect of operational risk management on the profitability of Small and Medium Size enterprises of the hotel sector in Cameroon, which leads us to the following questions.

RESEARCH QUESTIONS:

The main question of this study is:

- What is the effect of operational risk management on the profitability of SMEs of the hotel sector in Cameroon?

More specifically, the study seeks to answer the questions of:

- What is the effect of personnel risk on profitability of SMEs of the hotel sector in Cameroon?
- How does system risk affects profitability of SMEs of the hotel sector in Cameroon?
- What is the effect of process risk on profitability of SMEs of the hotel sector in Cameroon?

RESEARCH OBJECTIVES

The aim of this study is to answer the questions that have been asked in general and specific.

The main objective is:

- To know how operational risk management affects the profitability of SMEs of the hotel sector in Cameroon.

More precisely:

- To determine the effect of personnel risk on profitability of SMEs of the hotel sector in Cameroon.
- To assess the influence of system risk on profitability of SMEs of the hotel sector in Cameroon.
- To know the effect of process risk on profitability of SMEs of the hotel sector in Cameroon?

2 LITERATURE REVIEW AND HYPOTHESIS DEVELOPMENT

The study will review the concepts of operational risk management and profitability. It will be based on the background, context and conceptual frame of operational risk management.

Hotels assume a critical part in the most nations by giving offices to the exchange of business, for gatherings and meetings, for amusement and stimulation. At the beginning of inn keeping, explorers frequently needed to convey their own particular nourishment and refreshments to where they remained for the night. A bed for the night was the main item advertised. Be that as it may, soon most foundations stretched out their neighborliness to giving, at any rate, some sustenance, and refreshments. Today numerous flats, inns, and motels give their offices to dozing convenience, and furthermore sustenance and drink, and at times different offices and administrations, and make them accessible to its inhabitants as well as to non - occupant. Operational risk is not real, but simply a tagging of some old risks by regulators to improve the visibility of such risks and drive the culture of self-regulation of operations (as cited by: Hemrit & Arab, 2013; Suvita, M., 2016).

The notion of operational risk became prominent after the collapse of Barings Bank in 1995 and the 1998 Long-Term Capital Management crisis which upon investigation was found that, it was due to failure of operational risk management (as stated by: Peter, Gordon and Yueran 2018; Siminyu, Clive & Musiega, 2017). Prior to this period, less attention was paid to operational risk and was seen as a mere residual risk, that is, part of other risks type that falls outside the purview of market risks and credit risks.

Operational risk can be classified into two types; the risk that emerges from the blunder in the innovation that has been utilized by the organization that likewise incorporates the disappointment all the while and the hazard that emerges because of the office cost (as cited by: Jarrow 2008; Allen 2004). Khali (2017) an investigation on firms in the nourishment industry and used working net revenue proportion an estimation to show the effectiveness of the association's task by separating the working wage with add up to income.

2.1 BACKGROUND

The background of this study will contain the main variables in concept and context.

2.1.1 CONCEPT OF OPERATIONAL RISK

SMEs in the hotel sector in particular and tourism industry in general rely much on the risk management process as the case with other sectors. The process of risk management involves four steps that begin with identifying potential risk areas to implementing the risk management program of the company. As such, risk management is a human activity that involves recognition, assessment, strategizing and minimizing risk based on management resources. This helps in reducing risk exposure of firms and prepare their survival during and after any unexpected event (Kimball, 2000; kiochos, 1997).

Segal (2020), stated that, operational risk is the risk of loss or failure of business due to failure of internal process, errors by personnel, fraudulent or criminal acts as well as external events. This is because every activity of investment involves a certain degree of risk that the firm will not earn its expected return. For example, an error committed by an inexperienced personnel may be very costly to the firm which is contrary to the cost saving objectives. An external factors like Pandemics (e.g Covid 19) and political regulations and decisions imposed by the government which affect sales and customers. Also, if one employee is infected by a disease like Covid19, it may spread to others and lead to the closure of the business which can lead to great losses.

The effective management of operating risk by SMEs of the hotel sector in Cameroon is critical to their long term success and sustainability. SMEs of the hotel sector in Cameroon face several operating risk in their day to day operations such as personnel risk, financial risk and regulatory risk. To manage these risks, authors suggest that, SMEs of this sector must put in place effective risk management strategies. Hence, the effective management of these operation risk is necessary to their long term success and sustainability (Arjun Pandey 2020).

2.1.1.1 COMPONENTS OF OPERATIONAL RISK MANAGEMENT

According to Dufour, (2015), and Djekna, (2018), there exist three components of operating risk which are IT risks, legal risks and psychosocial risks. These operational risks include; overheads, personnel and external risk factors. While some authors like Djekna stated that there exist eight components. This study resumes by presenting five most common components of operating risk.

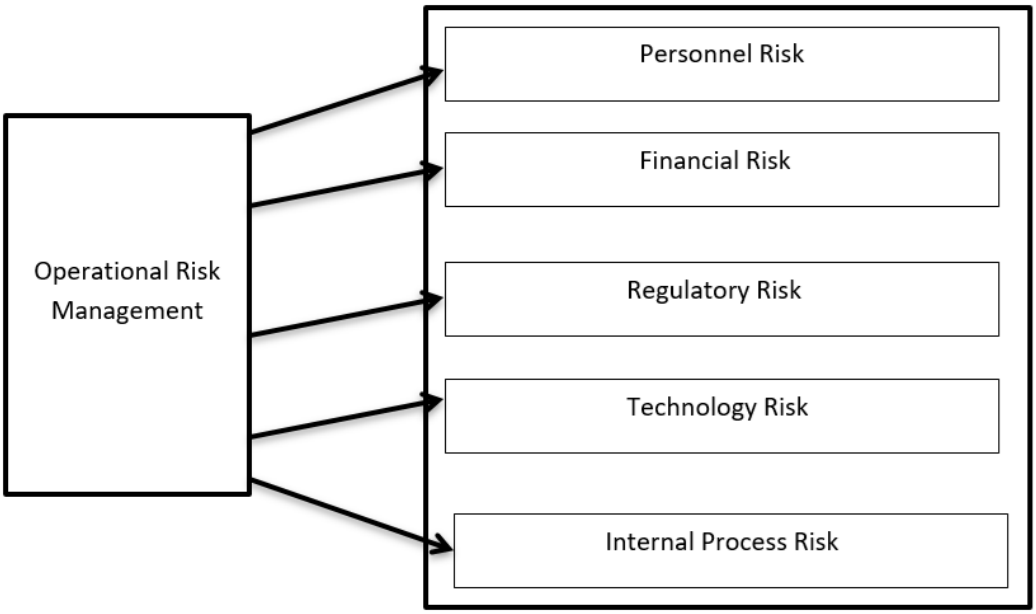


Fig. 1. Components of Operational risk management

Source: author (2022), adapted from (Djekna & Timba, 2018)

2.1.1.2 CAUSES OF OPERATIONAL LOSSES

The causes of operating risk intend to know the reason for the loss. Experts note that operational risk losses must be identified, assess and manage. Such loss is caused by; people, processes or external events (as stated by Ong 2011; Zengin, 2016; Chalupka, 2008).

- **People risk**

It is possible for a firm to make loss through personnel due to errors, criminal acts, inadequate training, poor control, lack of division of task, dishonesty and lack of dignity. All these constitute risk of individuals.

- **System risk**

Software and other IT systems constitute great risk to organizations in the sense that, it affects workflow, processes and policies. However, this risk is connected to other risk such as people, process etc. Some systemic risk activities include; malware, cyber attacks and other system weaknesses. Such risk are generally caused by; poor IT security, operational insufficiency, low quality equipment and insufficiency of data used.

- **Process risk**

Process or risk is the possibility of a loss of processes linked to errors during operations, accounting, recording, pricing, measurements. The risk covers the execution of transactions at all times and certain business administration elements, such as the risk for goods and services, inadequate monitoring mechanisms, and a shortage of protection or a high degree of protection.

- **External risk**

The risk of loss is external to the environment in which the bank operates due to changes in its environment. Changes in the law, politics, economy, and possibility of outside physical intervention are other main external risks.

2.1.2 BACKGROUND CONCEPT OF PROFITABILITY

This part of the study will review the background, context and concept of profitability.In an economy, there is an efficient resources' allocation process when the business environment is supportive and competitive. So, resources are often directed to the most productive investments and they generally lead to higher productivity and profitability. It is possible to measure a business organization performance by using financial and non-financial measures. The financial measures are made of profit before tax and turnover while the non-financial measures refer to issues pertaining to customers' satisfaction and customers' referral rates, delivery time, waiting time and employees' turnover among other things. However, financial measures have the advantage of being objective since they give a broad picture of the overall performance of a business whereas the non-financial measures are mostly subjective.

2.1.2.1 THE CONTEXT OF PROFITABILITY OF SMES IN CAMEROON

Denis and Lenora, (2019), in a review published in 2019 found that Enterprises in Cameroon realized a total turnover of 10225 billion CFA francs. Of this, those in the cities of Douala and Yaounde contributed about 73.8% and 59.7% respectively and provide over 48.7% of permanent.

SMEs on their part, contributed only 15.4% of total turnover and provide over 48.7% of permanent jobs. They realized that, generally, SMEs make up 84.6% of total turnover and constituted 51.3% of labour. Hence, SMEs contribute greatly to the economic growth and development of Cameroon in terms of labour and income (as cited by Nkafu policy, 2019-Denis and Lenora).

Based on an enterprise census carried out by the World Bank in 2016, the profitability of SMEs in Cameroon is less than that in sub Saharan Africa in terms of growth in employment as it was estimated between 6.2% and 7.3% which implies that the private sector of Cameroon is less performant as compared to those of sub-Saharan Africa in terms of job provision though the annual employment growth in low middle-income group is 3.3% (as cited by World Bank group enterprise survey, 2016).

2.1.2.2 DETERMINANTS OF PROFITABILITY OF SMES IN THE HOTEL SECTOR IN CAMEROON

The need to spread risk by companies in general and SMEs in particular has expose firms to several risks, one of which is operational risk which has always existed but little or no concern has been placed to it. Past literature in economics and finance has developed interest in operating risk by characterizing it of disasters and financial crisis. Operational risk is seen as one of the most important factor that weaken SMEs profitability as stated by Giorgio B. and al., (2013).There are often some risk factors that affect the profitability of SMEs of the hotel sector, some of which include;

- **Informality**

Most SMEs in Cameroon that operate in the hotel sector are in the informal sector which deters government policy of taxation and makes it difficult to bring them out of the state so as to enable them benefit from some advantages enjoyed by large firms.Authors have stated that, the situation of informality hinders growth and profitability which prevents their inclusion in decision making. This is supported by the existence of power struggle and bureaucracy in the central government that prevent actions and plans to bring them to see the light of the day (as cited Nichter and Goldmark (2005); Ubels et al. (2010)).

- **Poor Governance**

The need to show proof of competence, accountability, transparency and legitimacy and create public trust and values, the government can take measures to enhance change in both internal and external environment of firms. Some authors believe that, to better serve clients, SMEs must adopt political neutrality. Therefore, e-governance is the only platform to serve cost and time effectively through effective communication. Besides not having a reliable E mail, there must be mutual corporation between client and principal as in the agency theory so as to establish capacity building programs. The ease to information can reduce information asymmetry related risk and open SMEs to investment opportunities and improve transaction cost (as cited by Haque, 2000; OECD, 2003).

- **Corruption**

SMEs corporate with tax officials so as to be exempted from tax audit. Authors have stated that, corruption increase cost of investment which deters home and foreign private investments. Through corruption, many firms or SMEs are created and

engage in informal activities. Hence, the promotion of SMEs is a multi-stakeholder task, in which they could be linked with other agencies whose activities affects their performance (as cited by Pellegrini, 2011).

- **Inadequate Human and Financial resource**

Many personnel lack knowledge and skills which can permit them to gain formal jobs and as such, they either open small business or take up unskilled informal jobs. This skills gap and lack of training requires much work to sustain as developed in business growth models. Based on pass studies on human resource and performance of hotel employees, staff recruitment, training and service quality are the main determinants of the productivity of firms in the hotel sector. This is in line with a study in Taiwan which found that, low quality human resource can lead to poor service quality and low efficiency (as cited by Kilic and Okumus (2005); Chang, Gong and Shum (2011); Wang, Shang and Hung (2006); Nichter and Goldmark (2005))

- **Innovation and Productivity**

It has been found that, innovativeness has a positive relationship with profitability of firms in the hospitality sector. Hence, to better compete in the market, firms must be innovative enough couple with external environmental factors. As such, an increase in technology can lead to growth in productivity. However, labour and capital has little effect on growth in productivity (as cited by Wang and al. (2012); Sandvik, and al. (2014); Chen and Soo (2007)).

- **Managerial Efficiency**

The efficient management of SMEs determines its performance. Hence, the management style, customer relation all act as catalyst to SMEs productivity in the hotel sector. It has been revealed that a focused strategy is more adaptable than diversifying because scale efficiency is more realizable than technical efficiency. As such large firms have higher efficiency that SMEs (as cited by Hwang and Chang, 2003; Neves and Lourenço (2009).

- **Geographic Location**

Another important determinant of the profitability of SMEs of the hotel sector is its geographical location. From the view point of some researchers, firms located in places where labour is occupationally distributed and whose distribution matches with demand for labour, it will achieve higher returns just as the case of SMEs. New entrants enjoy knowledge spillover benefits that old ones. Hence, factors like; agglomeration effects, public service, infrastructure, road and subway accessibility to tourist sites should be considered when siting SMEs of tourism sector so as to enhance their returns (as cited by Brown (2013); Yang, Wong and Wang (2010)).

- **Agglomeration**

Some researchers stated that, hotels prefer locations close to potential markets due to the desire for increase demand from potential guests and enhance their performance. Due to large demand in the center city, as a result of the center and business district, accessibility needs to other facilities of tourists, geographical distance constitute determinant factor in influencing returns (as cited by Barros (2005); Yokeno (1968); (Shoval, 2006); Weaver (1993)).

- **Externalities**

Externalities are factors that can affect the activity of an SME in the hotel sector which emanates from the environment like competitors, geographic location, agglomeration and external demand. Authors believe that, there exist positive relationship between externality and returns of firms (Chung and Kalnins (2001); Barros (2005)).

2.2 HYPOTHESIS DEVELOPMENT

SMEs that handle their operating risk better can have some advantages: It improves its prestige and the potential to draw broader clients; It increases their efficiency and profitability (Songling, Ishtiaq, and Anwar 2018). His study support the theoretical argument brought to light that risk management in an organization influence the organization profitability, through enhanced risk management practices.

Meshack and Mwaura (2016) revealed that some risk management practices do have a significant effect on profitability more than others i.e., the existence of a risk management policy and the integration of risk management in the setting of organizational objectives were considered to be the key risk management practices that had a direct effect on profitability.

The findings revealed by Issn and Fadun (2020) shows that sound operational risk management practices impact positively on the profitability of SMEs.

The study by Isoh and Nchang (2020) reveals that, financial efficiency has improved dramatically with the introduction of internal operative risk management techniques, revealed that internal risk management activities and risk control, as well as training and reporting, have an important positive effect on financial performance.

Also, the study Muriithi and Waweru (2017) found that operational risk management practices have an effect on the profitability of companies, hence affecting their financial performance. This means the SMEs can boost their performance through the implementation of good policy, process and personnel risk management, even if other determinants do not form a part of the analysis and integrating risk management in the process of setting achievable organizational objectives.

The study will make a brief relook of the objectives of this study so as to show how operational risk management and its measures affects profitability of SMEs of the hotel sector based on past research works.

This is in line with Jolly (1997) contribution that preventing losses through precautionary measures is a key element in reducing risks and consequently, a key driver of overall performance. The efficiency of risk management by insurance firms will generally influence their performance. Generally, company operations are prone to risks and if the risks are not managed the firm's performance will be at stake. Firms with efficient risk management structures outperform their peers as they are well prepared for periods after the occurrence of the related risks. Researchers like Jolly (1997) believe that, preventive measures will help to reduce risk and prevent losses which intend will enhance performance. This is because, the operations of companies, especially small firms of the hotel sectors are generally liable to risk, which if not well managed, will hamper the performance of firms. Better risk management plans gives competitive advantage to firms over their rivals since they would always be able to survive during periods after the occurrence of the related risk such as covid 19 and others which are the concern of this study.

According to Isoh and Nchang (2020), there exist some internal activities of risk management like risk control, training and reporting abilities of personnel which have significant positive effect on financial performance in general and profitability in particular.

Segal (2020), stated that, businesses can fail or incur losses due to some risky activities related to employees like fraud, errors or criminal acts. Also, the company can hire personnel that are not experienced and which is an anti-cost saving measure because they will make mistakes ignorantly and this will affects expected returns of the company. More over if an employee gets infected during crisis time, it could lead to the closure of the entire restaurant or hotel which leads to huge loss of money. This component of risk concerns both staff members and managers.

The above situations are evident in the case of hotel SMEs in Cameroon where by most at times, they employ non qualified staff on an employment policy which is sometimes exploitative, corrupt and tribalistic. This in the short run affects the returns of the company.

Failure of internal process can cause the business to fail or loss money. As such, business owners or managers can ask themself about the capabilities as well as lacking that the business have in terms process or procedure so as to match up with their rival as cited by segal (2020).The inability of hotels to adapt their internal processes to changing situations especially during crisis period leads many firms of this sector to loss much money. This was confirmed in a survey carried out in the US on restaurants and other firms of the food service industry where by, it was observed that, this industry lost about 120 billion dollars of sales revenue at the early age of Covid pandemic (McCarthy, 2020).

Past studies have revealed that, if SMEs adhere to organizational and financial procedures and policies, by putting in place an effective internal control and audit through constant review of transactions so as to ensure accuracy, compliance and completeness, it will not only help to curb fraud, but also improve on productivity and profitability. (as cited by Pandey (2010); (Okunbor and Obaretin, 2010); Njuguna et al. (2017)).

System risk, also called technological or IT risk result from high capital intensity and long periods of technological advancement couple with owner-managers that are conservative and less interested in innovative ideas like mergers and acquisitions. System operational risk are threats that arise as a result of inadequate IT assets, theft, improper modification of the system which may lead to the destruction of an organization's image and cause it to loss income.

SMEs need an effective information systems to support and convey information to different users. The systems must have technology that assist decision-making, and ensure proper link between users and computer technology, provides information for managers on the day-to-day operations of the enterprise".The system will serves as an intangible asset or product.

Therefore, the ability of SMEs to make profit, depends on how well the organization understands, evaluates synthesizes, interprets, and acquires information and how its channels of information support organizational processes. (as cited by Raykov and Marcoulides, 2012; Bayaga and Flowerday, 2016) Thus, the operational definition of this study includes the inadequate risk management of people, internal process and system risk.

Based on the above studies, we therefore, hypothesize that operational risk management has positive influence on profitability of SMEs of the Hotel sector in Cameroon. More specifically;

Hypothesis 1: People risk management has a significant positive effect on Profitability.

Hypothesis 2: System risk management has significant positive effect on Profitability.

Hypothesis 3: Process risk management has significant positive effect on Profitability.

3 RESEARCH METHOD OR METHODOLOGY

According to Rajasekar et al. (2013), research technique is an efficient method to take care of an issue. It is an exploration of concentrate how to look into is to be completed. Basically, the techniques by which specialists approach their work of depicting, clarifying and anticipating wonders are called inquire about a system. It is additionally characterized as techniques by which learning is picked up. It's expected to give the work design of research. In this study, operational risk management is measured by the types of operational risk.

3.1 RESEARCH MODEL OR DESIGN

In order to know how operating risk management affects the profitability of SMEs of the hotel sector, the study will use a quantitative research approach through questionnaires and the data will be analyzed by Pearson correlation analysis through ordinary least square technique. The technique that is utilized to gather information is Statistical Package for Social Science (SPSS).

Statistically we note the model: $Z = ß_1Y_1 + ß_2Y_2 + ß_3Y_3 + €$,

Where; ß is the parameter of each variable,

Y is the independent variable (Y_1, Y_2, Y_3), representing the measures of operational management;

Z is the dependent variable representing profitability;

To develop a better understanding of how SMEs of the hotel sector can mitigate the impact of business risks, we develop a model that corresponds to the hypothesis (Figure 2). This model attempts to link the risk drivers of operational risk to SMEs profitability, through the medium of organizational learning and strategic practices. Jarrow (2008) stated that operational risk can be partitioned into two kinds known as the risk emerges from the blunder in the innovation that has been utilized by the organization that likewise incorporates the disappointment all the while and exchange for the second sorts are the hazard emerges because of the office cost. An investigation that has been directed by (Allen, 2004) measures the execution of firms in a nourishment industry market to the progressions of the truck bearer by utilizing the working proportion, partitioning the aggregate working cost with the aggregate incomes. Results demonstrate that in the time of 8 years of study, the cost increment persistently. While in an investigation done by (Khalil, 2017) working net revenue proportion was utilized as an estimation to demonstrate the effectiveness of the association's task by separating the working wage with add up to income.

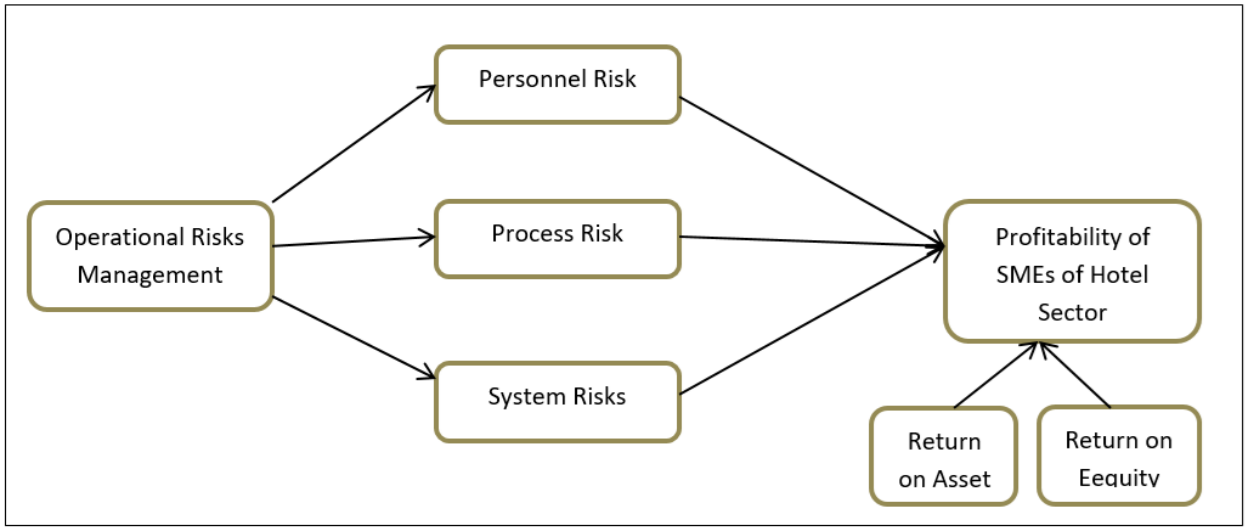


Fig. 2. Research Model

Source: Authors (2023)

The above model is derived from ideas and findings of various authors who believed that SMEs that handle their operating risk better can have some advantages: It improves its prestige and the potential to draw broader clients; It increases their efficiency and profitability (Songling, Ishtiaq, and Anwar 2018). His study support the theoretical argument brought to light that risk management in an organization influence the organization profitability, through enhanced risk management practices.

3.2 SAMPLE SELECTION OR DATA AND DESCRIPTION

The data used in this study was collected through questionnaires and external sources (National Institute of Statistics and Accounting (NIAS), The Ministry of Small and Medium size enterprises (MSMEs)).Saunders et al (2007) stated that, questionnaires are suitable to a situation where most of the questions are consistent and the researcher was confident that all respondents interpreted the questions in the same way. They are also stated that, questionnaires are the greatest tool to be adopted in descriptive studies where a researcher has undertaken some literature review and has understood the subject of research prior to data collection and extending further to draw conclusions from the data collected.

The targeted population of this study is hotels in Cameroon precisely in the main cities (Douala, Yaounde, Buea, Bamenda, Limbe, Bafoussam). Sampling is a process used to select study units from the population (Trochim 2005).According to Mugenda (2003), about 10% - 30% of the target population is enough representative of the sample. In this study, a sample of some 100 hotels were selected using the purposive sampling method.

3.3 DATA ANALYSIS AND INTERPRETATION

Data relating to the prospect and effect of operational risk management on profitability was imputed in the SPSS software and analyzed using the linear regression technique. The analysis will be done by testing the hypothesis set above in ANOVA tables. We set our hypothesis to be predicted answers to the research question. These hypotheses have been stated in two forms: the alternative hypothesis denoted by H_1 which is the hypothesis under verification or testing and the null hypothesis denoted by H_o which after conclusion based on a decision rule, we can either reject it or fail to reject it. These three null and alternative hypotheses were formulated as follows:

HYPOTHESIS 1

H1: Personnel risk has a significant positive effect on Profitability.

H0: Personnel risk has no significant positive effect on Profitability

The results were summarized below.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.975[a]	.950	.949	.15668

a. Predictors: (Constant), effect of personnel risk management on Profitability
Source: Field work 2023

From the model summary table, R is 0.975 which reflects an average positive correlation between personnel risk management and Profitability. The result for R^2 (written R square) is 0.950. This value, which is also known as the coefficient of determination, indicates how much the total variation in Profitability can be explained by the factors of Personnel risk. In this case, 25.2% can be explained as in the ANOVA table below.

ANOVA[a]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	20.056	1	20.056	817.000	.001[b]
	Residual	1.056	43	.025		
	Total	21.111	44			

a. Dependent Variable: Profitability
Source: Field work 2023

The ANOVA table shows that the P-value = 0.01 which is less than the alpha level of 0.05, and indicates that the overall regression model, personnel risk management statistically significantly predicts the outcome variable which is profitability, that is, the model fits the data well.

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.078	.057		18.998	.000
	effect of personnel risk on profitability	.633	.022	.975	28.583	.001

a. Dependent Variable: Profitability
Source: Field work 2023

From the coefficient table, the P-value is equal to 0.01 which is less than the alpha level of 0.05. This implies that we reject the null hypothesis (H_o) and consider only the alternative hypothesis (H_1). The value of Beta is 0.633 and it signifies that a change in Personnel risk by 1 point will lead to a change in Profitability by 0.633 point. From the table, the equation of the regression line is given as $Z = 0.633y + 1.078$. From the equation, the positive sign of the regression coefficient signifies that an increase in the score of personnel risk (y) will lead to an improvement in profitability (Z).

HYPOTHESIS TWO

H1: System risk has significant positive effect on Profitability.

H0: System risk has no significant positive effect on Profitability.

The statistical instrument used here was the linear regression technique and the hypothesis was tested at an alpha level of 5%. Data from the questionnaire was imputed in SPSS and the results were summarized as follows:

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.897[a]	.805	.801	.30935

a. Predictors: (Constant), The role of system risk and measures in improving profitability
Source: Field work 2023

From table, R is 0.897 which signifies a high positive correlation between system risk and the profitability. The result for R square is 0.805. The R square determines how much of the total variation in the Profitability can be explained by the changes in system risk. A value of R square equal to 0.805 is therefore good as 80.5% of the variation in the data is being explained by the regression line, that is, the observed variable.

ANOVA[a]

Model		Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	16.996	1	16.996	177.606	.001[b]
	Residual	4.115	43	.096		
	Total	21.111	44			

a. Dependent Variable: Profitability
Source: Field work 2023

The ANOVA table shows that the P-value = 0.001, which is less than the alpha level of 0.05, indicated that the overall regression model statistically significantly predicts the outcome variable meaning that the model fits the data well.

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1.093	.119		9.176	.000
	The role of system risk on profitability	.645	.048	.897	13.327	.001

a. Dependent Variable: Profitability
Source: Field work 2023

From the coefficient table, the P-value is equal to 0.001 which is less than the alpha level of 0.05. This implies that we reject the null hypothesis (H_o) and consider only the alternative hypothesis. The value of Beta is 0.645 and it signifies that a change in the method of managing system risk by 1 point will lead to a change in profitability by 0.534 point. From the table, the equation of the regression line is given as Z = 0.645y + 1.093.

HYPOTHESIS THREE

H1: Process risk has significant positive effect on Profitability.

H0: Process risk has no significant positive effect on Profitability.

The data used in testing the hypothesis above were responses from the questionnaire concerned with the relationship between process risk and profitability. As the previous hypotheses, this hypothesis was tested at a 5% alpha level using the linear regression technique.

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.255[a]	.065	.043	.67761

a. Predictors: (Constant), To assess the relationship between process risk and profitability.
Source: Field work 2023

From the above model summary table, R is 0.255 which reflects a low positive correlation between process risk and profitability. The result for R square is 0.065. This value indicates how much the total variation in profitability can be explained by the factors involving process risk.

ANOVA[a]

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1.368	1	1.368	2.978	.045[b]
	Residual	19.744	43	.459		
	Total	21.111	44			

a. Dependent Variable: Profitability
Source: Field work 2023

The ANOVA table shows that the P-value = 0.045, which is less than the alpha level of 0.05, indicated that the overall regression model statistically significantly predicts the outcome variable meaning that the model fits the data well.

Coefficients[a]

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	T	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	2.026	.323		6.267	.000
	To assess the relationship between process risk and profitability	.256	.149	.255	1.726	.045

a. Dependent Variable: Profitability
Source: Field work 2023

From the coefficient table, the P-value is equal to 0.045 which is less than the alpha level of 0.05. This implies that we reject the null hypothesis (H_o) and consider only the alternative hypothesis. The value of Beta is 0.256 and it signifies that a change in process risk by 1 point will lead to a change in profitability by 0.534 point. From the table, the equation of the regression line is given as Z = 0.256x + 2.026. From the equation, the positive sign of the regression coefficient signifies that an increase in the score of process risk (y) will lead to an improvement in profitability (Z). From the tables above, the equation of a multiple linear regression can be given as follows:

Z = (0.633 + 0.645 + 0.256) y + 1.078 + 1.093 + 2.026

The values of the slope of the regression equation or regression coefficient are positive for each variable implying that a change in the different independent variables will lead either to an increase in the dependent variable. This explains further the positive correlation that exists between the independent variables and the dependent variable.

4 RESULTS AND DISCUSSIONS

The study will present the results of regression analysis and discuss the findings.

4.1 REGRESSION RESULTS

The above regression analysis was aimed to find out how each type of operational risk management can affect the profitability of SMEs of the hotel sector in Cameroon. The findings reveals that there is a significant positive relationship between operational risk management and profitability, just as in the works of (Singh, N. P., and Hong, P. C, 2020; Suvita M, 2016; Nusaibah, 2017).This is seen in the value of correlation of 0.975 for hypothesis 1 on personnel risk (strong positive correlation), 0.897 for hypothesis 2 on system risk (strong positive correlation) and 0.255 for hypothesis 3 on process risk (weak positive correlation). The findings further enhance our understanding of how operational risk management practices can empower SMEs, especially of the hotel sector and enabling them to better manage events that disrupt their businesses and attain positive financial outcomes.

4.2 DISCUSSION

Based on the findings, there is significant relationship between operational risk and profitability. Firms of the hotel sector need to know how to manage the monthly payment and debt repayment, systems and processes. If the company failed to manage their operational ratio, it will affect the company's productivity and profit. There are several ways to manage the operational risk. For example, view risk as an enterprise-wide challenge. By managing risk enterprise-wide, a company will develop a unified picture for decision-makers and improve the organization's ability to manage risk effectively which can enhance its profitability.

5 SUMMARY, LIMITATION AND CONCLUSION

5.1 SUMMARY

The findings further enhance our understanding of how operational risk management practices can empower SMEs, especially of the hotel sector and enabling them to better manage events that disrupt their businesses and attain positive financial outcomes.

5.2 LIMITATION AND FURTHER STUDIES

This study is limited to only hotel industry in Cameroon, precisely on SMEs of the sector. This study also cover only three years from 2021 until 2023. Thus, only limited amount of information can be collected due to the time constraint. In addition, it concentrates only on operational risk and its measurements whereas there exist other types of risk faced by SMEs of the hotel sector. Hence, further studies could be done on the effect of other types of risk management on financial performance, on growth and development of SMEs in Cameroon.

5.3 CONCLUSION

The objectives of this study were tested using a sample of 100 branch manager-employees of hotels in Cameroon's main cities to predict the effects of operational risk management on profitability. Data was analyzed at the 95% confidence interval using multiple regression model and results revealed that the various types of operational risk management have significant effects on profitability.

DISCLOSURE STATEMENT

The authors are not aware of any funding, that might be perceived as affecting the objectivity of this study

CONFLICTS OF INTEREST

The author (s) reports no conflicts of interest.

REFERENCES

[1] Ade, I., Joseph, M., & Francis, D. (2020), «Enterprise Risk Management Practices and Survival of Small and Medium Scale Enterprises in Nigeria», Studies in Business and Economics, 15 (1), 68–82. https://doi.org/10.2478/sbe-2020-0007.
[2] Allen, A. J., and al., (2004), «An analysis of strategic and performance changes of truck carriers in the agricultural commodity and food markets». Journal of Food Distribution Research, 35 (1), 18-23.
[3] Arjun Pandey (2020), «Risk management in restaurant Business during Covid 19 crisis», Metropolitan University of Applied sciences, page 11-12.
[4] Barros, C.P. (2005), «Measuring efficiency in the hotel sector». Annals of Tourism Research, 32 (2), 456–477. doi: 10.1016/j.annals.2004.07.011.
[5] Bayaga, A., and Flowerday, S. (2016), «Evaluating IT models and performance : Case of SMEs».In Contemporary Management in Theory and Practice (pp. 59–65).
[6] Chalupka, Radovan, and Petr Teplý. (2008), «Operational Risk Management and Implications for Bank's Economic Capital –A Case Study.» Charles University.
[7] Chang, S., Gong, Y. & Shum, C. (2011) «Promoting innovation in hospitality companies».

[8] Chegri s. and el bakkouchi m. (2022), «Impact of operational risk on corporate financial performance»: a literature review», Revue Internationale du Chercheur.
[9] Chung, W. and Kalnins, A. (2001), «Agglomeration effects and performance: a test of the Texas».
[10] Denis and Lenora, (2019), «State of Small Business in Cameroon», small business report June 2019.
[11] Djekna & Timba (2018), « L'influence Du Risque Opérationnel Sur Le Rendement Des Actifs Financiers Des Banques Au Cameroun: Analyse Des Crédits Improductifs Et Frais De Gestion«, 2018, 12.Global Journals.doi: 10.1016/j.ijhm.2011.09.003.
[12] Foss, N., & Stea, D. (2018), «Putting a Realistic Theory of Mind into Agency Theory: Implications for Reward Design and Management in Principal-Agent Relations». European Management Review, 11 (1), 101-116.
[13] Haque, M.S. (2000), «Significance of accountability under the new approach to Public governance», International Review of Administrative Sciences.
[14] Hemrit, W., & Arab, M. B. (2013), «The major sources of operational risk and the potential benefits of its management». Journal of Operational Risk, 7 (4), 71-92.
[15] Hwang, S.N. & Chang, T.Y. (2003), «Using data envelopment analysis to measure hotel improve the performance of hotel companies», International Journal of Contemporary Tourism Management, 28, 1400–1407. doi: 10.1016/j.
[16] Isoh, Alain Vilard Ndi, and Nchise Delphine Nchang. (2020), «Assessing The Impact of Operational Risk Management on Financial Performance of Selected Mainstream Commercial Banks in Cameroon.» International Journal of Research in Commerce and Management Studies2 (02): 1–16.
[17] Issn, V. O. L. N. O., and Olajide Solomon Fadun. (2020), «Impacts of Operational Risk Management on Financial Performance: A Case of Commercial Banks in Nigeria.» International Journal of Finance & Banking Studies 9 (1): 22–35.
[18] Jarrow, R. A. (2008), «Operational risk management», Journal of Banking & Finance, 32 (5), 870-879.
[19] Kaplan R. S. & Norton D. P. (1992), «The balanced scorecard: Measures that drive performance». Harvard Business Review, 70 (1), 71-79.
[20] Khalil, S. (2017), «Firm Risk and Performance: The Role of Corporate Governance in Hwa Tai Sdn Bhd», RePEc Munich Personal Archive, Germany. Retrieved on 27 September 2017, from https://mpra.ub.uni-muenchen.de/information.html.
[21] Kilic, H. & Okumus, F. (2005). «Factors influencing productivity in small island hotels: Location», Sophia Economic Review, 15 (3), 89–94. lodging industry. Strategic Management Journal, 22 (10), 969–988.
[22] Lu, Y., Wu, J., Peng, J., Lu, L., (2020), «The perceived impact of the Covid-19 epidemic: evidence from a sample of 4807 SMEs in Sichuan Province», China. Environ.
[23] McCarthy, K., (2020), «Restaurant, food service industry has lost nearly $120B due to pandemic», online doc.
[24] McKinsey & Company, (2020), «Coronavirus' business impact: Evolving perspective McKinsey» [WWW Document].URL https://www.mckinsey.com/business-functions/risk/our-insights/covid-19-implications-for-business (accessed 6.7.20).
[25] Meshack, Kerongo Maatwa, and Rose Wairimu Mwaura. (2016), «The Effect of Operational Risk Management Practices on The Financial Performance in Commercial Banks in Tanzania.» American Journal of Finance 6 (1): 29–39.
[26] Muriithi, Jane Gathiga, and Kennedy Munyua Waweru. (2017), «Operational Risk, Bank Size and the Financial Performance of Commercial Banks in Kenya.» International Journal of Finance & Banking Studies (2147-4486) 6 (3): 39.
[27] Nichter, S. and Goldmark, L. (2009), «Small Firm Growth in Developing Countries», World Development 37 (9): 1453-1464).
[28] Nikolić, N., and al. (2019), «Investigation of the Factors Influencing SME Failure as a Function of Its Prevention and Fast Recovery after Failure». Entrepreneurship Research Journal, 9 (3), 1–21. https://doi.org/10.1515/erj-2017-0030.
[29] Nimfa, D. T., Ahmad Shaharudin, A. L., & Sazali, A. W. (2021), «Theories Underlying Sustainable Growth of Small and Medium Enterprises». African Journal of Emerging Issues (AJOEI), 1 (3), 43–66.
[30] OECD (2003) «Promoting Entrepreneurship and Innovative SMEs in a Global Economy: Towards a More Responsible and Inclusive Globalization», paper presented at the 2nd OECD Conference of Ministerial Responsibility for SMEs, Istanbul, Turkey (3-5 June).
[31] Ong, Michael K. (2011), «Operational Risk Modelling and Management», First. edited by M. K. O. Stuart. London: Decision Option.
[32] Pellegrini, L. (2011) «Corruption, Development and the Environment», Review, 83, 134–140. doi: 10.2307/215251.
[33] Peter, S., Gordon, L., & Yueran, M. (2018), «Rethinking operational risk capital requirements». Journal of Financial Regulation, 4 (1), 1–34. https://doi.org/10.1093/jfr/fjx009.
[34] Raykov, T., and Marcoulides, G. A. (2012), «An introduction to applied multivariate analysis». Routledge.
[35] Runyan, R.C., (2006), «Small business in the face of crisis: Identifying barriers to recovery from a natural disaster», J. Contingencies Crisis. Management. 14, 12–26.
[36] Sandvik, I.L., Duhan, D.F. and Sandvik, K. (2014), Innovativeness and profitability: An.

[37] Segal, T., (2020), «Operational Risk: ». [Online] Available at: https://www.investopedia.com/terms/o/operational_risk.asp [Accessed: October2020].
[38] Siminyu, M., Clive, M., and Musiega, M. (2017), «Influence of operational risk on financial performance of deposit taking savings and credit co-operatives in Kakamega County». International Journal of Management and Commerce Innovations, 4 (2), 509-518.
[39] Singh, N. P., &Hong, P. C. (2020), «Impact of strategic and operational risk management practices on firm performance: An empirical investigation», European Management Journal, https://doi.org/10.1016/j.emj.2020.03.00.
[40] Songling, Yang, Muhammad Ishtiaq, and Muhammad Anwar. (2018), «Enterprise Risk Management Practices and Firm Performance, the Mediating Role of Competitive Advantage and the Moderating Role of Financial Literacy.» Journal of Risk and Financial Management 11 (3): 35. doi: 10.3390/jrfm11030035.
[41] Statistics, N. I. (2020), « Evaluation des effets socio economiques du Coronavirus (COVID-19) au Cameroun-Phase1.
[42] Suvita M., (2016), «Operational risk and its determinants': a study on Hotel and catering industry», united kingd om.
[43] Urtasun, A. & Gutiérrez, I. (2006). «Hotel location in tourism cities», Madrid 1936–1998. Volume 3: Numéro 2» pp: 777 - 796.
[44] Wadongo B., Odhuno E., Kambona, O. and Othuon L. (2010), Key performance indicators in the Kenyan hospitality industry: A managerial perspective. Benchmarking: An international journal, 17 (6), 858-875.
[45] Wang, C.H., Chen, K.Y. & Chen, S.C. (2012), «Total quality management, market orientation and hotel performance: The moderating effects of external environmental factors». International Journal of Hospitality Management, 31 (1), 119–129. doi: 10.1016/j.ijhm.2011.03.013.
[46] Wang, F.C., Shang, J.K. & Hung, W.T. (2006). «Productivity and service quality changes in international hotels in Taiwan». Annals of Tourism Research, 33 (2), 571–574.
[47] Yang, Y., Wong, K.F. & Wang, T. (2010), «How do hotels choose their location?» Evidence.
[48] Yokeno, N. (1968), «Application of the Thünen-Weber analysis to the tourist industry».
[49] Zengin, Sinemis, and Serhat Yüksel. (2016), «Finance & Banking Studies A Comparison of the Views of Internal Controllers / Auditors and Branch / Call Center Personnel of the Banks for Operational Risk : A Case for Turkish Banking Sector.» Journal of Finance & Banking Studies.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1084-1102
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Evaluation of material flows in the Mé River watershed (Ivory Coast)

Ehouman Serge Koffi[1], Anzoumanan Kamagaté[2], Koffi Jean Thierry Koffi[1], Amidou Dao[1], Dabissi Djibril Noufé[1], Bamory Kamagaté[1], Lanciné Droh Goné[1], Maurice Guilliod[3], Luc Séguis[3], and Jean Louis Perrin[3]

[1]Laboratoire Géosciences et Environnement (LGE), UFR Sciences et Gestion de L'environnement (SGE), Université Nangui Abrogoua (UNA), 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

[2]UFR Sciences de la Mer, Université de San Pedro, San Pedro, BPV 1800 SAN PEDRO, Côte d'Ivoire

[3]HydroSciences Montpellier, IRD-Université de Montpellier, Montpellier, France

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Soil erosion by precipitation, rainfall and runoff is a widespread phenomenon in different countries of the world. It becomes disastrous in particular on the slopes because of the torrentiality of the flow, of the strong vulnerability of the grounds (soft rocks, fragile grounds, steep slopes). The present study has for objective: The analysis of the data of concentrations of sediments in suspension are measured at the station of the rivers highlights relations, linking the concentration (or the solid flow) of the sediments in suspension to the liquid flow and to quantify the seasonal, monthly and interannual and intra annual variation of the surface degradation. Annual tonnage estimates of solids loads to the Mé were derived from the power law for all seasons. From this deduction, the annual quantities of sediment transported by the Mé from 2015/2017 is 7.06.106 t/year, or a specific degradation of 1.79.103 t/km^2/year. On the other hand, in 2017, the value of this solid input is 3.06.106 t/year. However, the annual solid input is estimated at 7063.03.103 t/year with a specific degradation of 1784.47 t/km^2/year at the Mé from 2015 to 2017.

KEYWORDS: Abidjan District, Solid Transport, Solid Flow, Sediments, Suspended Matter.

1 INTRODUCTION

Soil erosion by precipitation, rainfall and runoff is a widespread phenomenon in different countries of the world. It becomes disastrous especially on slopes because of the torrentiality of the flow, the high vulnerability of the land (soft rocks, fragile soils, steep slopes), the strong degradation of the vegetation cover by agricultural activities, the demographic pressure by the continuous growth of land clearing and development of new lands often to the detriment of wooded areas and high water and air temperatures in the hot season that increase the ability of water to destroy soil aggregates ([1]; [2]; [3]; [4]). Furthermore, sediment fluxes in streams are the results of different erosion and particle transport processes in the watershed. Therefore, it is important to understand the dynamics of suspended solids and to establish reliable balances of TSS fluxes transported by streams if we want to determine a good management of the river system and hydraulic structures. It is a natural problem that becomes worrying when the tolerable threshold is exceeded. Some reports estimate that globally, reservoirs intercept up to 25% of the sediment that would otherwise flow to the oceans [5]. Approximately 1% of the world's water storage capacity in reservoirs is lost each year through sediment deposition in reservoirs [6]. Erosion and solid transport are thus serious problems globally, but are of much greater concern in some regions of the world [7]. For many cultivated soils, erosion is related to the superficial structural degradation of soils through the formation of battance crusts that reduce the infiltration capacity of soils and lead to increased runoff. The consequences of this runoff include an increase in the solid load of watercourses, silting and siltation of water reservoirs [8]; [9], modification of the water cycle regulation processes, and an increase in pollutants in receiving environments.

Corresponding Author: Ehouman Serge Koffi

Suspended particles resulting from soil erosion have both a high adsorption capacity and a high cohesive capacity and are particularly involved in the transport of pollutants and the clogging of riverbeds and receiving environments [10]. The problem of the degradation of the vegetation cover, soil erosion and the flow of material derived from this soil degradation is therefore becoming a major concern in Côte d'Ivoire. This degradation seems to have increased over time due to socio-economic transformations, global changes, [11].

The purpose of this study is to:

- Analysis of measured suspended sediment concentration data are measured at stations on the Mé River;
- To highlight relationships, linking the concentration (or solid flow) of suspended sediments to the liquid flow;
- Quantify seasonal, monthly, and inter- and intra-annual variation in surface degradation.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 MATERIAL

2.1.1 GEOGRAPHIC LOCATION

The Mé is a coastal river in the south of Côte d'Ivoire which drains a watershed of 4070 km^2. This river takes its source in the North of Adzopé under the name of "Min" or Mé then flows in the North in the South. The watershed is located between longitudes 380,000 and 450,000 m and latitudes 6,000,000 and 680,000 m (UTM WGS 84 zone 30 North). (Figure 1) Due to its location, the Mé is totally included in the low forest Ivory Coast where rainfall is higher than 1400 mm/year. Its flow in flood period is 200 m^3 /s and 1 to 2 m^3 /s in low water period. The basin is dominated by ferralitic soils.

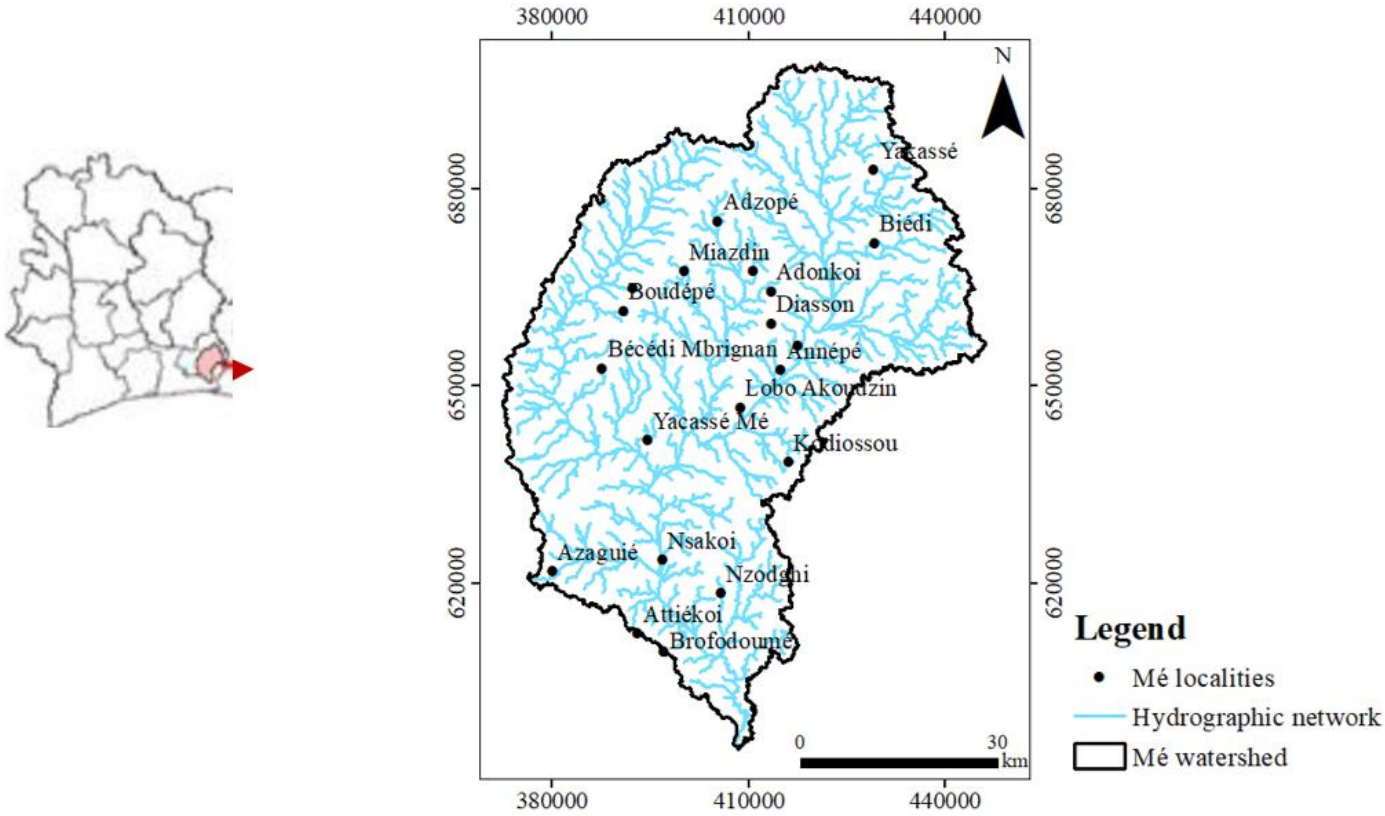


Fig. 1. Location of the study area

2.1.2 CLIMATES

The distribution of the climate is regulated by the seasonal movement of air masses that sweep through the southeast region. The very dry tropical continental air descends from the Sahara in the north south direction (harmattan) while the humid maritime equatorial air, called monsoon, fed by the St. Helena high pressure. The ballet between these two air masses regulates the climate where the study area is located and subdivides it into four major seasons that mark the hydrological cycle.

The annual rainfall recorded in Abidjan district during the period 1950-1997 ranged from 3,128 mm in 1951 to 1,050 mm in 1988 with an average of 2,089 mm. Annual rainfall in the 1950s varied between 2,000 and 3,000 mm. The Abidjan district is subject to a transitional equatorial climate divided into four (4) seasons in the annual cycle (Saley et al., 2009 [12]):

- Great dry season from December to April;
- Great rainy season from May to July;
- Small dry season from July to September;
- Small rainy season from October to November.

The long rainy season is centered on June while the short rainy season is centered on October. The same is true for the long and short dry seasons, centered on January and August, respectively. The unequal distribution of the two rainy seasons is due to the upward and downward movements in the North-South direction of the ITD (Intertropical Front) (Kouamé, 2007 [13]).

2.1.2.1 RAINFALL REGIME

The interannual average rainfall over the period 1949-2016 is 1677.1 mm. The IRHO la Mé station shows an average monthly rainfall between 25.8 mm (January) and 421.3 mm (June, peak of the first rainy season). The peak of the second rainy season (October) has an average monthly accumulation of 170 mm (Figure 2).

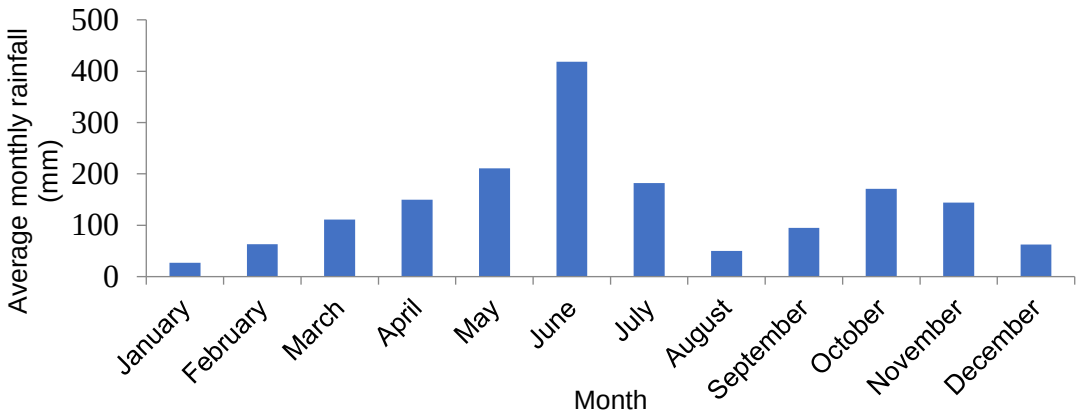


Fig. 2. Average monthly rainfall at the IRHO La Mé station from 1949 to 2016.

2.1.2.2 INSULATION

The average monthly duration of insolation from 1957 to 2012 at the IRHO la Mé station varies from 74.5 h (August) to 191.5 h (April). The highest values are in March (189.6 h) and April (191.5 h) in the long dry season. A strong cloudiness marks the months of June to September. The minimum value of sunshine is located in August (74.5 h) (Figure 3).

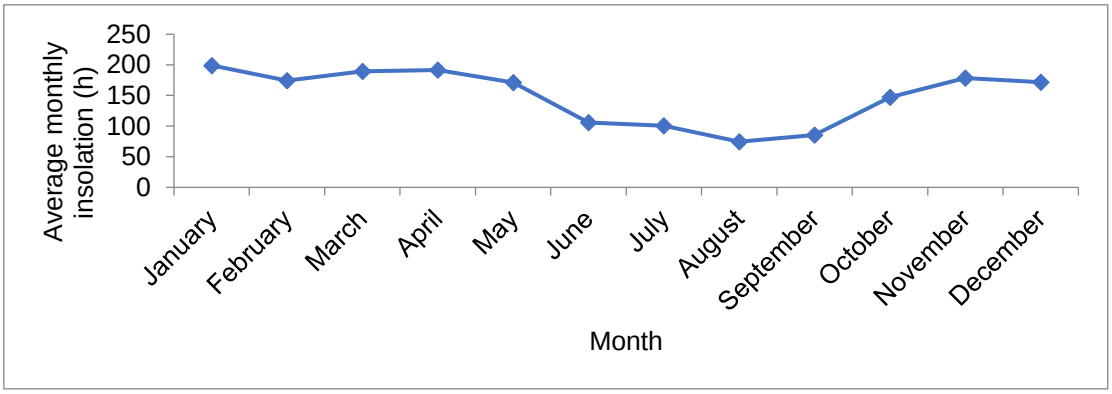


Fig. 3. Insolation at the IRHO La Mé station from 1957 to 2012.

2.1.2.3 RELATIVE HUMIDITY

Figure 4 shows the monthly variation in relative humidity from 1957 to 2012 at the La Mé station. The relative humidity ranges from 78.4% (February) to 87% (June). There is an increase in relative humidity until it peaks in June with a value of 86%. This is followed by a slow decrease until December with a value of 83.9%.

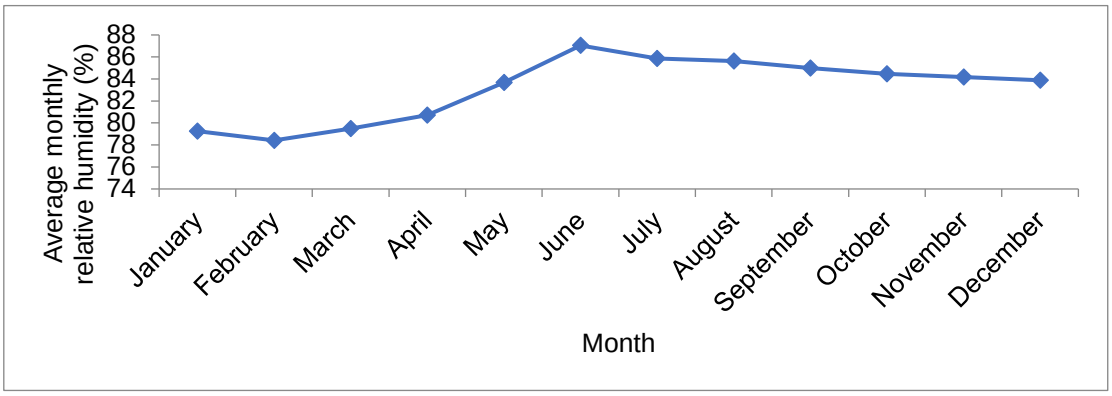


Fig. 4. Average monthly relative humidity at the IRHO La Mé station from 1957 to 2012.

2.1.2.4 AVERAGE TEMPERATURE

The average monthly temperature at the IRHO la Mé station over the period 1957 to 2012 ranges from 24.7°C to 27.8°C. The highest temperatures are observed from February to April during the long dry season. The onset of the main rainy season with the appearance of clouds leads to a drop in temperature with the lowest temperature in August (24.77°C) (Figure 5).

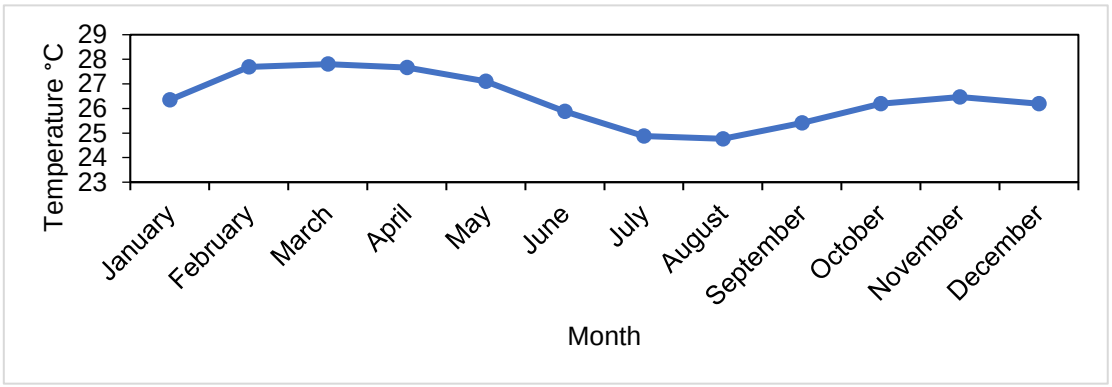


Fig. 5. Average monthly temperature at the IRHO La Mé station from 1957 to 2012.

2.1.2.5 VEGETATION

The vegetation of the Mé is dominated by the tropical rainforest made up of protected forest massifs such as the Besso as well as patches of secondary forest and fallow land which, moreover, have favored the establishment of numerous wood industries. The primary forest is found only in the seven classified forests, namely Massa-Mé, Mabi, Mé-Mafou, Hein, Agbo, N'toh and Besso. The vegetation is overexploited.

2.1.3 HYDROGRAPHIC NETWORK

The hydrographic network of the basin in Figure 6 represents the hydrographic network of the Mé River. The main course of the Mé, about 140 km long, is a real collector that receives water from its main primary tributaries (Mafou, N'Zo) and secondary tributaries, some of which are intermittent. There are many streams due to the abundant rainfall. The hydrographic network is dense, the Besso, the Bamin, the Zo and the anvolo which is a tributary of the Massan on which a dam has been built to supply drinking water to the population of the town of Adzopé.

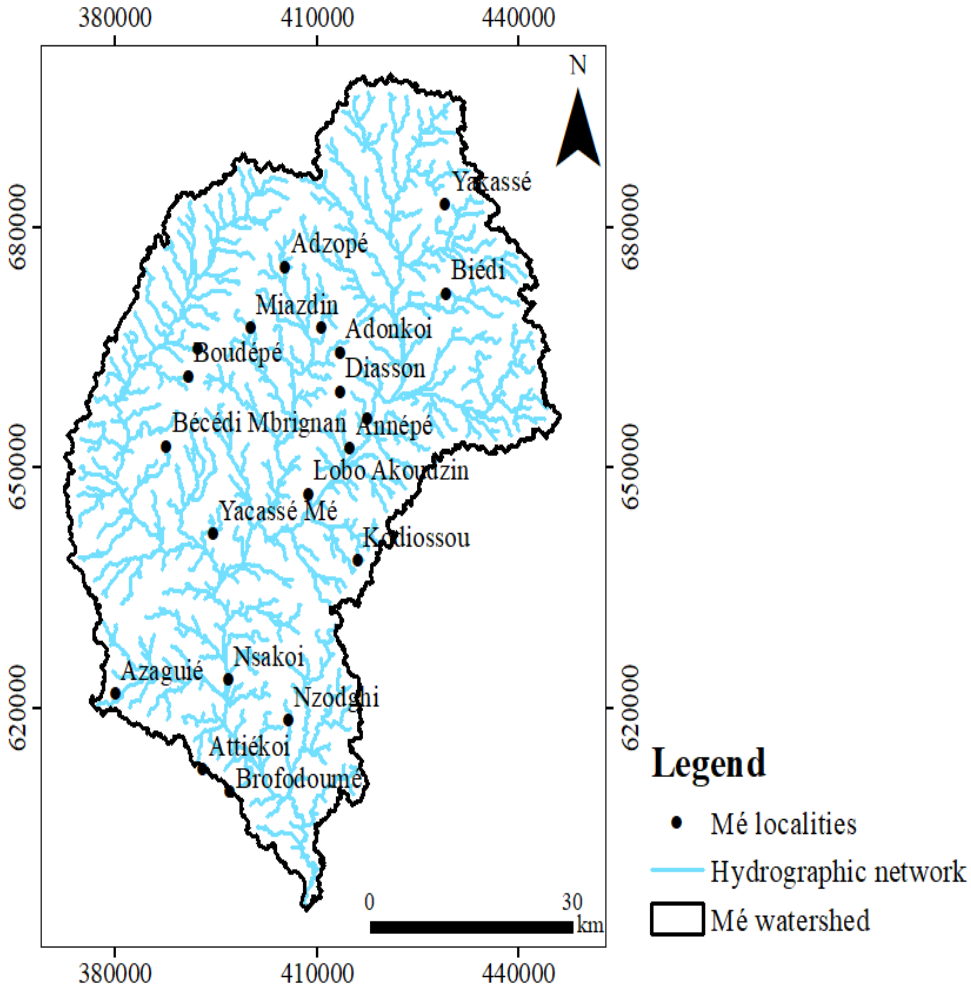


Fig. 6. Hydrographic Network of the Mé Watershed.

2.1.4 GEOLOGICAL OVERVIEW AND HYDROGEOLOGICAL

The sedimentary basin in which the southern part of the Mé watershed is located is a large, flattened crescent, bordering the Atlantic coast from Sassandra to Ghana. It extends over 45 km inland and does not exceed 130 m in altitude with an area of 8,000 km^2. The sedimentary basin is of Cretaceous Quaternary, Meso-Cenozoic and Paleoproterozoic age. It is composed mainly of clayey sands and coastal sands.

The basement is part of the old Precambrian shield of West Africa. It consists of two major lithological units. The architecture of the basement is characterized by two Precambrian domains of unequal extensions: the formations of the crystalline and crystallophyllous basement are constituted of fine gneisses with biotite and amphibole. The basement consists of birimian formations which are schists, metaarenites and metasiltones. In these formations, intrusions of Eburnian granitoids composed of gneiss, granites, granito-gneiss, with which are associated aureoles of metamorphism.

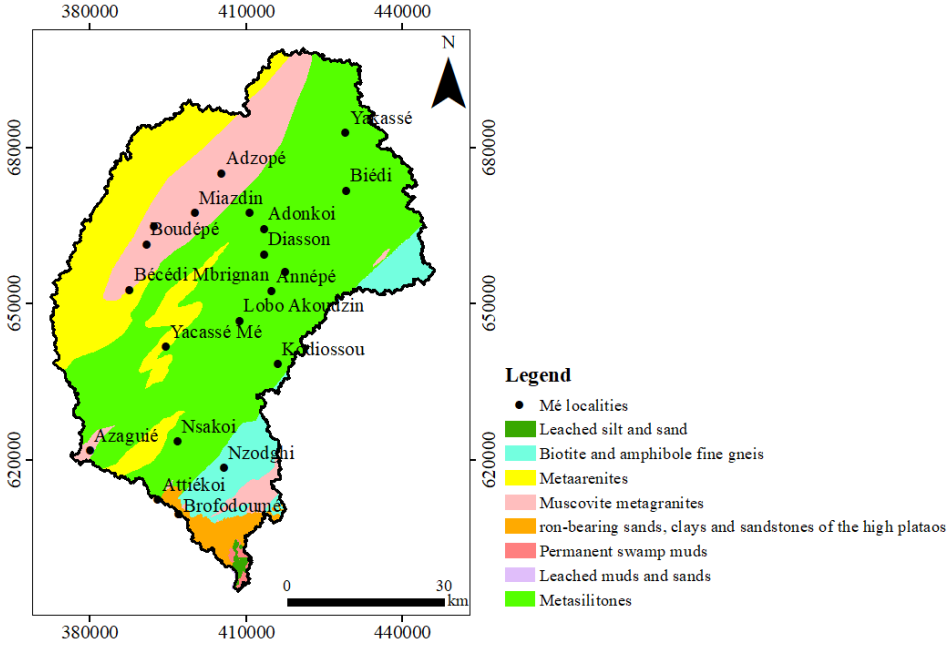


Fig. 7. Geological map of the Aghien watershed [14] modified.

2.1.5 TOPOGRAPHY OF THE WATERSHED

2.1.5.1 ALTITUDE

Figure 8 shows that the altitude map varies between 0 and 207 m. The altitudes decrease from north to south. The highest altitudes are found in the north of the watershed in the regions of Yakassé, Biédé, Adzopé, etc. They range from 136 m to 207 m. They range from 136 m to 207 m. In the south of the watershed are located the low altitudes from 0 to 73 m. They cross the following localities: Azaguié, Brofodoumé, Attiékoi etc. These altitudes more or less form the water divide. These low areas are more or less homogeneous and appear to be plains. The middle elevations cover the center of the basin.

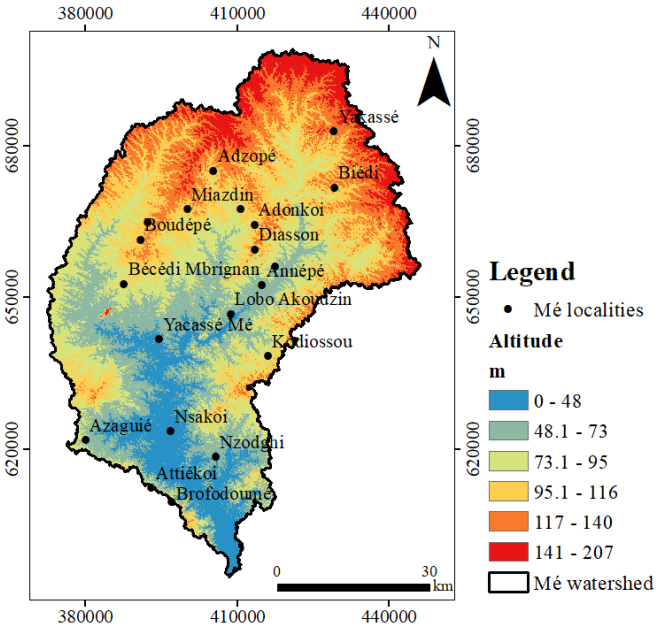


Fig. 8. Elevation Map of Mé Watersheds.

2.1.5.2 SLOPE

The slopes of the Mé watershed range from 0 to 35.13° with an average of 4.31° and a standard deviation of 3.43°. They are generally low as indicated by the average. The weak slopes are located in the plains. The steep slopes are located in the central east and south of the watershed and at the edges of the plateau incisions. The western half has low slopes that are monotonous and less rugged in contrast (Figure 9).

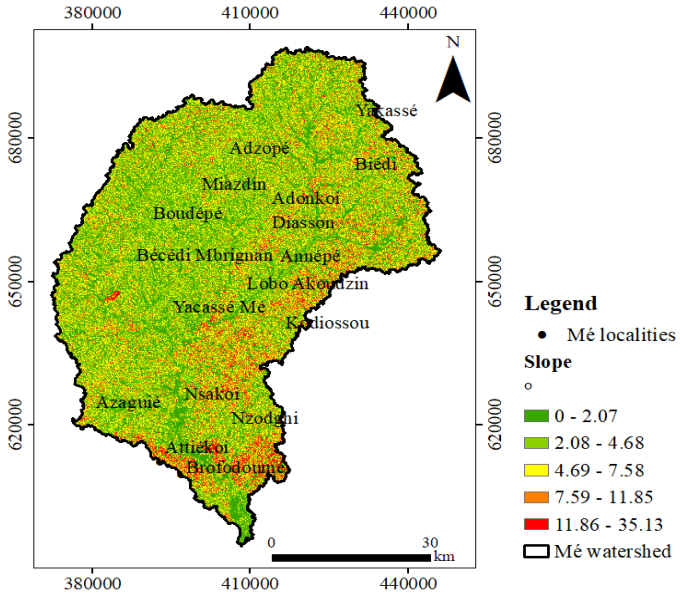


Fig. 9. Map of the slopes of the Aghien and Mé watersheds.

2.2 METHODS

2.2.1 SAMPLING OF SUSPENDED SOLIDS (SS)

Several campaigns were conducted on the Mé River from April 2015 to June 2017 (Figure 10). During the campaigns, water samples were collected and kept cool in a cooler and subsequently analyzed in the laboratory. A total of 32 samples at the Mé (Figure 10).

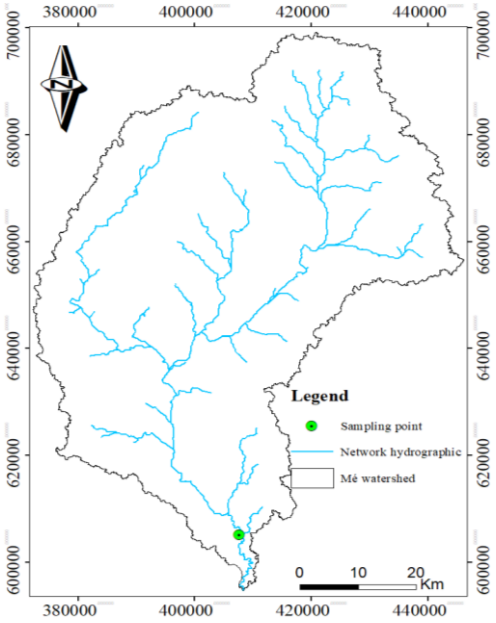


Fig. 10. Suspended solids (SS) sampling station.

The samples taken from the Mé River during the study period were collected at low, medium and high water. These samples are representative of the Mé River as they were taken at different seasons of the year.

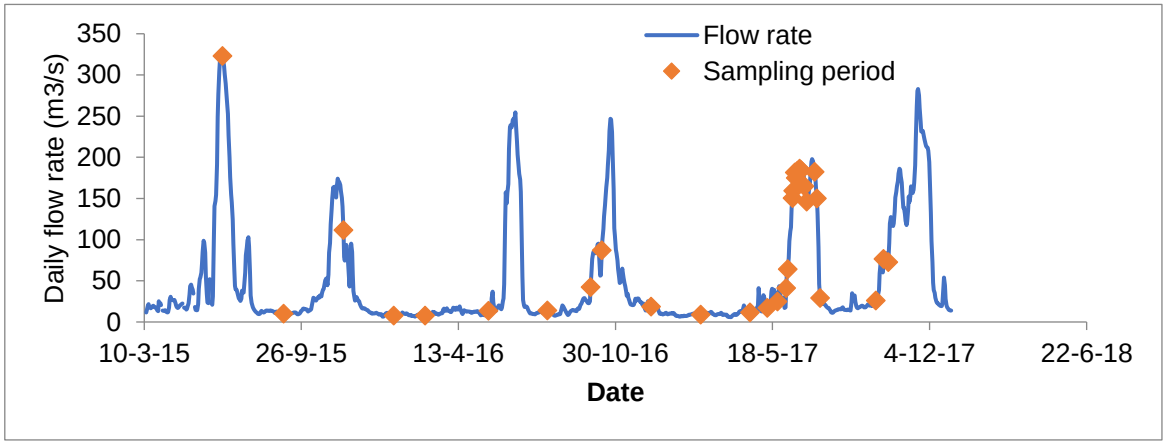


Fig. 11. Suspended solids sampling points at the Mé river.

2.2.2 DESCRIPTION OF THE METHOD

In the laboratory, the filter (0.45µm) is dried beforehand for 2 hours at 105°C in the oven, after drying the filter is weighed. The empty mass is noted M_1. A volume V of 100 to250 ml of water was taken from the sample. This volume was filtered on the previously dried filter (dry weight M1 in mg). The filter containing the filtrate was then dried for 2 hours at 105°C in the oven.

After drying, the filter is weighed again (weight M_2 in mg). The concentration C is then expressed in g /l according to the equation: 1

$$C_s = \frac{M_2 - M_1}{V} \quad \text{(Eq 1)}$$

M_1= initial mass of the filter in (mg)
M_2= mass of the filter after filtration in mg
V= volume filtered (L)
Cs = material concentration (mg/L)

2.2.2.1 DETERMINATION OF THE SOLID FLOW

The removal of solids from the slopes and the bed and banks of the Mé River, and their eventual transport by streams, are two distinct but related phenomena. Sediment sampling in the Mé River allowed the calculation of the load from the average concentration (C in g/L) of the samples. Solid flow (Qs in kg/s) is calculated with average TSS concentrations multiplied by liquid flows (Ql in m3 /s) as shown in Equation 2 [15]; [16]; [17]; [18].

$$Qs = Cs * Ql \quad \text{(Eq 2)}$$

2.2.2.2 QUANTIFICATION OF SUSPENDED SEDIMENT INPUTS

2.2.2.2.1 SOLID TRANSPORT CURVE

The statistical treatment of liquid flow and TSS concentration is to find a regressive model (Qs= f (Ql)). The regressive statistical methods were used to reconstruct the TSS concentration data. Suspended sediment concentration (C) and liquid flow (Q) evolve according to a power model proposed by Kennedy (1895) [20] and commonly known as the solid transport curve [21]; [22]; [23]. The parameter (a) reflects the sensitivity to erosion of the watershed and (b) (equation 3) is related to the erosive capacity of the river as well as the increase in sediment availability with flow [24]; [25]; [26]; [27]; [28].

$$Q_s = aQ_l^b \quad \text{(Eq 3)}$$

Qs: solid flow (m^3 /s), Ql: liquid flow (m^3 /s), a and b: parameter.

Equation 3 can be used as a basis for filling observed gaps and allow the evaluation of solid inputs at different time steps.

2.2.2.2.2 SEDIMENTARY FLOWS

To quantify the solid fluxes (Fs), we proceed as if the concentration and the flow did not undergo any variation over a duration equal to the adopted time interval, or more precisely to the sum of the two half-intervals preceding and following the considered sampling. The sediment fluxes will be expressed in t/day, the concentrations in kg/m3, and the daily flow in (m3 /day). The formula for sediment flux is as follows [29]; [30]; [25]; [26], equation: 4.

$$F_S(tonnes/jour) = C_S * Q_l * 86,4 \quad \text{(Eq 4)}$$

2.2.2.2.3 SPECIFIC SEDIMENT FLOWS OR SPECIFIC DEGRADATION

Specific degradation is the ratio of solid flow by watershed area according to equation: 5 [25]; [26]; [29]; [4]; [31].

$$Q_{ss} = \frac{Q_s}{A} \quad \text{(Eq 5)}$$

Qss: specific solid flow t/km^2/year; A: surface area of the catchment area km^2.

3 RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1 RESULTS

3.1.1 DYNAMICS OF SEDIMENT FLOWS IN THE WATERSHED

The results obtained show (Figure 12) that the solid flow (Qs) is positively correlated with the liquid flow (Ql). This model provided better results in terms of regression. The correlations obtained are all significant and above 80%.

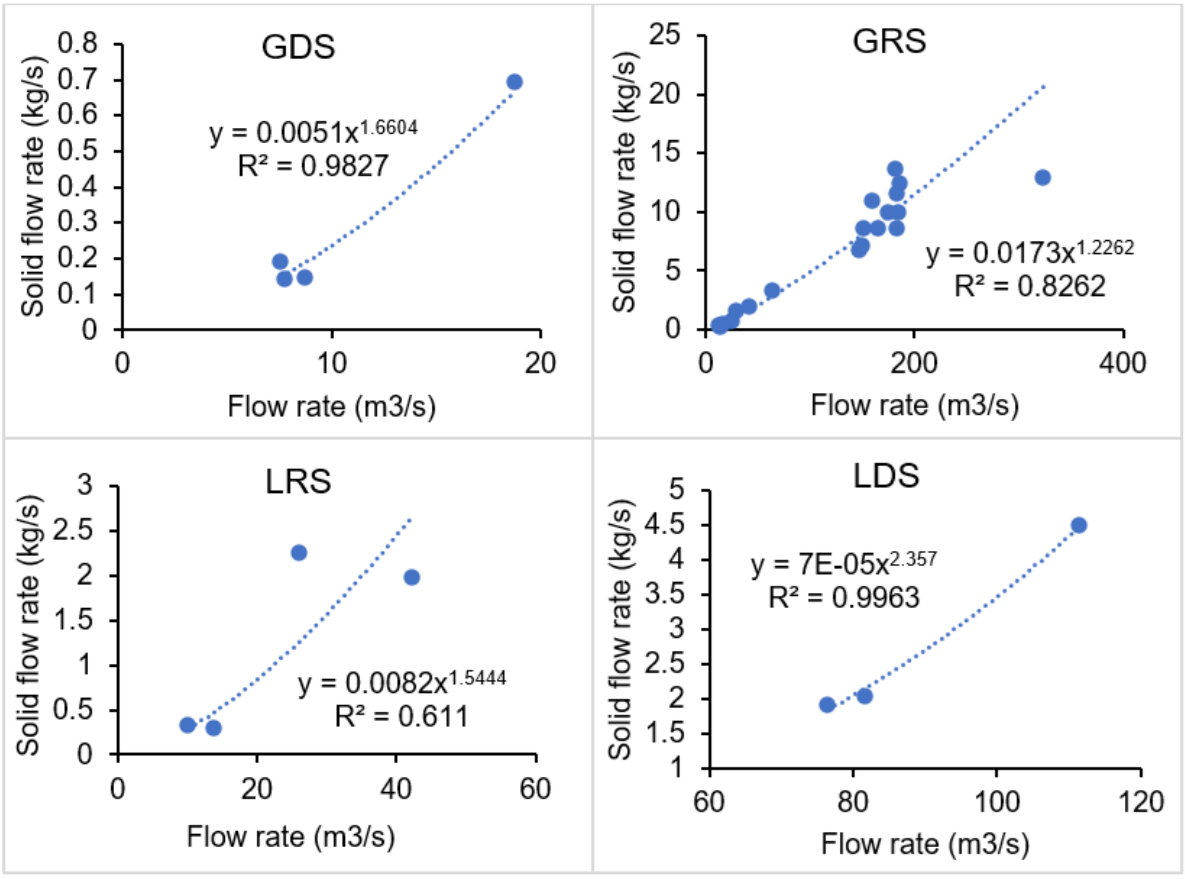


Fig. 12. Modeling of solid and liquid flow with the trend curve for different seasons. GDS: Great Dry Season, GRS: Great Rainy Season, LRS: Little Rainy Season, LDS: Great Dry Season, Qs: solid flow, Ql: liquid flow.

3.1.2 SEASONAL AND MONTHLY VARIATION OF LIQUID AND SOLID INPUTS

3.1.2.1 SEASONAL VARIATION OF LIQUID AND SOLID INPUTS

To understand the phenomenon of erosion and solid transport, it would be wise to analyze the seasonal variation of flows and suspended solid inputs in the basins.

The variation in solid and liquid inputs follows the seasonal trend in general. The observation is that the solid inputs are below the liquid inputs. For large volumes of water observed at the drain the quantities of suspended solids less important. The proof in 2015 for a volume 789.8 Hm3 corresponds to 42.26 10^3 t, in 2016 we have a drop in volume 789.8 Hm^3 to 92.04 Hm^3 or a decrease of 88.35% resulting in a solid flow of 25.91 10^3 t. During the year 2017 an increase 86.89% is observable, this increase in liquid flows drained a volume of 702.4 Hm^3 for a quantity of 35.58 Mt of particulate suspended solids, This during the great rainy season. On the other hand, solid inputs in 2017 are high and follow the curve of liquid flows that in the short rainy season with values of 819.07 Hm^3 and 67.28 10^3 t. The quantities of balance flows conveyed in 2015 and 2016 are low 15.47 Hm^3 and 21.57Hm^3 (Figure 16). Table 1 is a record of the results observed on the Mé.

Table 1. Seasonal liquid and solid inputs to the Mé station.

Station	Year	Inputs balance	GDS	GRS	LDS	LRS	Total
Mé	2015	Apports liquids (Hm^3)	78.84	789.82	61.34	397.12	1327.12
		Apports solids (10^3t)	2.87	42.26	1.94	15.47	62.54
	2016	Apports liquids (Hm^3)	120.87	504.73	92.04	447.28	1164.93
		Apports solids (10^3t)	3.33	25.91	4.16	21.57	54.96
	2017	Apports liquids (Hm^3)	189.60	702.41	101.06	819.07	1812.14
		Apports solids (10^3t)	17.02	35.58	4.29	67.28	124.16

At the Mé, we observe a notable amount of water dominated by the major rainy season in 2015 and 2016 for respective rates of 59% and 43%, followed by the minor rainy season in the same succession of 30% and 39%. The large and small dry seasons are distinguished by low erosive intensity due to almost no rainfall activity. The same trend is found in the solid inputs between 2015 and 2016. Suspended matter is 67% of the annual total in 2015 and 47% in 2016, all of this flow transited during the big rainy season. The minimum values in the 2 years of observation are attributed to the dry period (Figure 13). In 2017 the contribution in liquid flow of the short rainy season is higher than that of the long rainy season, 45% for the short and 39% for the long. The large and small dry seasons only contribute small values because the small and large dry seasons are governed by water coming from underground and often enameled with sporadic floods. In the same year, the solid inputs provided by the short rainy season are far greater than all the inputs of the other seasons combined (54%). The large and small dry seasons are seasons with insignificant erosion, probably resulting from the rainfall.

Another piece of information we can draw from Figure 16 is that liquid inputs change inversely during the large and small rainy seasons. While liquid inputs decrease in the long rainy season, they increase in the short rainy season. The increase or decrease in the volume of water flowed is reflected in terms of quantities on the flows conveyed per year and per season.

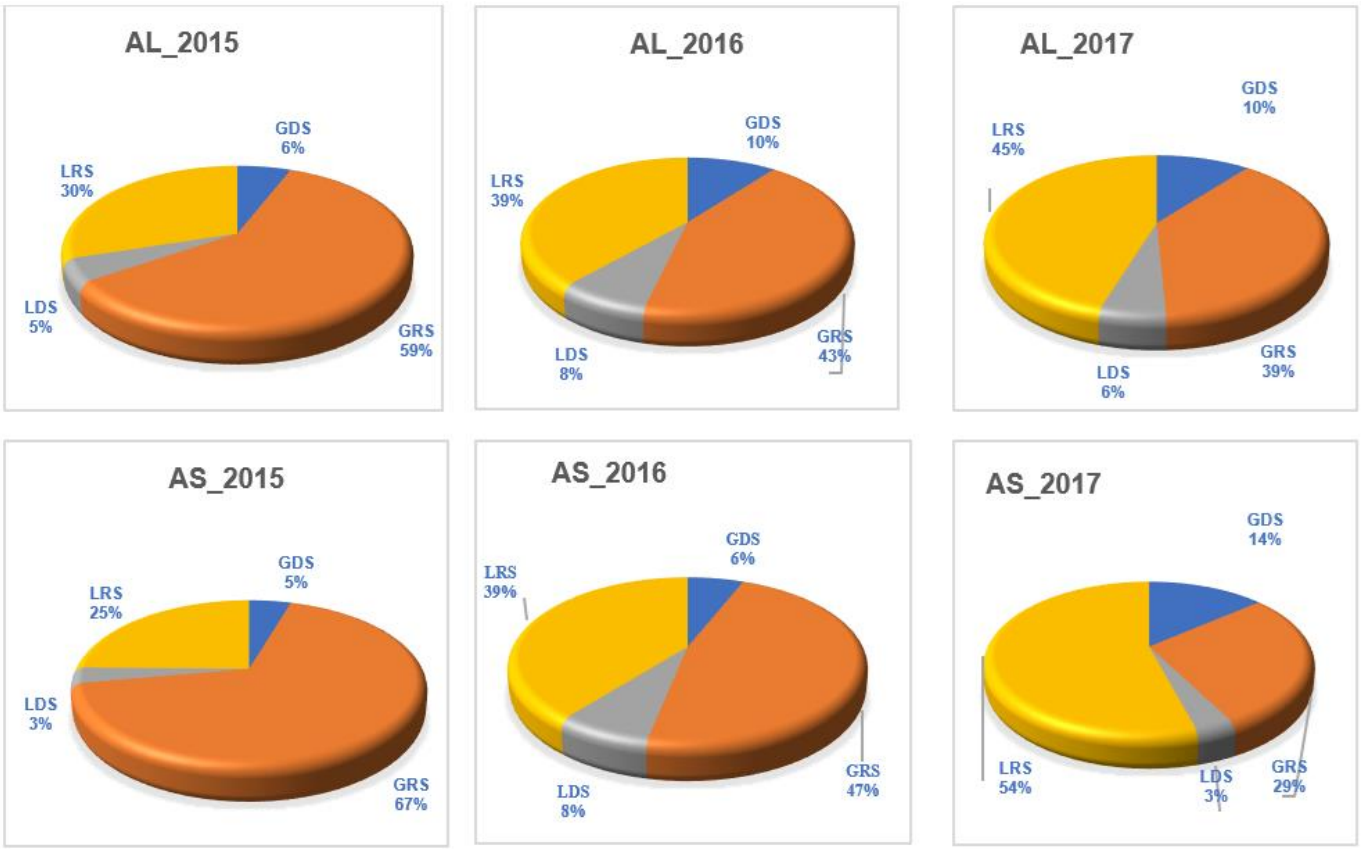


Fig. 13. Seasonal percentage contribution of liquid and solid inputs to the Mé sub-watershed (GRS: Great Rain Season; LRS: Little Rain Season; GDS: Great Dry Season; LDR: Little Dry season).

3.1.2.2 MONTHLY DISTRIBUTION OF LIQUID AND SOLID INPUTS OF THE SEASONS

Variations in monthly liquid inputs and suspended solids loads provide insight into the overall tendency of the watershed to transport suspended solids. The inputs follow a bimodal regime, resulting in two maxima, one in the main rainy season and the other in the short rainy season.

The solid input to the Mé River basin is correlated with the flow, and in addition to this correlation, the two flows are linked. Low water and high water respect the bimodality of the flows.

The year 2015 in the Mé was marked by an exceptional flood in June of 600 cm, this flood led to a volume of 521 Hm^3 generating in its surge a very important solid contribution of 31.23 10^3 t, for a rate of 49.94% of total transport. The second high water occurred in the month of November, has contributed to him, up to 312.27 Hm^3 for a load carried by 14.69 10^3 t corresponding to 23.49%. The load of the two high waters accumulates more than 46.02 10^3 t of the annual contribution (62.54 10^3 t), that is to say a portion of 73.43 %. To the low waters are associated the minimum values that oscillate between 0.7 and 5 10^3 t.

2016 was a less rainy year, which had an impact on the flow, and since solid flows are strongly correlated to liquid flows, the decrease in flow leads to a drop in solid flows. The liquid flows recorded during high water reached their maximum in June with a value of 372.83 Hm^3 and 350.82 Hm^3 October. The solid load resulting from these liquid flows is 21.19 10^3 t and 20.56 10^3 t in June and October respectively. The two months carried a load 41.75 10^3 t or 3/4 of the annual transport (54.96 10^3 t). In addition, the lowest loads of suspended solids are associated with low water and the minimum is 0.48 10^3 t in February.

The 2017 runoff experienced a resurgence due to the resumption of precipitation, thus high water alone (June and July; October and November) contributed the bulk of the solids loads during 2017. The months of June and July total a transfer of liquid flow of 594.54 Hm^3; while those of October and November carried a liquid flow of 819.07 Hm^3, the cumulative of these four months is 1413.61 Hm^3 out of 1812.14 Hm^3 or a rate of 78%. These flows have evacuated significant masses of material flows 99.06 10^3 t out of an annual total of 125.5 10^3 t equivalent to a proportion of 78%. However, the minimum solid flow was observed in January with a value of 0.49 10^3 t (Figure 14).

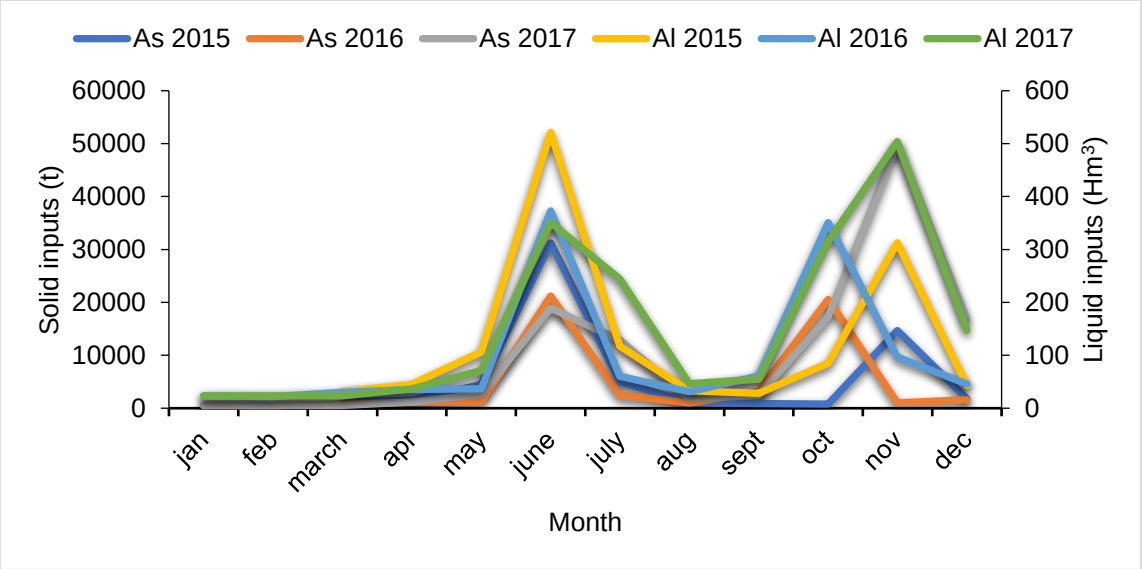


Fig. 14. Monthly Variation of Liquid and Solid Inputs to the Mé River.

3.1.2.3 MONTHLY VARIATION OF SOLID INPUTS

Figure 15 highlights the variation in the months of the season's solid contributions to the during the study period in percentage. The average monthly contribution reaches its maximum in June on all the stations and also on the period of study mirror, of a bimodal regime. From the Mé the trend increases from year to year. The observed maxima of 2015, 2016 and 2017 are 41%, 47% and 46% at the Mé.

The study period contribution of some months in solids input does not exceed 2% of the annual total on the Mé. While only August can contribute 8-10% of the annual total in solids.

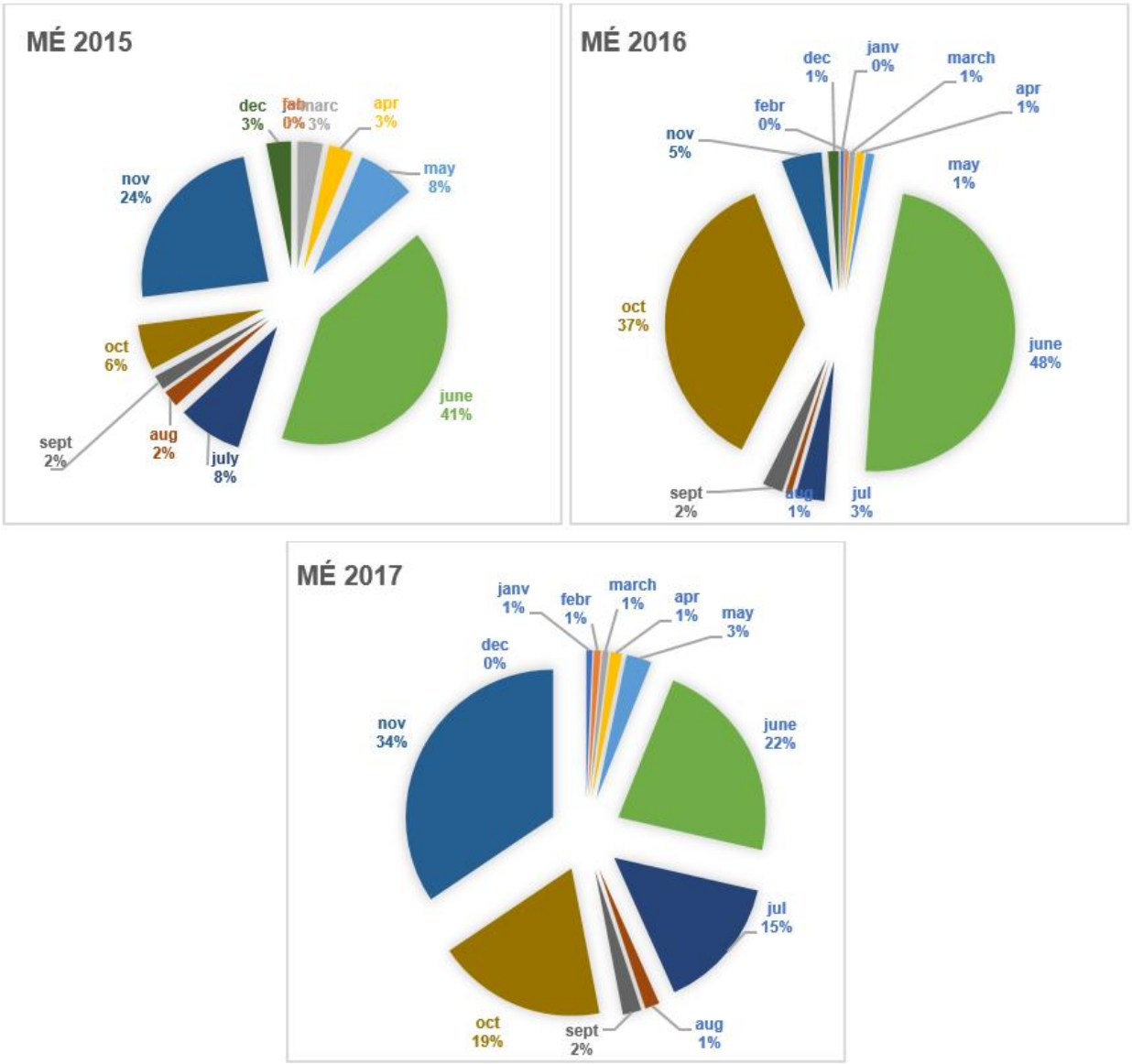


Fig. 15. Distribution of monthly solid inputs in percent.

3.1.2.4 MONTHLY VARIATION IN SOLID INTAKE PER PORTION

Variations in liquid inputs and suspended solids loads provide insight into the sediment produced by the Mé. Inputs follow a bimodal regime, one in the main rainy season and the other in the short rainy season. In general, monthly variations in sediment transport closely follow those in runoff. The complete series were used to calculate the monthly variation of suspended solids inputs in each of the watersheds.

The 2015 year at Me was marked by an exceptional 6 m high flood on June 16, 2015. The average flow recorded in June was 202.2 m^3 /s. The volume of water is estimated at 521.1.10^6 m^3 generating in its surge a very important solid load of 1.09.10^6 t, for a rate of 49.60% of total transport. The second high water occurred in November, has contributed to the height of 312.27.10^6 m^3 for a load of 539.38.10^3 t corresponding to 24.55%. The cumulative load by the two high waters is 1,63.10^3 t of the annual contribution (2,20.10^3 t) that is to say of 14,15 % of this contribution. The minimum values which oscillate between 6,67 and 13,7.10^3 t are met most in low water.

2016 was a less rainy year, which had an impact on the flow, and since solid flows are strongly correlated to liquid flows, the decrease in flow seems to induce a drop in solid flows. The liquid flows recorded during high water reached their maximum in June with a value of 373.89.10 m6 3 and 350.82.10^6 m^3 October. The solid load resulting from these liquid flows is 712.65.10^3 t and 604.57.103 t in June and October respectively. The two months carried a load 1.32.10^3 t or 72.9% of the annual transport (1.81.10^6 t). In addition, the lowest suspended solids load appears to be associated with low water and the minimum is 19.86.103 t in February.

The 2017 runoff experienced an increase over the 2016 runoff due to the recovery of precipitation. Thus, the two high waters alone (June and July; October and November) carried the bulk of the solids loads during 2017. The first high water (June and July) carried a liquid flow contribution of 594.54.10^6 m^3 (32.73%); while, the second high water (October and November) carried a water volume of 819.07.10^6 m^3 (45.09%). The cumulative total for these four months is 1.41.10^9 m^3 out of 1.81.10^9 m^3 or a rate of 77.81%. These flows carried a significant load of material flow 2.54.10^6 t, a rate of 83.11% on an annual total of 3.06.10^6 t (Table 2).

Table 2. Monthly and annual loads of solids inputs to the Mé (S = 395805.9 ha).

		Jan.	Feb.	march	apr.	may	June	july	Aug.	sept	oct.	nov.	dec.	total
2015	P (mm)		90,7				453	62,5	41	8,4		235	18,6	909,2
	Al (10^9 m^3)			31,45	45,03	106,37	521,1	117,32	33,11	28,23	84,85	312,27	47,385	1,28
	C (mg/L)			31,56	31,88	37,54	56,3	37,99	28,7	27,7	35,59	50,19	30,96	36,841
	As (kg/s)			0,58	0,63	1,68	12,61	1,83	0,36	0,31	1,19	6,24	0,57	25,42
	Flux (10^6 t)			50,03	54,24	145,01	1089,5	158,21	30,74	26,4	103,18	539,38	49,3	2,20
	Ass (t/ha)			0,13	0,14	0,37	2,75	0,40	0,08	0,07	0,26	1,36	0,12	5,55
2016	P (mm)	19		141,5	86,5	192	396	32	102	124,9	171,6	130	85	1480,5
	Al (10^9 m^3)	23,31	21,98	30,2	35,99	37,21	373,89	60,58	31,47	61,01	350,82	96,47	45,68	1,15
	C (mg/L)	26,26	26,32	27,97	29,51	29,21	49,58	30,92	28,17	32,98	51,02	37,28	30,88	33,34
	As (kg/s)	0,23	0,23	0,32	0,41	0,42	8,25	0,9	0,34	0,83	7	1,45	0,54	20,91
	Flux (10^6 t)	19,86	20,04	27,53	35,62	36,4	712,65	77,6	29,15	71,83	604,57	125,02	46,52	1,81
	Ass (t/ha)	0,05	0,05	0,07	0,09	0,09	1,80	0,20	0,07	0,18	1,53	0,32	0,12	4,56
2017	P (mm)	10,5	87	31,5	181,5	255	367	86	68,50	213,50	338,5	178	91,5	1908,5
	Al (10^9 m^3)	23,01	23,23	23,24	36,67	71,2	350,59	243,95	46,23	54,83	315,22	503,85	147,69	1,82
	C (mg/L)	26,15	26,89	26,22	29,42	34,49	50,86	43,48	30,94	32,75	49,87	56,92	38,44	37,2
	As (kg/s)	0,23	0,26	0,23	0,43	0,94	7,31	4,79	0,55	0,7	6,07	11,26	2,65	35,41
	Flux (10^6 t)	19,6	22,5	19,8	37,1	81,12	631,37	413,8	47,4	60,5	524,6	973,08	228,8	3,06
	Ass (t/ha)	0,05	0,06	0,05	0,09	0,21	1,60	1,05	0,12	0,15	1,33	2,46	0,58	7,73

Al: Liquid input; As: Solid input; C: Concentration of suspended matter; Ass: Specific solid input.

3.1.2.5 ANNUAL VARIATION OF THE SOLID CONTRIBUTION

The annual variation of the solid contributions shows a great irregularity during the year. This variation is linked to the precipitation, to the morpho-geological nature, to the presence of the vegetation cover, to the cultivation activities and especially to the nature of the slopes which are vectors of the speed of the runoff.

The contribution of solid flows is important and this is due to the aggressiveness of precipitation on soils without vegetation cover and easily disintegrated and with fairly steep slopes, thus conveying significant quantities of suspended matter through runoff. These inputs are even stronger when rainfall is abundant.

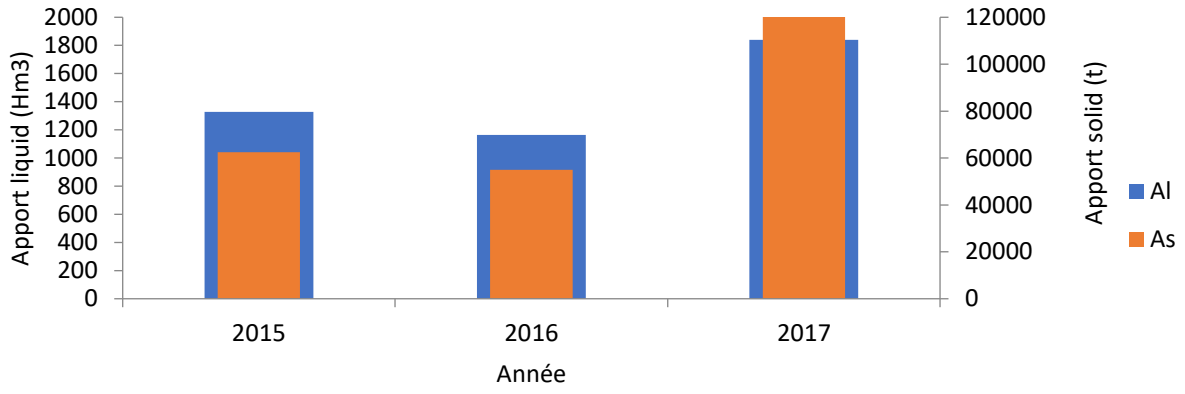


Fig. 16. Annual Liquid and Solid Inputs to the Mé.

Table 3 is a summary of annual material flows and solid inputs to the Mé River. Over the 2015-2017 period, the Mé River contributed huge amounts of material.

Table 3. Annual input balance of suspended solids quantities.

Station	Flux	2015	2016	2017	Total
Mé	Apport solid (10^3t)	62.54	54.96	125.49	242.99
	Proportion (%)	25.74	22.61	51.64	100
	Apport liquid (Hm^3)	1327.12	1164.93	1812.14	4304.20
	Proportion (%)	30.83	27.06	42.10	100

3.1.2.6 SPECIFIC DEGRADATION OF SOLID INPUTS

3.1.2.6.1 MONTHLY

Figure 17 shows the monthly specific inputs at the watershed level of the Mé River are bimodal. The first peaks are observed in June during the big rainy season, the values are 7.89 t/km^{2,} 5.35 t/km^2 and 4.78 t/km^2 respectively in 2015, 2016 and 2017. The second are observed in number and October in the short rainy season. In 2015 and 2017, the high values of specific inputs are 3.71 t/km^2 and 12.64 t/km^{2}and that in November. In 2016, in the month of October the inputs are 5.20 t/km^2. The low values of specific contributions are observed great and small dry season.

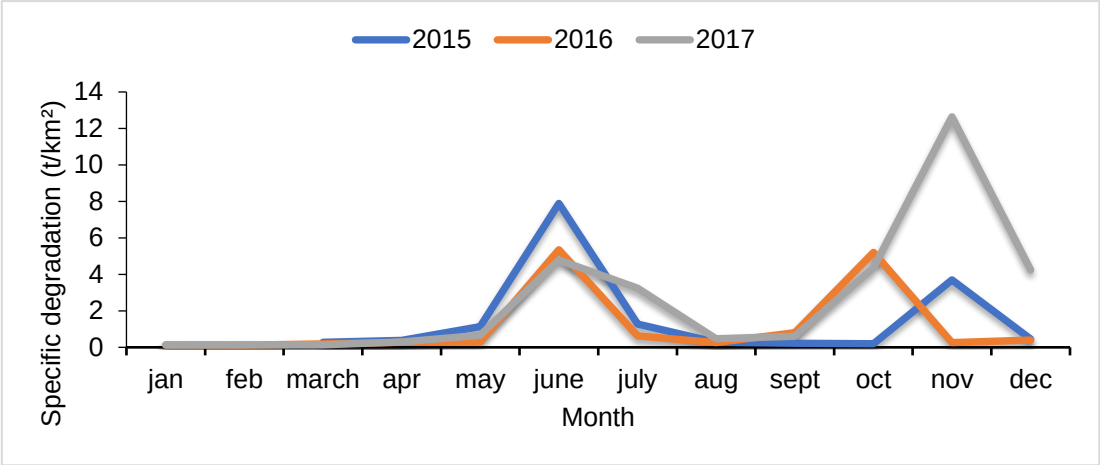


Fig. 17. Specific flow of monthly solid inputs to the Mé River.

3.1.2.6.2 ANNUAL

Figure 18 shows the specific input from the watersheds. The interannual average is 59.07 t/km^2/year (Table 4). The Mé carried a considerable amount of suspended matter in 2017. The low solid input from the Mé is largely due to the low rainfall in 2016

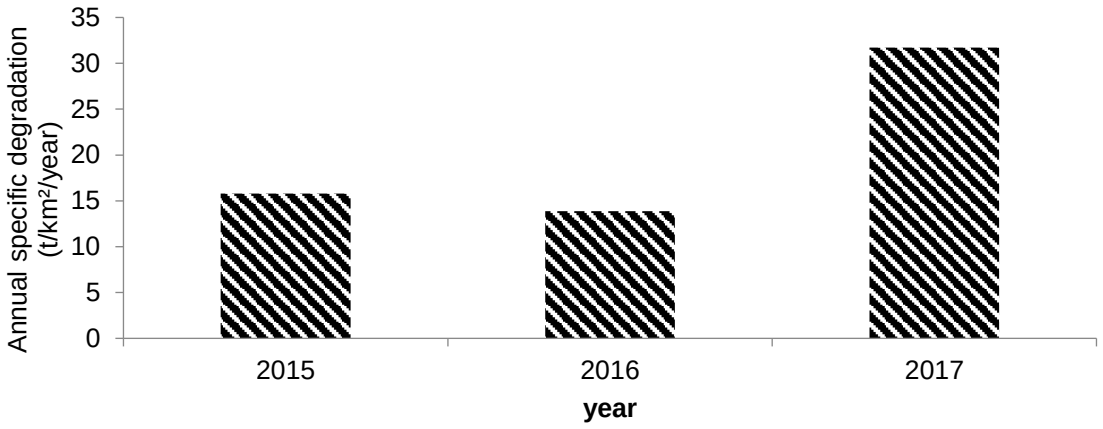


Fig. 18. Annual Specific Degradation.

Table 4. Summary of suspended solids exports (SSE in t/km²/year), flood runoff (FR in mm) and annual precipitation (AP in mm) for the 3 watersheds during the 2015 to 2017 wet seasons.

Period	Mé		
	SSE t/km²/an	FR (mm)	AP (mm)
2015	15.8	417	2087
2016	13.89	295.6	1480.5
2017	31.71	479.2	1908.5
Average 2015-2017	20.46	397.3	1694.5

4 DISCUSSION

Seasonal variation in solids loads to the Mé over the study period indicates that solids inputs are high during the long and short rainy seasons. Similarly, concentrations of suspended solids from the rainy seasons are high. High solids loads were recorded mainly during the long rainy season on all the rivers.

On the Mé, during 2015 and 2016, we observed two high waters concentrated in just two months. The first flood of the main rainy season is in June, with a solid load of $1.09.10^6$ t/month in 2015 and $0.71.10^6$ t/month in 2016. The second flood is recorded in November with a value of 0.5410^6 t/month in 2015 and in October with a value of $0.60.10^6$ t/month in 2016. The months of June and November 2015 accumulated a rate of 74.10%, of which 49.55% was attributed to June and 24.55% to November. The cumulative share is 72.38%, June 39.23% and October 33.15%. The annual solid load is $2.20.10^6$ t/year for a specific degradation of 5.55 t/ha/year. The solid load transported in 2016 was $1.81.10^6$ t/year, with a specific degradation of 4.56 t/ha/year. 2017 was an exceptional year, with most of the solid load transport concentrated in four months (June, July, October and November). Monthly solid loads in 2017 were $0.63.10^6$ t/month in June, $0.41.10^6$ t/month in July, 0.5210^6 t/month in October and 0.9710^6 t/month in November. During the months of June, July, October and November, rainfall is significant and contributes to a considerable increase in sediment transport. As an indication, 82.68% of the solid load was transported during these four months: 20.59% in June, 13.40% in July, 17% in October and 31.70% in November. The accumulation of the first flood corresponding to the long rainy season was less than that of the second flood centred on the short rainy season. The annual solid load of the Mé was $2196.69.10^3$ t/year, $1806.77.10^3$ t/year and $3059.57.10^3$ t/year in 2015, 2016 and 2017 respectively. The specific degradation due to solid loads was 5.55 t/ha/yr in 2015, 4.56 t/ha/yr in 2016 and 7.73 t/ha/yr in 2017.

The solid transport values estimated for the Mé are relatively low compared with those of [4] in the Oued Isser catchment area at the Koudiat Acerdoune dam (northern Algeria), which is of the order of 5.965 Mt, i.e. a surface degradation of 2141.652 t/km^{-2}/year, which is much higher than the specific degradation values for the Mé However, the work of [32] in a semi-arid basin (case of the upstream oued Mellegue), eastern Algeria, estimated solid transport at 56.10^4 t/yr, a relatively high value compared with that of the Mé, but a specific degradation of 161 t/km^2/year, a value much higher than that of the Mé.

The long rainy season brought less solid load than the short rainy season. Indeed, after a long dry season, the first rains find the soil dry and hard, which is difficult to erode [33]. The basin's response in terms of suspended solids is therefore less significant. On the other hand, the rains in October and November will pull up large quantities of solid matter, as the soil has become soft. The rainy seasons, on the other hand, have high concentrations of suspended solids because the soil is washed away by the rains. During the flood season (June), high concentrations of suspended solids are observed. The lowest concentrations are observed during the flood season (October and November). This may be due to the fact that the first rains wash away the bare or ploughed soil. These rains wash away some of the detrital material available on the soil surface. As the rain persists, all the less resistant detritic material is completely washed away. This is a classic development observed in most rivers in the Sudanian climate zone ([34]; [35]). The solid loads transported in high water are greater than those in low water. The specific degradation observed over the study period is significant in the Mé. The decrease in annual specific degradation with an increase in the surface area of the catchment may be due to a change in the ratio between the sediment removed from the slopes and the bed of the watercourse and the quantity of material that remains trapped in the catchment before reaching the outlet because of discontinuities and dead arms in the watercourse. When the surface area of catchment areas increases, the proportion of low-gradient areas (valley bottoms, floodplains) increases, thus favouring sedimentation phenomena. In addition, the sediment loads estimated over the three (3) years of the study (2015, 2016 and 2017) indicate that 2015 and 2017 were characterised by very high solid inputs. This could be explained by the abundance of exceptional floods in terms of volume and duration. On the other hand, the low solid input observed in 2016 at the Mé could be explained by the low rainfall recorded. The sediment input could be contributing to the silting up of the Aghien lagoon water body. In addition, most of the sediment or fine particles transported from upstream to downstream in the basin do not all reach the outlet of the Mé. A large proportion of the particles are deposited at the bottom of the lagoon due to the low slopes and speed of the lagoon water, causing it to fill in. According to [36], the transport of suspended matter is the main cause of the filling of water reservoirs.

5 CONCLUSION

Suspended solids transport in the Mé River watershed was calculated over the four seasons, namely the long and short rainy season and the long and short dry season. The solid flows vary according to the liquid flows according to a power law. From this relationship, the solid flow was extrapolated. The annual tonnage of solids loads transiting through the Mé was deduced from the power law for all seasons. From this deduction, the annual quantities of sediment transported by the Mé from 2015/2017 is 7.06.10^6 t/year, or a specific degradation of 1.79.10^3 t/km^2/year. On the other hand, in 2017, the value of this solid input is 3.06.10^6 t/year. The results of the suspended solids analysis identified the different seasonal inputs. However, the annual solid input is estimated at 7063.03.10^3 t/year with a specific degradation of 1784.47 t/km^2/year at the Mé from 2015 to 2017.

COMPETING INTERESTS

The contact author has declared that neither they nor their co-authors have any competing interests.

FINANCIAL SUPPORT

This research has been supported by the Contrat Desendettement Developpement (C2D) (Lot no. 4 of the projectAMRUGE-CI - Appui à la Modernisation et à la Réforme des Universités et Grandes Ecoles de Côte d'Ivoire).

CONTRIBUTIONS OF THE AUTHORS

Ehouman Serge Koffi wrote the manuscript with the data collected and compiled with Hydraccess software by Ehouman Serge Koffi and Maurice Guilliod. Dabissi Djibril Noufé, Bamory Kamagaté, Lanciné Droh Goné are the initiators of the "Lagune Aghien" project. Luc Séguis and Jean-Louis Perrin are our research partners in the Aghien Lagoon project. Anzoumanan Kamagaté and Amidou Dao helped to read and correct the paper.

ACKNOWLEDGMENTS

Our thanks go to the "Debt Reduction and Development Contract" (C2D) between France and Côte d'Ivoire which funded the research activities of "Aghien lagoon" project through the partnership PReSeD-CI. This partnership was a very good collaboration between researchers from Université NANGUI ABROGOUA (UNA), in particular those from the "Laboratoire de Géosciences et Environnement" (LGE) and researchers from the French Institute for Research and Development (IRD).

REFERENCES

[1] Roose, Eric-ORSTOM. (1991). Soil conservation in Mediterranean areas. Synthesis and proposal of a new strategy for erosion control. GCES-Cahiers ORSTOM, Série Pédologie XXVI (2): 145- 181.

[2] ElAlaoui, H. (2011). Spectral characterization of soil degradation status in the Tleta watershed (Western Rif) Morocco from ASTER data. Final project of engineering studies, IAV Hassan II, 71.

[3] Ghernaout, R. & Remini, B. (2014). Impact of suspended sediment load on the silting of SMBA reservoir (Algeria). Environ Earth Sci J 72 (3): 915-929.

[4] Ghernaout, R., Zeggane, H., & Remini, B. (2020). Dynamique du transport solide dans le bassin versant de l'Oued Isser au droit du barrage de Koudiat Acerdoune (Nord Algérie). La Houille Blanche, 4, 15-32.https://doi.org/10.1051/lhb/2020038.

[5] Walling, D. E., Fang, D. (2003). Recent trends in the suspended sediment loads of the worlds rivers. Global Planet Change 39: 111-126.

[6] White, WR. (2001). Evacuation of sediments from reservoirs. London: Thomas Telford.

[7] Bakker, M. M., Govers, G., Jones, R. A., & Rounsevell, M. D. A. (2007). The Effect of Soil Erosion on Europe's Crop Yields. Ecosystems, 10 (7), 1209-1219. doi: 10.1007/s10021-007- 9090-3.

[8] N'go, Y. A., acé, P., Savané, Y. I., Aka, K. (2004). Impact of climatic variability and anthropogenic actions on the hydrological and sedimentological evolution of the estuary of a West African river: the Sassandra. Bioterre, Rev. Inter. Sci. de la vie et de la terre. 4 (1), 59-73.

[9] Kouassi, K. L. (2007). Hydrology, solid transport and modeling of sedimentation in the lakes of the hydroelectric dams of Ivory Coast: case of the lake of Taabo (Ivory Coast). Single doctoral thesis, University of Abobo-Adjamé, Abidjan, Ivory Coast. 209.

[10] Lefrançois, J (2007). Dynamics and origins of suspended solids in small agricultural basins on shale. PhD thesis, University of Rennes I, France. 261.

[11] Kouadio Z. A. (2011). Dynamique de l'occupation du sol et comportement hydrologique: cas des bassins versants côtiers de l'Agnéby et du Boubo (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat. Université Nangui Abrogoua. Abidjan. Côte d'Ivoire, 167p.

[12] Saley M. B., Tanoh R., Kouame K. F., Oga M. S., Kouadio B. H., Djagoua, E. V. & Savane I. (2009). Variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie et son impact sur les ressources en eaux souterraines: cas du district d'Abidjan (sud de la Côte d'Ivoire). In 14e colloque International en évaluation environnementale, Niamey, 26-29 pp.

[13] KOUAME K. I. (2007). Pollution physico -chimique des eaux dans la zone de la décharge d'Akouédo et analyse du risque de contamination de la nappe d'Abidjan par un modèle de simulation des écoulements et du transport des polluants. Thèse de Doctorat. Université d'Abobo-Adjamé. Abidjan. Côte d'Ivoire, 204p.

[14] Délor, C., Diaby, I., Siméon, Y., Yao, B., Tastet, J. P., Vidal, M., Chiron, J. P & Dommanget, A. (1992a).Notice explicative de la carte Géologique de la Côte d'Ivoire à 1/200000, Feuille Abidjan, Mémoire de la Direction de la Géologie de Côte d'Ivoire, n°3, Abidjan, Côte d'Ivoire, 26p.

[15] Tixeront, J. (1960). Solid flow of rivers in Algeria and Tunisia. In General Assembly of Helsinki, July 25-August 6, IAHS, 53, 26-41pp.

[16] Laignel, B., Dupuis, E., Dupont, J. P., Hauchard, E. & Massei, N. (2006). Erosion balance in the watersheds of the westren Paris Basin by high-frequency monitoring of discharge and suspended sediment in surface water. Comptes Rendus Geoscience, 338 (8), 556-564pp. https://doi.org/10.1016/j.crte.2006.03.010

[17] Elahcene, O. (2013). Study of the solid transport by scavenging and in suspension in the watershed of the oued Bellah (Tipaza). Thèse de doctorat. Ecole National Supérieure Agronomique El-Harraach (Alger), 109p.

[18] Kouassi, A. M., Kouamé, K. F. & Saley, M. B. (2013). Application of the Maillet model to the study of climate change impacts on water resources in West Africa: the case of the N'Zi-Bandama watershed (Ivory Coast). Journal of AsianScientificResearch. 3 (2): 214-228pp.

[19] Campbell, F. B. & Bauder, H. A. (1940). A rating-curve method for determining silt-discharge of streams, EOS Transactions American Geophysical Union, 21: 603-607pp.

[20] Kennedy, R. G. (1895). The prevention of silting in irrigation canals (including appendix). In Minutes of the Proceedings of the Institution of Civil Engineers (Vol. 119, No. 1895, pp. 281-290), Thomas Telford-ICE Virtual Library.
[21] Crawford, C. G. (1991). Estimation of suspended-sediment rating curves and mean suspended-sediment loads. J Hydrol 129: 331-348pp.
[22] Restrepo, J. D. & Kjerfve, B. (2000). Magdalena river: interannual variability (1975-1995) and revised water discharge and sedi-ment load estimates. J. Hydrol. 235: 137-149pp.
[23] Restrepo J. D. & Kjerfve B. (2000). Magdalena river: interannual variability (1975-1995) and revised water discharge and sedi-ment load estimates. J. Hydrol. 235: 137–149pp.
[24] Yles, F. & Bouanani, A. (2012). Quantification and modeling of solid transport in the Wadi Saida watershed (Algerian Highlands). Drought, 23 (4), 289-296. https://www.jle.com/10.1684/sec.2012.0367.
[25] Yles, F. (2014). Hydrology and solid transport in the Wadi Saida watershed: Rain-flow modeling - Solid transport. PhD thesis. Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen. Algeria, 150p.
[26] Ghernaout, R. & Remini, B. (2017). Analysis of the Suspended Solid Transport in the Oued Mina Watershed (NW Algeria). La Houille Blanche, n° 3, 2017, 47-63 pp.
[27] Kerdoud, S. & Tatar, H. (2018). Quantification of suspended solid transport and its temporal variability in the Oued Kebir Hammam watershed. Science & Technology. D, Earth Sciences, (47), 43-53pp.
[28] Bouguerra, S. A., & Bouanani, A. (2019). Seasonal and interannual analysis of suspended flow dynamics in the Wadi Boukiou watershed (northwest Algeria). Geomorphology: landforms, processes, environment, 25 (2). https://doi.org/10.4000/geomorphologie.13189.
[29] Goolsby, D., Battaglin, W., Lawrence, G., Artz, R., Aulenbach, B., Hooper, R., Keeney, D. & Stensland, G. (1999). Flux and sources of nutrients in the Mississippi-Atchafalaya River Basin. National Oceanic Service and Atmospheric Adiminitration National Oceanic Service Coastal Oceanic Program.
[30] Mélèdje, N'D. H. (2016). Modeling of hydrological dynamics and sediment flow in the Ayamé 1 hydroelectric dam lake. PhD thesis. Université Nangui Abrogoua. Abidjan. Ivory Coast, 194p.
[31] Kheniche, S., Louamri, A. & Taabni, M. (2019). Estimation of solid transport and evolutions of the relation «liquid flow-solid flow» in a semi-arid basin (case of the upstream Mellegue wadi), Eastern Algeria. Sciences & Technologie D - N°50, December 2019.71-80.pp.
[32] Bouleknafet, Z., & Elahcene, O. (2023). Quantification of solid particle transport in suspension in a stream: Case of Wadi Zeddine Ain-Defla, Algeria. Journal of Water and Land Development.
[33] Yles, F. & Bouanani, A. (2016). Suspended sediments and flood typology in the Wadi Saida watershed (Algerian Highlands). Journal of water sciences 293: 213-229. DOI: 10.7202/1038925ar. https://doi.org/10.7202/1038925ar.
[34] Kattan, Z., Gac, J. Y., & Probst, J. L. (1987). Suspended sediment load and mechanical erosion in the Senegal Basin-estimation of the surface runoff concentration and relative contributions of channel and slope erosion. Journal of hydrology, 92 (1-2), 59-76pp.
[35] Olivry, J. C., Bricquet, J. P. & Thiebaux, J. P. (1989). Annual balance and seasonal variations of particulate fluxes from Congo to Brazzaville and from Oubangui to Bangui. La Houille Blanche, (3-4), 311-316pp.
[36] Noumon, C. J., Ibouraima, S., Agbossou, E. K. & Mama, D. (2019). Filling, eutrophication and water uses of the Kogbetohoue impoundment (Southwest Benin). Journal of Applied Biosciences 142: 14587 - 14605pp. https://dx.doi.org/10.4314/jab.v142i1.12.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1103-1112
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Analyse des potentialités agro-pédologiques dans un contexte de changement climatique: Comparaison des systèmes agroforestiers cacaoyers, jachères et forêts

[Analysis of agro-pedological potentialities in the context of climate change: A comparative study of cocoa agroforestry systems, fallow lands, and forests]

Akotto Odi Faustin, N'Guessan Kouamé Jean-Claude, Kouadio Konan Kan Hippolyte, and Kouamé Konan Constant

Soil Science and Sustainable Agriculture Program, Laboratory of Soil Sciences, Water, and Geomaterials (LSSEG), Faculty of Earth and Mineral Sciences (STRM), Felix Houphouet-Boigny University Abidjan (UFHB), 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 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 comparative study of cocoa-based agroforests, fallow lands, and forests in the Akoupé department reveals promising results in combating climate change. Cocoa-based agroforests (SAFs) stand out with a higher average nitrogen content (0.22) compared to fallow lands (0.14) and forests (0.08), promoting carbon sequestration and reducing greenhouse gas emissions. Correlation analysis shows a moderate positive relationship between nitrogen and potassium, enhancing nutrient utilization and strengthening crop resilience against climate variations. While SAFs sometimes exceed sustainable agriculture thresholds for nitrogen, phosphorus, and potassium, and to a lesser extent, fallow lands for nitrogen, sustainable management practices (crop rotation, organic fertilization) can mitigate these exceedances. Overall, SAFs prove to be powerful allies against climate change. Their carbon sequestration capacity, resilience, and agricultural potential make them essential systems for sustainable agriculture. These findings can guide farmers and policymakers towards environmentally friendly practices and contribute to a greener and more sustainable future.

KEYWORDS: Agroforests, cocoa, climate change, resilience, sustainable management.

RESUME: L'étude comparative des agroforêts à base de cacaoyer, jachères et forêts dans le département d'Akoupé révèle des résultats prometteurs pour lutter contre le changement climatique. Les agroforêts à base de cacaoyer (SAFs) se distinguent par une moyenne élevée en azote (0,22) par rapport aux jachères (0,14) et aux forêts (0,08), favorisant le stockage de carbone et réduisant les émissions de gaz à effet de serre. L'analyse de corrélation montre une relation positive modérée entre l'azote et le potassium, favorisant une meilleure utilisation des nutriments et renforçant la résilience des cultures face aux variations climatiques. Comparés aux seuils pour une agriculture durable, les SAFs dépassent parfois les limites pour l'azote, le phosphore et le potassium, et dans une moindre mesure dans les jachères pour l'azote. Mais des pratiques de gestion durable (rotation des cultures, apport d'engrais organique) peuvent atténuer ces dépassements. Au total, les SAFs sont des alliées puissantes contre le changement climatique. Leur capacité de stockage de carbone, résilience et potentiel agricole en font des systèmes essentiels pour une agriculture durable. Ces résultats peuvent guider les agriculteurs et décideurs vers des pratiques respectueuses de l'environnement et contribuer à un avenir plus vert et durable.

MOTS-CLEFS: Agroforêts, cacaoyer, changement climatique, résilience, gestion durable.

1 INTRODUCTION

Le changement climatique représente l'un des défis majeurs auxquels l'agriculture mondiale est confrontée aujourd'hui [1]. Les variations climatiques et les phénomènes extrêmes impactent directement les écosystèmes agricoles, mettant en péril la sécurité alimentaire et la durabilité des pratiques agricoles traditionnelles [2]. Dans ce contexte, des approches durables sont incontestables, pour atténuer les effets néfastes du changement climatique [3] et s'adapter à ses conséquences [4]. Les systèmes agroforestiers à base de cacao et les forêts naturelles sont des écosystèmes d'une importance capitale dans la région d'Akoupé en Côte d'Ivoire. Ils combinent la

culture de cacao avec des arbres d'ombrage, créant ainsi une mosaïque complexe d'interactions écologiques [5], [6]. Ces systèmes offrent non seulement une source de revenus pour les agriculteurs, mais également des avantages environnementaux tels que la préservation de la biodiversité, la protection des sols contre l'érosion et la régulation du climat local [7]. D'autre part, les forêts naturelles (classées et/ou jachères), en plus de leur valeur intrinsèque en termes de biodiversité, jouent un rôle crucial dans la production des biens et services. En particulier, les agroforêts à base de cacaoyer, les jachères et les forêts sont des systèmes agricoles prépondérants dans de nombreuses régions tropicales. Ces systèmes offrent des opportunités pour concilier production agricole, conservation des ressources naturelles et résilience aux perturbations climatiques [8]. Cependant, pour maximiser leur potentiel agricole et leur contribution à la gestion durable des sols, il est essentiel de mieux comprendre leurs propriétés pédologiques et leur réponse au changement climatique. C'est dans ce contexte que notre étude entre en jeu.

La présente étude vise donc à réaliser une analyse approfondie des propriétés des sols dans un contexte de changement climatique, en se focalisant sur les trois écosystèmes. L'objectif est de comparer ces systèmes agroforestiers en termes de nutriments du sol, de pH et d'autres indicateurs clés, afin d'identifier leurs différences et similitudes. En intégrant ces résultats, l'étude souhaite fournir des recommandations pratiques pour une agriculture durable et résiliente au changement climatique. Face au changement climatique, l'agriculture durable joue un rôle central dans la sécurité alimentaire et la préservation des écosystèmes [9]. Les agroforêts à base de cacaoyer, les jachères de plus de 10 ans et les forêts sont des systèmes agricoles prometteurs pour relever ces défis, mais leur potentiel agricole et leurs caractéristiques pédologiques demeurent encore largement méconnus. Il est donc primordial de répondre aux questions suivantes: (1) Quelles sont les principales différences dans les propriétés des sols entre les agroforêts à base de cacaoyer, les jachères de 10 ans et les forêts ? (2) Comment ces trois systèmes agroforestiers répondent-ils aux variations climatiques et aux phénomènes extrêmes liés au changement climatique ? (3) Quel est le potentiel agricole de chaque système en termes de nutriments du sol et de pH, et comment ces résultats peuvent-ils être utilisés pour développer des pratiques agricoles durables ?

Cette étude est réalisée dans le département d'Akoupé, une région tropicale où l'agriculture joue un rôle central dans l'économie locale, avec une forte dépendance vis-à-vis du cacao, notamment dans les agroforêts à base de cacaoyer. Les jachères de plus de 10 ans sont également courantes dans la région, offrant des opportunités de régénération naturelle des sols et de la végétation. Les forêts, singulièrement les forêts classées, quant à elles, sont essentielles pour la conservation de la biodiversité et la protection des ressources naturelles [10]. Dans ce contexte, il est essentiel de comprendre comment ces systèmes agricoles interagissent avec leur environnement, en particulier dans un contexte de changement climatique.

L'objectif principal de cette étude est de réaliser une analyse comparative approfondie des propriétés des sols des agroforêts à base de cacaoyer, des jachères de plus de 10 ans et des forêts dans le département d'Akoupé, en tenant compte du contexte de changement climatique. Plus spécifiquement, elle vise à:

1. Caractériser les principales propriétés pédologiques (nutriments du sol, pH, etc.) de chaque système agricole.
2. Comparer les potentialités agricoles des systèmes en termes de nutriments du sol et de pH.
3. Fournir des recommandations pratiques pour une gestion durable des sols et une agriculture résiliente face au changement climatique.

En intégrant les résultats, l'étude contribuera à une meilleure compréhension des interactions entre les systèmes agroforestiers et le contexte de changement climatique, tout en fournissant des perspectives novatrices pour une agriculture durable et adaptée aux défis actuels.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATÉRIEL

Le matériel biologique est composé des espèces végétales. Le matériel technique est constitué d'un GPS (Global Positioning System), pour localiser les différents sites, d'un ruban dendrométrique millimètre, pour mesurer la circonférence des arbres, une tige en aluminium de 1,30 m, pour indiquer le niveau de mesure de la circonférence à 1.30 m de hauteur et le code Munsell, pour la caractérisation des couleurs selon la notation Munsell.

2.2 ZONE D'ÉTUDE

La figure 1 illustre la carte du département d'Akoupé, au Nord de la Région de La Mé (Sud-est de la Côte d'Ivoire). Ce travail s'est déroulé à la fin de la campagne 2020/2021 dans les forêts classées de la Besso, de l'Agbo, territoires des sous-préfectures d'Affery, d'Akoupé et de Bécouéfin. Les sols des localités majoritairement composés de Cambisols dans les environnements bien drainés et de Gleysols dans les bas-fonds [11]. La température moyenne mensuelle varie entre 24 °C et 28 °C, avec une valeur moyenne de 26,6 °C. L'humidité relative reste constamment supérieure à 70 % tout au long de l'année. La pluviométrie moyenne annuelle dépasse les 1605

mm, dans un climat de type équatorial caractérisé par quatre saisons distinctes: deux saisons de pluies (mars à juin et septembre à novembre) et deux saisons sèches (décembre à février et juillet à août).

2.3 MÉTHODES

2.3.1 COLLECTE DES DONNÉES D'OCCURRENCE DE *P. RUDERALE*

Les enquêtes socio-économiques ont été menées auprès des coopératives locales de producteurs de cacao pour identifier les systèmes agroforestiers (SAFs) à base de cacaoyer, et auprès des autorités locales pour localiser les forêts classées: forêt classée de la Besso (FCB), forêt classée de l'Agbo (FCA) ou non. Les SAFs à base de cacaoyer ont été identifiées en fonction des informations fournies par les producteurs concernant les pratiques agroforestières mises en œuvre dans leurs exploitations. Les zones agricoles voisines des SAFs, dont les jachères de plus de 10 ans, ont été sélectionnées en fonction de leur proximité géographique et de leur similitude avec les SAFs en termes d'utilisation des terres. Des relevés sur le terrain ont été effectués pour confirmer l'emplacement des zones de forêt classée et pour identifier les limites précises de chaque zone. Nous avons utilisé 10 placettes d'échantillonnage pour chaque milieu écologique (SAFs à base de cacaoyer et forêt classée ou non et jachère). Chaque placette a une taille de 50 mètres par 50 mètres. Cela signifie que nous avons prélevé des échantillons dans 10 zones différentes des SAFs à base de cacaoyer, 10 zones différentes dans les forêts classées ou non et également 10 dans les jachères de plus de 10 ans. Dans chaque zone, nous avons mesuré les diamètres et les hauteurs des arbres pour constituer notre échantillon représentatif de chaque milieu.

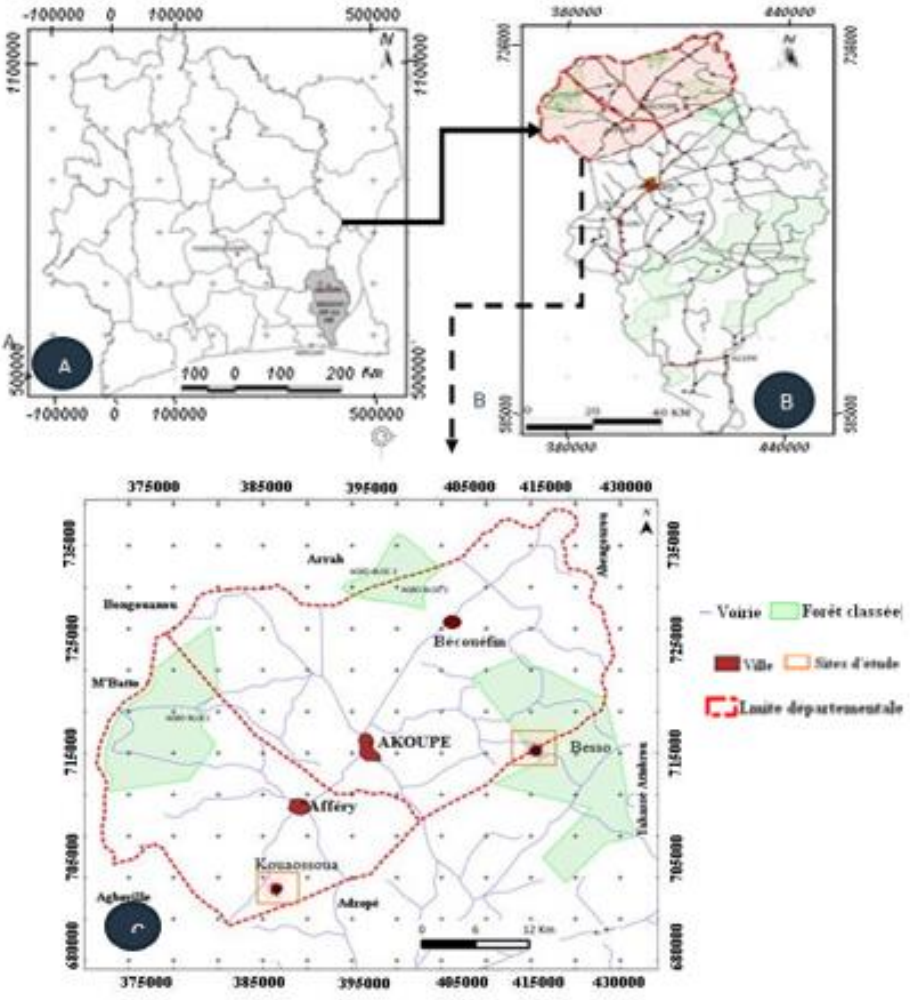


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude en Côte d'Ivoire
A: Côte d'Ivoire, B: Région de La Mé et C: Département d'Akoupé

Les profondeurs diffèrent en fonction des systèmes (forêts vs. SAFs) en raison des caractéristiques spécifiques des écosystèmes et des pratiques de gestion associées. Dans le contexte la génération des données a été définie selon des profondeurs spécifiques pour les horizons du sol dans chaque système où des sondages tarière y ont été effectués:

- Dans les forêts classées ou non, nous avons utilisé la profondeur "0-30 cm" pour représenter la couche du sol allant de la surface jusqu'à 30 centimètres de profondeur; il s'agit souvent d'un environnement naturel où les caractéristiques du sol sont moins susceptibles de varier de manière significative sur de petites échelles. Cela signifie que les mesures de propriétés du sol sont associées à cette profondeur spécifique dans les forêts.

- Dans le cas des SAFs à base de cacaoyer et jachères, nous avons utilisé la profondeur "0-60 cm" pour représenter une couche du sol plus profonde allant de la surface jusqu'à 60 centimètres de profondeur. Cela est probablement dû au fait que ces écosystèmes peuvent impliquer une gestion agricole plus intensive, comme le travail du sol pour planter les cacaoyers, ce qui peut affecter les caractéristiques du sol sur une plus grande profondeur. Ainsi, les mesures de propriétés du sol y sont associées à cette profondeur plus profonde.

Pour collecter des données de terrain précises, nous avons utilisé un système de positionnement global (GPS) pour géoréférencer 30 parcelles d'échantillonnage. Les échantillons prélevés ont été séchés à l'air et passés au tamis de maille 2 mm et analysés au laboratoire pour le pH, les teneurs en azote, phosphore assimilable (P_2O_5) et potassium. Le pH eau a été déterminé à l'aide d'un pH-mètre à partir d'une suspension de sol et d'eau distillée dans un rapport sol/eau de 1/2,5. L'azote a été dosé par la méthode Kjeldahl. Le phosphore assimilable a été déterminé par la méthode Olsen.

2.4 ANALYSE STATISTIQUE

Une analyse statistique descriptive est réalisée pour caractériser les propriétés des sols dans les SAFs, les jachères et les forêts. Les moyennes, écarts-types et autres indicateurs de dispersion sont calculés pour chaque propriété du sol. Une analyse comparative est réalisée pour évaluer les différences significatives entre les systèmes agroforestiers. Des tests statistiques, tels que le test de Tukey, sont utilisés pour comparer les moyennes des propriétés du sol entre les systèmes. Les données de concentrations en azote, phosphore et potassium sont converties en unités de kg/ha pour évaluer le potentiel agricole de chaque système. Les seuils pertinents pour l'agriculture durable et la gestion des sols sont pris en compte pour interpréter les résultats. Les données de sol et les données climatiques sont intégrées dans un système d'information géographique (SIG) pour réaliser des analyses géospatiales. Des cartes de densité des propriétés du sol sont générées pour visualiser les variations spatiales. Les résultats de l'analyse comparative sont interprétés en tenant compte du contexte de changement climatique. Les dépassements de seuils sont évalués pour déterminer les systèmes présentant le plus grand potentiel agricole et les plus résilients face aux variations climatiques.

Les données du sol collectées ont été soumises à une procédure de traitement rigoureuse afin d'assurer la qualité et la cohérence des données pour l'analyse de la variance (ANOVA). Ce traitement des données a été analysé à l'aide du logiciel R version 4.3.0 [12], un langage de programmation statistique largement utilisé pour l'analyse des données environnementales. La significativité a été définie au niveau de confiance de 95% ($p < 0,05$). Initialement, les données brutes ont été importées dans R, et une inspection visuelle préliminaire a été effectuée pour identifier d'éventuelles erreurs ou valeurs aberrantes. Les observations contenant des erreurs ont été identifiées et corrigées ou exclues de l'analyse afin de minimiser tout impact négatif potentiel sur les résultats.

3 RÉSULTATS

3.1 ANALYSE DES PROPRIÉTÉS DU SOL DANS LES AGROFORÊTS À BASE DE CACAOYER

3.1.1 CARACTÉRISTIQUES DES SOLS

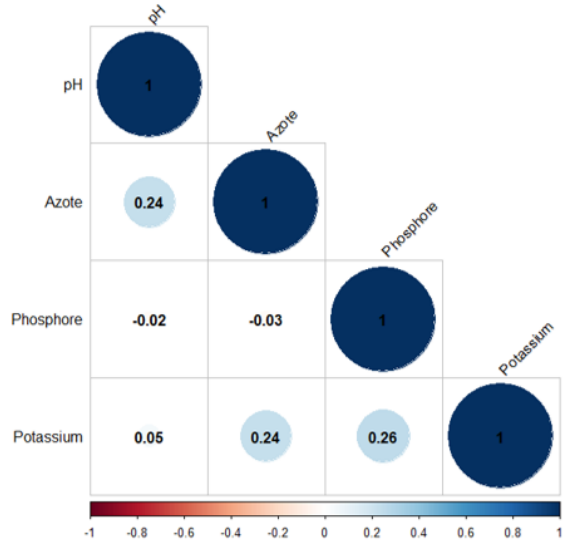
Le tableau 1 résume les statistiques descriptives du pH et des nutriments du sol. La moyenne du pH est légèrement plus élevée dans les jachères (6,66) par rapport aux forêts (6.43) et aux SAFs (6,09). Le coefficient de variation du pH est le plus élevé dans les SAFs (14,07%), ce qui indique une plus grande variabilité autour de la moyenne. Les forêts ont le coefficient de variation le plus bas (6.60%), indiquant une plus grande homogénéité des valeurs de pH. La médiane du pH présente une variation plus importante dans les agroforêts à base de cacaoyer (6,30 ± 0,86) par rapport aux forêts (6,35 ± 0,42) et aux jachères (6,75 ± 0,31). Cela suggère une plus grande dispersion des valeurs de pH dans les SAFs. La moyenne de l'azote est la plus élevée dans les agroforêts à base de cacaoyer (0,22), suivie des jachères (0,14) et des forêts (0,08). Le coefficient de variation de l'azote est élevé pour les trois types de sols, indiquant une grande variabilité des niveaux d'azote dans tous les cas. La médiane de l'azote présente une grande variation dans les jachères (0,09 ± 0,12) et les SAFs (0,11 ± 0,25), tandis qu'elle est plus proche de la moyenne dans les forêts (0,10 ± 0,06). La moyenne du phosphore est la plus élevée dans les forêts (2,59), suivie des jachères (2,45) et des SAFs (1,60). Le coefficient de variation du phosphore est le plus élevé dans les jachères (88,41%), indiquant une grande dispersion des valeurs autour de la moyenne. La médiane du phosphore présente une grande variation dans les jachères (3,0 ± 2,166), tandis que les forêts (2,51 ± 0,20) et les SAFs (0,50 ± 1,56) ont une médiane plus proche de la moyenne. La moyenne du potassium est la plus élevée dans les forêts (2,48), suivie des SAFs (2,30) et des jachères (1,73). Le coefficient de variation du potassium est le plus élevé dans les jachères (42,91%), indiquant une plus grande variabilité des niveaux de potassium dans ce type de sol. La médiane du potassium est relativement proche de la moyenne dans tous les cas, bien que les forêts (2,60 ± 0,38) présentent une légère variation.

Tableau 1. Analyse statistique descriptive comparative des propriétés du sol entre les agroforêts à base de cacaoyer, les jachères et les forêts

pH	Moyenne	6,43±0,424	6,656±0,313	6,087±0,856
	Médiane	6,35	6,75	6,295
	Coef.var	6,60	4,70	14,07
Azote	Moyenne	0,075±0,063	0,144±0,121	0,224±0,246
	Médiane	0,100	0,090	0,105
	Coef.var	83,36	83,80	110,02
Phosphore	Moyenne	2,586±0,204	2,450	1,600±1,555
	Médiane	2,505	3,000±2,166	0,500
	Coef.var	7,88	88,41	97,22
Potassium	Moyenne	2,482±0,375	1,729±0,742	2,299±0,459
	Médiane	2,595	1,329	2,379
	Coef.var%	15,13	42,91	19,97

3.1.2 CORRÉLATIONS ENTRE LES PROPRIÉTÉS DU SOL

Le tableau 2 résume les relations entre les propriétés du sol. Il y a une corrélation positive faible entre le pH et l'Azote (0,24). Cela signifie qu'à mesure que les niveaux d'Azote augmentent dans le sol, le pH tend à augmenter légèrement également. Cependant, cette relation est relativement faible. Il n'y a pratiquement aucune relation linéaire significative entre le pH et le Phosphore (-0,02). Les niveaux de Potassium ont une influence négligeable sur le pH du sol (0,05). Il n'y a pas de relation linéaire significative entre l'Azote et le Phosphore (-0,03). Il y a une corrélation positive modérée entre l'Azote et le Potassium (0,24). Cela signifie qu'à mesure que les niveaux d'Azote augmentent, les niveaux de Potassium ont tendance à augmenter de manière modérée également. Il y a une corrélation positive modérée entre le Phosphore et le Potassium (0.26). Cela suggère que ces deux propriétés du sol sont liées de manière modérée, et une augmentation des niveaux de Phosphore est associée à une augmentation des niveaux de Potassium. Globalement, les corrélations entre les propriétés du sol sont généralement faibles à modérées, indiquant qu'elles ne sont pas fortement liées les unes aux autres. Ces résultats permettent de comprendre les interactions entre les différents nutriments et composants du sol, ce qui pourrait avoir des implications importantes pour la fertilité du sol et la croissance des cultures dans le contexte du travail. Ces corrélations dans le cadre de l'ensemble des facteurs environnementaux et agronomiques, sont utiles pour prendre des décisions éclairées en matière de gestion des sols et de pratiques agricoles.



Une couleur vive (rouge vif) indique une forte corrélation positive entre les deux variables. Cela signifie que lorsque la valeur d'une variable augmente, la valeur de l'autre variable augmente également de manière proportionnelle.
Une couleur foncée (bleu foncé) indique une forte corrélation négative entre les deux variables. Cela signifie que lorsque la valeur d'une variable augmente, la valeur de l'autre variable diminue de manière proportionnelle.
Une couleur pâle indique une corrélation faible (rose pâle ou bleu pâle) entre les deux variables. Cela signifie qu'il y a peu ou pas de relation linéaire claire entre les variables.
Une couleur neutre (blanc ou gris) est utilisée pour représenter l'absence de corrélation entre les variables. Cela signifie que les variables sont indépendantes les unes des autres.

Fig. 2. Corrélation entre les propriétés du sol étudiées

3.1.3 COMPARAISON AVEC LES SEUILS PERTINENTS POUR L'AGRICULTURE DURABLE

Le tableau 3 illustre les concentrations des propriétés du sol. Les dépassements de seuils dans les SAFs et dans une moindre mesure en jachères indiquent des concentrations élevées en azote, en phosphore et en potassium sous les SAFs. Ces dépassements peuvent être préoccupants car ils peuvent entraîner des risques de pollution environnementale et de dégradation du sol. C'est le lieu de rappeler

que des pratiques de gestion durable des sols dans ces systèmes sont envisagées, pour réduire les apports excessifs de nutriments et éviter les impacts négatifs sur l'environnement. Des approches telles que la rotation des cultures, l'utilisation d'engrais organiques et la plantation de cultures de couverture peuvent être envisagées pour améliorer la gestion des nutriments dans ces écosystèmes.

3.1.4 POINTS COMMUNS ET DIFFÉRENCES PAR RAPPORT AUX SEUILS PERTINENTS

Nous pouvons effectuer une analyse de variance (ANOVA), pour les nutriments (pH, Azote, Phosphore, Potassium) des systèmes (SAFs, Jachère et Forêt). Les résultats de l'ANOVA (Tableau 4) suggèrent que les propriétés du sol, en termes de pH et d'azote, sont similaires dans les trois systèmes (Forêts, SAFs et Jachères). Cependant, il y a une différence significative dans les concentrations de potassium entre les Forêts et les Jachères, mais pas entre les Forêts et les SAFs ni entre les SAFs et les Jachères. Pour le phosphore, bien qu'il n'y ait pas de différence significative globale entre les systèmes, il y a une différence proche du seuil de significativité entre les Forêts et les Jachères. Les systèmes de Forêts, SAFs et de Jachères peuvent partager des caractéristiques similaires en termes de pH et d'azote du sol, mais des différences significatives existent en ce qui concerne les concentrations de potassium et une différence proche du seuil pour le phosphore entre certains systèmes. Ces informations peuvent être utiles pour orienter les pratiques de gestion agricole durable et la conservation des sols dans ces différents systèmes agricoles dans le département d'Akoupé. Dans l'ensemble, ces analyses soulignent l'importance de surveiller attentivement les niveaux de nutriments dans les systèmes agricoles et de prendre des mesures appropriées pour préserver la fertilité du sol et protéger l'environnement.

Tableau 2. Comparaison des concentrations en Azote, Phosphore et Potassium dans les différents systèmes d'échantillonnage

Parcelle	Azote		Phosphore		Potassium		Analyse
	Kg.ha^{-1}	Depst	Kg.ha^{-1}	Depst	Kg.ha^{-1}	Depst	
Forêts	1,000	Non	25,0	Non	25,40000	Non	Aucune des concentrations en N, P et K des parcelles ne dépasse le seuil supérieur acceptable de 2,0 kg/ha en N, 50,0 kg/ha en P et 30,0 kg/ha en K
	0,100	Non	27,5	Non	19,90000	Non	
	0,040	Non	27,5	Non	26,50000	Non	
	0,030	Non	22,5	Non	26,90000	Non	
	0,047	Non	25,0	Non	21,10000	Non	
	1,400	Non	24,0	Non	24,20000	Non	
	1,200	Non	28,0	Non	18,70000	Non	
	1,100	Non	29,0	Non	28,50000	Non	
	1,000	Non	25,0	Non	29,70000	Non	
	1,600	Non	25,1	Non	27,30000	Non	
Agroforêts	0,600	Non	5,0	Non	23,18947	Non	30% des concentrations et 10% des parcelles dépassent le seuil le seuil supérieur acceptable de 2,0 kg/ha, 50,0 kg/ha et 30,0 kg/ha en N, P et K, respectivement
	3,300	**Oui**	5,0	Non	12,66316	Non	
	0,900	Non	30,0	Non	13,29474	Non	
	0,500	Non	30,0	Non	13,29474	Non	
	2,900	**Oui**	30,0	Non	13,29474	Non	
	0,900	Non	5,0	Non	23,18947	Non	
	0,500	Non	5,0	Non	12,66316	Non	
	0,600	Non	30,0	Non	13,29474	Non	
	3,300	**Oui**	75,0	**Oui**	34,70000	**Oui**	
	0,900	Non	30,0	Non	13,29474	Non	
Jachères	0,500	Non	5,0	Non	23,18947	Non	30% des concentrations en N des parcelles dépassent le seuil de 2,0 kg/ha, tandis que 0% ne dépasse le seuil supérieur acceptable de 50 kg/ha en P et 30 kg/ha en K
	7,700	**Oui**	25,0	Non	29,10000	Non	
	3,100	**Oui**	5,0	Non	22,70526	Non	
	1,000	Non	5,0	Non	15,86316	Non	
	0,600	Non	32,5	Non	15,55789	Non	
	1,800	Non	30,0	Non	26,80000	Non	
	5,400	**Oui**	2,5	Non	24,40000	Non	
	1,100	Non	5,0	Non	26,69474	Non	
	0,600	Non	45,0	Non	25,62105	Non	
	0,600	Non	30,0	Non	19,97895	Non	

Tableau 3. Résultats de l'ANOVA à deux facteurs pour les propriétés du sol en fonction du type de sol et de la parcelle

Paramètre	Facteur	Degrés de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Valeur F	p-value	Significatif
pH	Type de Sol	2,00	1,64	0,82	2,49	0,10	Non
	Parcelle	1,00	0,53	0,53	1,62	0,21	Non
	Résidus	26,00	8,57	0,33			
Azote	Type de Sol	2,00	0,11	0,06	2,04	0,15	Non
	Parcelle	1,00	0,01	0,01	0,20	0,66	Non
	Résidus	26,00	0,71	0,03			
Phosphore	Type de Sol	2,00	5,71	2,86	1,34	0,28	Non
	Parcelle	1,00	8,76	8,76	4,10	0,05	Proche du seuil
	Résidus	26,00	55,61	2,14			
Potassium	Type de Sol	2,00	3,09	1,54	5,09	0,01	Oui
	Parcelle	1,00	0,23	0,23	0,76	0,39	Non
	Résidus	26,00	7,89	0,30			

Significatif: Oui = Significatif à un niveau de confiance de 0,05, Non = Non significatif, Proche du seuil = P-value proche du seuil de 0,05.

3.2 ANALYSE DES PARCELLES ÉTUDIÉES ET IMPLICATIONS POUR L'AGRICULTURE DURABLE

Quelques explications complémentaires concernent la distribution des parcelles étudiées (Figure 2) dans le contexte d'étude:

La répartition des parcelles peut être influencée par des facteurs géographiques tels que l'altitude, la topographie, le type de sol naturel, et la proximité des cours d'eau. Certaines zones spécifiques du département peuvent être plus propices à la présence de Forêts en raison de conditions climatiques particulières, tandis que d'autres régions pourraient être davantage converties en SAFs ou en Jachères en fonction des pratiques agricoles locales. Elle peut également être liée aux pratiques agricoles traditionnelles et aux usages du sol dans la région. Par exemple, certaines zones pourraient avoir été historiquement utilisées pour l'agriculture et la culture du cacaoyer, tandis que d'autres étaient conservées en tant que forêts ou laissées en jachères pour permettre la régénération naturelle du sol et de la végétation. Le type de sol pourrait être associé aux activités économiques dominantes dans la région. La culture du cacaoyer est une source économique importante dans le département, on pourrait s'attendre à une plus grande présence de SAFs dans les zones où les agriculteurs favorisent cette culture pour ses bénéfices économiques. La distribution des parcelles reflète les efforts de conservation et de gestion durable des ressources naturelles. Certains secteurs du département pourraient être désignés comme aires protégées, où la conservation de la forêt est priorisée, tandis que d'autres zones pourraient être identifiées pour des pratiques agricoles spécifiques, telles que la régénération des sols par des jachères. La répartition des parcelles peut être influencée par la participation et la collaboration des agriculteurs locaux dans l'étude, en ce sens que Certains agriculteurs délocalisés des forêts classées de la Besso et de l'Agbo et relocalisés ont été plus enclins à participer à la recherche sur les pratiques durables et l'agroforesterie.

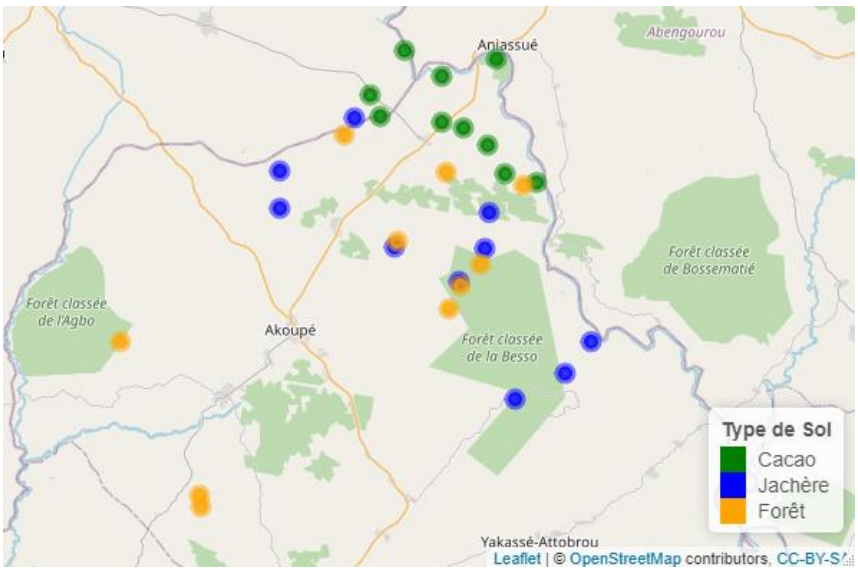


Fig. 3. Répartition des parcelles étudiées dans le département selon le type de sol, à l'aide de l'algorithme leaflet

4 DISCUSSION

La préservation de la fertilité des sols est une préoccupation majeure dans le contexte de l'agriculture durable. Les systèmes agroforestiers, les jachères et les forêts sont des modèles importants d'aménagement des terres qui peuvent influencer considérablement les propriétés du sol. Cette étude vise à analyser et comparer les concentrations en nutriments (azote, phosphore, potassium) dans ces trois systèmes. Nous avons également examiné les dépassements éventuels des seuils pertinents pour l'agriculture durable, ainsi que les facteurs qui peuvent influencer ces variations. Les résultats de l'étude révèlent des tendances intéressantes concernant les concentrations en nutriments dans les trois systèmes étudiés. En ce qui concerne l'azote, nous avons constaté une gestion globalement adéquate dans les forêts. A l'instar de nombreux travaux [13], [14] qui ont tous publié des travaux sur le rôle important de l'azote dans la croissance et le développement des plantes, les résultats obtenus indiquent une gestion efficace des apports en azote dans cet écosystème [15]. Ils ont montré que l'azote est un nutriment essentiel pour la synthèse des protéines, de la chlorophylle et d'enzymes essentielles à la photosynthèse.

L'azote est également impliqué dans la respiration des plantes, qui est le processus par lequel les plantes convertissent les nutriments en énergie. Une carence en azote peut entraîner une croissance ralentie, une coloration jaune des feuilles et une diminution du rendement des plantes. Une carence en azote peut également rendre les plantes plus sensibles aux maladies et aux insectes nuisibles [16]. Une fertilisation azotée appropriée est essentielle pour la croissance et le développement sains des plantes [17].

Pour ce qui est du potassium, nous avons constaté une gestion globalement adéquate dans les forêts, les agroforêts et les jachères. Aucune des parcelles n'a dépassé le seuil supérieur acceptable de 30 kg/ha en K. Ces résultats indiquent une gestion efficace des apports en azote dans ces écosystèmes, ce qui est bénéfique pour la biodiversité et la fertilité du sol. Ces constatations sont cohérentes avec les travaux antérieurs [18], [19], [20] qui ont également souligné l'importance d'une gestion appropriée de l'azote pour le maintien des écosystèmes forestiers et agroforestiers.

En revanche, des dépassements de seuils ont été observés pour l'azote, le phosphore et le potassium dans certaines parcelles d'agroforêts et de jachères. Ces dépassements peuvent être préoccupants car ils peuvent entraîner des risques de pollution environnementale et de dégradation du sol. Des études antérieures [21], [22] ont également signalé des excès de phosphore et de potassium dans les jachères, ce qui peut affecter la recolonisation de la végétation native. Ces auteurs ont montré que le phosphore joue un rôle important dans la croissance des racines, la floraison, la production et le mûrissement des fruits. Le taux de Phosphore (anhydride phosphorique P_2O_5) parait déjà relativement élevé. Il est donc inutile d'envisager apporter du phosphore, d'autant plus qu'une teneur excessive en cet élément risque de gêner l'assimilation du fer et du zinc, pour lesquels il peut y avoir blocage par antagonisme avec le phosphore. Une carence provoque l'étiolement de la racine et des tiges, ainsi qu'une décoloration des feuilles en mauve ou rouge.

Ces résultats soulignent l'importance de mettre en œuvre des pratiques de gestion appropriées pour éviter ces dépassements et préserver la fertilité du sol dans ces systèmes. L'analyse de variance (ANOVA) a également été réalisée pour évaluer les différences entre les systèmes en ce qui concerne les nutriments. Les résultats de l'ANOVA ont montré des différences non significatives entre les systèmes pour le pH, l'azote et le phosphore. Les résultats non significatifs de l'ANOVA pour le pH, l'azote et le phosphore peuvent être dus à la variabilité naturelle des sols [23], [24], à la taille de l'échantillon [25], [26], aux effets saisonniers ou environnementaux [27] et/ou à des pratiques agricoles [28] similaires entre les systèmes étudiés. Il est important de reconnaître ces facteurs lors de l'interprétation des résultats et de poursuivre les recherches pour mieux comprendre les interactions complexes qui influencent les propriétés du sol dans ces systèmes agricoles.

Cela suggère que les variations observées dans nos échantillons ne peuvent pas être attribuées à des différences significatives entre les systèmes, mais plutôt à des facteurs dues au hasard. Les résultats significatifs de l'ANOVA pour le potassium sont cohérents avec les travaux antérieurs menés dans des contextes similaires [29], [30] qui ont également noté une gestion efficace de l'azote dans les forêts; ce qui est essentiel pour soutenir la biodiversité et préserver la fertilité du sol. Cependant, l'excès de d'azote dans les agroforêts peut entraîner des risques de pollution environnementale.

5 IMPLICATIONS POUR L'AGRICULTURE DURABLE

Les résultats de cette étude ont des implications importantes pour l'agriculture durable. Ils soulignent l'importance de surveiller attentivement les niveaux de nutriments, en particulier le phosphore et le potassium, dans les agroforêts et les jachères afin de prévenir les risques de pollution et de garantir la viabilité à long terme de ces systèmes. Les pratiques de gestion agricole doivent être adaptées en fonction des caractéristiques spécifiques de chaque système pour préserver la santé du sol et la productivité agricole.

6 RECOMMANDATIONS

Suite à l'analyse approfondie des propriétés du sol dans le département d'Akoupé, nous pouvons formuler les recommandations suivantes concernant les choix culturels dans la région, pour assurer une agriculture durable dans le département d'Akoupé. Aussi, est-il

important de diversifier les cultures, de surveiller et de gérer attentivement les niveaux de nutriments dans le sol, de préserver les écosystèmes forestiers et de promouvoir l'utilisation de jachères. Ces recommandations visent à soutenir la productivité agricole tout en préservant l'environnement et la santé des sols à long terme.

7 CONCLUSION

L'étude fournit des informations essentielles sur les propriétés du sol dans trois systèmes d'aménagement des terres: les forêts, les agroforêts à base de cacaoyer et les jachères de plus de 10 ans. Les résultats indiquent une gestion adéquate de l'azote, du phosphore et du potassium dans les forêts. Des dépassements de seuils pour l'azote, le phosphore et le potassium ont été observés dans les agroforêts à base de cacaoyer, tandis que des dépassements de seuils pour l'azote dans les jachères. Ces résultats soulignent l'importance de mettre en œuvre des pratiques de gestion appropriées pour préserver la fertilité du sol dans les agroforêts à base de cacaoyer, et dans une moindre mesure dans les jachères.

Une approche équilibrée et durable de l'agriculture dans le département d'Akoupé est essentielle pour préserver la fertilité du sol, protéger l'environnement, soutenir les besoins alimentaires de la population locale et promouvoir une agriculture durable et respectueuse de l'environnement dans cette région. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour approfondir notre compréhension des mécanismes sous-jacents et des interactions complexes entre les différents facteurs environnementaux et agricoles. Cela permettra de mieux orienter les pratiques agricoles pour une gestion durable des terres. Les informations issues de l'analyse cartographique et statistique doivent être complétées par une étude plus approfondie sur le terrain et la prise en compte d'autres données contextuelles pour une compréhension complète de la répartition des parcelles dans le département.

CONTRIBUTIONS

Akotto OF et Kouamé KC ont conçu l'étude. Tous les auteurs ont contribué à l'analyse des données et à la révision du manuscrit, tandis qu'Akotto OF a rédigé le manuscrit.

DÉCLARATION D'ÉTHIQUE

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

REFERENCES

[1] IPCC, «Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge» *University Press,* In press, doi: 10.1017/9781009157896, 2021.

[2] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), International Fund for Agricultural Development (IFAD), United Nations Children's Fund (UNICEF), World Food Programme (WFP), & World Health Organization (WHO), «State of Food Security and Nutrition in the World 2019», *Rome: FAO,* 2019.

[3] FAO, Climate-Smart Agriculture Case Studies 2021: Projects from around the world«, *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO),* 2021.

[4] United Nations Environment Programme, «Guidance on Citations, Referencing and Style Guide for UN Environment Publications and Reports», *Retrieved from* https://wedocs.unep.org/20.500.11822/12197.

[5] A. Thomson, S. König, H. Bakhtary, and K. J. Young, «Developing Cocoa Agroforestry Systems in Ghana and Côte d'Ivoire. Climate Focus North America, Washington, DC, USA». https://climatefocus. com/sites/default/files/Developing%20Cocoa%20. Agroforesty%20Systems%20in%20Ghana%20 and%20Cote%20d%27Ivoire.pdf, 2019.

[6] M. Zhang, and J. Liu, «Does Agroforestry Correlate with the Sustainability of Agricultural Landscapes ? Evidence from China's Nationally Important Agricultural Heritage Systems», *Sustainability,* vol. 14 no.12, pp. 7239, 2022.

[7] A. Gassner, and P. Dobie eds, *Agroforestry: A primer. Design and management principles for people and the environment*. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR) and Nairobi: World Agroforestry (ICRAF), 2022.

[8] CDP, *CDP Technical Note: Relevance of Scope 3 Categories by Sector,* 2023, [Online] Available: https://cdn.cdp.net/cdpproduction/cms/guidance_docs/pdfs/000/003/504/original/CDP-technical-notescope-3-relevance-by-sector.pdf?1649687608.

[9] Z. G. Bai, D. L. Dent, L. Olsson, and M. E. Schaepman, *Global assessment of land degradation and improvement identification by remote sensing,* Wageningen: International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), 2008.

[10] B. T. A. Vroh, et Y. Koné, (2021). *Valeur écologique et produits de cueillette des plantations forestières de la Forêt classée de la Téné, VertigO* - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], vol. 21, no. 2, | octobre 2021, mis en ligne le 12 octobre 2021, consulté le 23 juillet 2023. URL: http://journals.openedition.org/vertigo/32783; DOI: https://doi.org/10.4000/vertigo.32783.

[11] O. F. Akotto, K. A. Alui, D. F. Malan, K. J. Kouakou, A. Yao-Kouamé, and K. Kagoyiré, «Soil landscape and stand conditions in *Cola attiensis* in Côte d'Ivoire». *International Journal of Biology,* vol. 4, no. 5, pp. 102-113, 2014.

[12] R, Core Team, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023. [Online] Available: https://www.R-project.org/.
[13] J. Zhu, «Nitrogen nutrition and plant growth: a review», *Journal of Integrative Plant Biology,* vol. 58, no. 10, pp. 941-952, 2016.
[14] Lewandowski, G., and Marschner, P., Nitrogen nutrition and plant development. In Plant nutrition and crop productivity, Cham, Springer, pp. 113-134, 2018.
[15] K. Fayaz, D. Singh, V. K. Singh, D. Bashir, and L. R. Kuller, «Effect of NPK on plant growth, flower quality and yield of gerbera (*Gerbera jamesonii*)», *Research in Environment and Life Sciences,* vol. 9, no. 11, pp. 1361-1363, 2016.
[16] Aremsungla, and S. E. Topno, «Effect of N, P, K on plant growth and flower yield of zinnia (*Zinnia elegans*) ». *The Pharma Innovation Journal,* vol. 11, no. 1, pp. 80-83, 2022.
[17] S. Ozukum, V. M. Prasad, and S. E. Topno, «Effect of NPK on plant growth, flower yield, and flower quality of star jasmine (*Jasminum nitidum*) cv. 'CO-1',» *The Pharma Innovation Journal,* vol. 11, no. 1, pp. 1423-1428, 2022.
[18] J. Pelletier, N. Gelinas, and C. Potvin, «Indigenous perspective to inform rights-based conservation in a protected T area of Panama,» *Land Use Policy,* pp. 297-307, 2019.
[19] J. K. Sahu, S. K. Tamrakar, A. Tiwari, and R. Lakpale, «Effect of nitrogen, phosphorus and potassium on growth and flowering of chrysanthemum (*Chrysanthemum morifolium*),» *The Pharma Innovation Journal,* vol. 10, no. 7, pp. 1289-1292, 2021.
[20] A. I. Osawe, «State and the Commodification of Natural Resources: A Framework of Analysis,» *African Journal of Stability & Development,* vol. 14, no. 1&2, pp. 182-205, 2022.
[21] M. A. Ndonda, Evaluations agronomiques des champignons mycorhiziens locaux sur la productivité du manioc (Manihot esculenta Crantz) en sols dégradés des jachères herbeuses à Kisangani/ R.D Congo. Université de Kisangani. 2018. Français. ffNNT: ff. fftel-02010741f, 2008.
[22] H. S. El-Beltagi, R. S. Nada, E. Mady, A. E. Ashmawi, E. A. Gashash, A. A. Elateeq, A. A. Suliman, N. A. Al-Harbi, S. M. Al-Qahtani, M. M. Zarad, and R. TO, «Effect of Organic and Bio-Fertilization on Fruit Yield, Bioactive Constituents, and Estragole Content in Fennel Fruits,» *Agronomy,* vol. 13, no. 5, pp.1189, 2023.
[23] Lemanceau, P. P., Mazurier, S., Pivato, S., and Avoscan, L., Compréhension et valorisation des interactions entre plantes et microorganismes telluriques: des enjeux majeurs en agroécologie, Les sols et la vie souterraine: des enjeux majeurs en agroécologie, Chapitre 10, QUAE, 328 p, 2017.
[24] Soro, N. C., Koné, B., and Soumaila, Y., *Effets de la dose et fractionnement de l'azote sur l'acidité d'un Histosol et le rendement en riziculture,* 2023. ESI Preprints. [Online] Available: https://doi.org/10.19044/esipreprint.2.2023.p1.
[25] J. M. Dorioz, A. Orand, E. Pilleboue, P. Blanc, M. Colon, et J. P. Bosse, «Prélèvement et échantillonnage dans les petits bassins-versants ruraux. Revue des sciences de l'eau,» *Journal of Water Science,* vol. 4, no. 2, pp. 211–238, 1991.
[26] J. C. Gégout, et B. Jabiol, «Analyses de sol en forêt: les choix du phytoécologue dans le cadre des typologies de stations ou des études scientifiques,». *Revue forestière française,* vol. 53, no 5, pp. 568-580, 2001.
[27] C. S. Dekoula, B. Kouamé, E. K. N'goran, F. G. Yao, J.-N. Ehounou, et N. Soro, «Impact de la variabilité pluviométrique sur la saison culturale dans la zone de production cotonnière en Côte d'Ivoire,» *European Scientific Journal, ESJ,* vol. 14, no. 12, pp. 143, 2018.
[28] L. F. E. Assemien, Impact de pratiques agricoles conventionnelles et innovantes sur la fertilité des sols et les acteurs microbiens impliqués dans la zone de savanes humides de Côte d'Ivoire, Université de Lyon, Université Nangui Abrogoua (Abidjan). Français. ffNNT: 2018LYSE1103ff. fftel-01896147, 2018.
[29] C. Nguemezi, P. Tematio, M. Yemefack, D. Tsozue, and T. B. F. Silatsa, «Soil quality and soil fertility status in major soil groups at the Tombel area, South-West Cameroon,» *Heliyon,* vol. 6, no. 2, e03432, pp. 10, 2020.
[30] S. Rodelo-Torrente, A. C. Torregroza-Espinosa, M. Pallares, P. D. Osorio, C. A. Paternina, and A. Echeverría-González, «Soil fertility in agricultural production units of tropical areas,» *Global J. Environ. Sci. Manage,* vol. 8, no. 3, pp. 403-418, 2022.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1113-1120
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Efficacité de quatre insecticides d'origine végétale dans la gestion des dégâts du criquet puant (*Zonocerus variegatus* Linné) sur la culture de manioc

[Effectiveness of four plant-based insecticides in managing damage caused by the stink locust (*Zonocerus variegatus* Linné) on cassava crops]

Laurent Kikeba Mbala[1], Gilbert Pululu Mfwidi Nitu[2], Antoine Mumba Djamba[3], Ovide Yobila Nuambote[4], Willy Bitwisila Lusundji[5], Idi Eca Idrissa[6], and Théodore Ndungi Vangu[7]

[1]Université Loyola du Congo, Kinshasa, RD Congo

[2]Institut Supérieur Pédagogique de la Gombe, Kinshasa, RD Congo

[3]Université Pédagogique Nationale, Kinshasa, RD Congo

[4]Université Kongo, Kongo Central, RD Congo

[5]Chercheur indépendant, Kinshasa, RD Congo

[6]Université Espoir du Congo, Sud-Kivu, RD Congo

[7]Chercheur indépendant, Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Since 2015, the stink locust (*Zonocerus variegatus)* population has been proliferating in the Mawanga sector, in the territory of Kasongo Lunda, an administrative entity in the province of Kwango in the Democratic Republic of Congo. This insect ravages food crops and fruit trees, devouring their leaves and bark and causing the host plant to wither. To assess the insecticidal action of four total extracts based on *Nicotiana tabacum, Tephrosia vogelii, Zingiber officinale* and *Capsicum frutescens* on the stink locust, a field trial involving a cassava crop was set up between November 2020 and December 2021 in the Emmaüs village in the Mawanga sector, Kasongo Lunda territory, in the Democratic Republic of Congo. Tobacco and ginger showed the lowest incidence and severity of locust damage. For the latter parameter, their performance was equal to that of deltamethrin. These two plant species showed potential for use in the manufacture of biopesticides to help farmers control the locust.

KEYWORDS: Biopesticides, plant extracts, incidence, severity, Zonocerus variegatus, cassava, DRC.

RESUME: Depuis 2015, la population de criquet puant (*Zonocerus variegatus*) prolifère dans le secteur de Mawanga, territoire de Kasongo Lunda, entité administrative de la province de Kwango en République Démocratique du Congo. Cet insecte ravage les cultures vivrières et les arbres fruitiers, dont il dévore feuilles et écorce provoquant ainsi le dépérissement de la plante hôte. Pour apprécier l'action insecticide de quatre extraits totaux à base de *Nicotiana tabacum, Tephrosia vogelii, Zingiber officinale* et *Capsicum frutescens* sur le criquet puant, un essai en plein champ portant sur une culture de manioc a été installé entre novembre 2020 et décembre 2021 au village Emmaüs dans le secteur de Mawanga, territoire de Kasongo Lunda, en République Démocratique du Congo. Les produits fabriqués avec le tabac ou le gingembre ont déterminé le niveau d'incidence et de sévérité les plus faibles des dégâts du criquet puant. Pour ce dernier paramètre, ils ont manifesté une performance égale

Corresponding Author: Laurent Kikeba Mbala

à celle de deltaméthrine. Ces deux espèces végétales ont démontré des potentialités susceptibles d'être valorisées dans la fabrication des biopesticides au profit des agriculteurs pour lutter contre le criquet puant.

MOTS-CLEFS: Biopesticides, extraits végétaux, Incidence, sévérité, *Zonocerus variegatus,* manioc, RDC.

1 INTRODUCTION

Depuis 2015, le criquet puant (*Zonocerus variegatus* L.) cause des dégâts et pertes importants sur les principales cultures vivrières, notamment le manioc, le maïs en République Démocratique du Congo, au Kwango particulièrement dans les territoires de Feshi, Kenge et Kasongo Lunda.

Les premiers ravages importants ont touché le secteur de Mawanga en territoire de Kasongo Lunda. Au total, 26. 000 hectares emblavés de manioc, de maïs et d'arbres fruitiers ont été ravagés. La présence du ravageur a été signalée aussi dans les secteurs/chefferies voisins, en l'occurrence Mosamba et Pelende Nord dans le territoire de Kenge.

Les dégâts enregistrés risquent d'impacter négativement la sécurité alimentaire, les faibles revenus des populations rurales du Kwango réputées parmi les plus pauvres de la RDC d'une part, d'affecter l'approvisionnement en denrées alimentaires des agglomérations urbaines des provinces voisines et plus particulièrement Kinshasa d'autre part.

Le criquet puant affecte également les cultures en Ituri, au Nord Kivu et à la Tshopo. En Ituri, plus précisément dans le territoire d'Aru, l'ampleur des dégâts causés par le criquet puant atteint environ 60 % des pertes des cultures. Selon les spéculations, elles varient entre 20 et 85 % pour le manioc, le maïs, le chou, l'aubergine, le piment et le caféier, 90 % pour le haricot et le soja [1].

Le criquet puant représente une menace réelle pour l'agriculture de la province de la Tshopo notamment à Kisangani où son invasion n'épargne aucune culture. Les dégâts qu'il y cause sont considérables [2], [3]. Il est incriminé comme principal ravageur de culture de manioc dans la plaine de Ruzizi au Sud Kivu [4], [5].

Plusieurs méthodes existent pour gérer le criquet puant. La plus connue est la lutte chimique utilisant les insecticides synthétiques dont les coûts sont prohibitifs pour l'exploitant agricole et leur disponibilité faible en milieu rural. Ils polluent l'environnement, éliminent les prédateurs et/ou les parasitoïdes.

C'est le cas de *Epidinocarsis lopezi,* ennemi naturel de la cochenille farineuse du manioc (*Phenacoccus manihoti)* dont les populations ont été fortement réduites par la pulvérisation des insecticides chimiques utilisés contre ce ravageur. Cette situation a entraîné une résurgence de ce ravageur et posé plus de problème que le criquet puant lui-même [6].

Pour contenir les dégâts infligés par le criquet puant à la manioculture, spéculation stratégique sur le plan de la sécurité alimentaire en RDC, faute d'alternatives efficaces actuellement connues par les services de vulgarisation agricole et les agriculteurs pour combattre ce ravageur, le besoin d'innovations adaptées s'impose.

Pour éviter que l'utilisation des pesticides chimiques ne s'impose comme principale solution efficace contre le criquet puant, il s'avère nécessaire de développer des alternatives avec peu ou sans conséquences néfastes sur la santé des écosystèmes, des producteurs et des consommateurs et qui peuvent devenir accessibles à un plus grand nombre d'exploitants agricoles.

De nombreuses espèces végétales contiennent dans certaines de leurs organes, des molécules dotées des propriétés susceptibles de valorisation dans la lutte contre certains arthropodes et bioagresseurs des cultures.

C'est le cas du tabac contre les chenilles, les coléoptères, les foreurs, les mineuses des feuilles, les pucerons, les thrips; du piment pour la teigne des crucifères, le doryphore de la pomme de terre, les cochenilles, les chenilles légionnaires d'automne, le charançon du haricot; du gingembre qui présente une action insectifuge, insecticide contre notamment la noctuelle de la tomate, les pucerons et les thrips et du *Tephrosia vogelii* qui manifeste des propriétés anti-appétantes, insecticide, acaricide, ovicide contre les criquets, les tétranyques à deux points, les foreurs du maïs, l'altise et les termites [7], [8].

L'efficacité des biopesticides dans les conditions de laboratoire ne se vérifie pas exactement de la même manière dans la situation en plein champ.

Quatre biopesticides ayant donné des résultats prometteurs au niveau du laboratoire ont été testés sur une culture de manioc pour mesurer leur capacité de limitation des dégâts infligés par les criquets puants.

Cette étude vérifie les effets biocides des formulations aqueuses de trois espèces végétales (tabac, tephrosia, piment) et d'une formulation alcoolique d'une autre espèce végétale (gingembre) sur le criquet puant dans les conditions de plein champ.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATERIELS

Les matériels suivants ont été utilisés dans la réalisation de cette recherche:

MATÉRIEL VÉGÉTAL

- La variété locale de manioc Mbuma a été installée comme culture sur laquelle les effets biocides des extraits totaux à base de *Nicotiana tabacum, Tephrosia vogelii, Zingiber officinale et Capsicum frutescens* ont été testés.
- Les plantes utilisées dans les formulations des biopesticides éprouvés ont été choisies selon les critères suivants: la faible toxicité ou innocuité sur les humains, les animaux et autres insectes utiles; la pollution réduite des écosystèmes locaux; la disponibilité de ces espèces dans la zone d'étude; l'accessibilité économique (faible coût) des producteurs à ces espèces; la possibilité d'intégration dans les systèmes de culture pour la valorisation de ces espèces dans la zone d'étude; les utilisations complémentaires de ces espèces dans la culture alimentaire, thérapeutique ou autres dans la zone d'étude.

MATÉRIEL NON VÉGÉTAL

Il s'est agi de: une corde pour la délimitation des parcelles d'essais; un décamètre pour mesurer les parcelles des essais; un GPS pour prélever les coordonnées géographiques des sites d'essais; des piquets pour délimiter les essais; un stylo et un carnet pour enregistrer les données prélevées; un ordinateur pour la saisie et l'analyse des données.

MATÉRIEL ANIMAL

Les larves de stade 4 à 6 ont été utilisés.

AUTRES MATÉRIELS

Il s'agit des boîtes en plastique de 3500 cm^3 pour le transport des larves de criquet puant, une balance de précision pour la pesée de différents ingrédients destinés à la fabrication des biopesticides, un mortier et un pilon pour piler les ingrédients, de petits seaux de 3 litres, des linges propres pour le filtrage, l'eau de source, de l'alcool éthylique à 96 %, du savon doux, 4 pulvérisateurs de 16 litres pour épandre les biopesticides.

2.2 MILIEU ET PERIODE D'EXPERIMENTATION

L'essai a été conduit de décembre 2020 à novembre 2021 dans la province du Kwango, en territoire de Kasongo Lunda, secteur de Mawanga au village Emmaüs (06°14'36,7"LS; 017° 22'57,4" LO et 979 m d'altitude) situé à 9 kilomètres de la cité de Mawanga.

Le climat du secteur de Mawanga est de type Aw3 selon la classification de Koppen. C'est un climat humide avec une température du mois le plus froid supérieur à 18° C (juin) et dont les pluies s'arrêtent pendant la saison sèche; celle-ci compte 3 mois, de mi-mai à mi-aout. La saison de pluies dure 9 mois et connait deux pics pluviométriques en novembre et en mars.

2.3 METHODES

2.3.1 DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le dispositif complet randomisé avec six traitements répétés quatre fois a été utilisé.

La fig. 1 montre le schéma expérimental relatif au dispositif d'essai concernant cette étude.

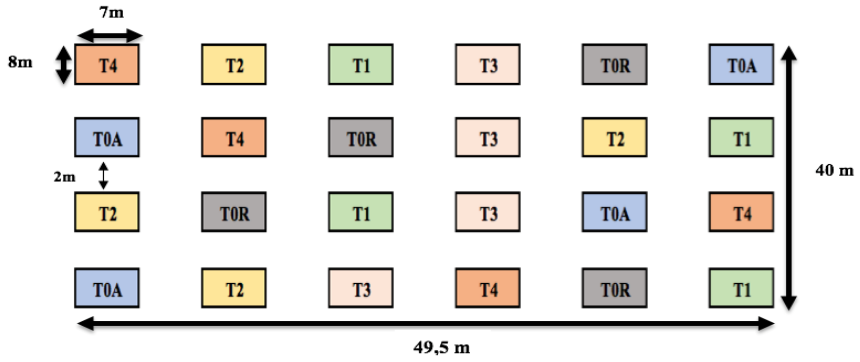


Fig. 1. Le schéma expérimental

Légende: T0A: aucun produit pulvérisé (témoin absolu); T0R: Deltamethrine (témoin relatif); T1: Tephrosia; T2: Piment; T3: gingembre; T4: Tabac.

2.3.2 PREPARATION DES PRODUITS

➢ **Préparation d'une formulation alcoolique à base de *Zingiber officinale***

- Nettoyer les rhizomes de gingembre, peser et piler pour obtenir la quantité de 1 200 g;
- Macérer 1 200 g pendant 24 heures dans 6 litres d'alcool 96 % (solution 1);
- Préparer de l'eau savonneuse en diluant 12 g dans 6 litres d'eau (solution 2);
- Diluer la solution (1) filtrée dans 6 litres de la (solution 2) pour obtenir la (solution 3).

➢ **Préparation des formulations aqueuses à base de *Tephrosia* ou de tabac**

- Peser et piler les feuilles de Tephrosia et tabac *pour* obtenir les quantités de 1200 g;
- Peser, piler et tamiser les feuilles sèches de *Nicotiana tabacum ou humides de Tephrosia vogelii* pour obtenir les quantités 1200 g de chaque produit;
- Macérer 1200 g de chacun des ingrédients dilués pendant 24 heures dans 6 litres d'eau (solution 1);
- Préparation de l'eau savonneuse comme procédé pour le premier produit (solution 2);
- Dilution de chaque solution filtrée dans 1000 ml d'eau savonneuse (solution 3).

➢ **Préparation d'une formulation aqueuse à base de piment**

- Peser et piler le piment *pour* obtenir la quantité de 1200 g;
- Chauffer 1200 g de piment dilués dans 6 litres d'eau pendant 15 minutes après ébullition (solution 1);
- Laisser refroidir pendant 30 minutes et filtrer avec un linge propre;
- Préparation de l'eau savonneuse comme procédé pour le premier produit (solution 2);
- Dilution de la solution filtrée dans 6 litres d'eau savonneuse (solution 3).

2.3.3 CONDUITE DE L'ESSAI

- La préparation du sol a consisté en un défrichement suivi d'un labour et d'une confection de buttes effectués avec la houe.
- La plantation des boutures de manioc a été faite manuellement en début de saison des pluies aux écartements de 1 x 1m, soit 72 emplacements par parcelle de 9 x 8 m et avec 2 boutures par emplacements à une profondeur d'environ 20 cm.
- L'entretien des essais a été réalisée par 2 sarclages intervenus 6 semaines et 4 mois après la plantation.
- L'infestation artificielle des insectes (stade larvaire 4 à 6) s'est réalisée en lâchant 42 insectes au milieu de chaque parcelle.

TECHNIQUES DE PULVÉRISATION:

- 12 litres de chaque type de formulation ont été pulvérisés sur les quatre parcelles (288 m^2) correspondantes au traitement en tenant compte du dispositif expérimental;
- Les produits ont été pulvérisés directement sur les insectes, à la tombée de la nuit, une première fois, après le lâcher et répétées après 2 jours.

2.3.4 VARIABLES OBSERVEES

Les variables incidence et sévérité des attaques du criquet puant ont été mesurées hebdomadairement pendant 1 mois.

- Incidence: outre les plants de bordure, le nombre de pieds portant des symptômes d'attaques ont été comptées sur 12 plants d'observation choisis au hasard. L'incidence a été évaluée en calculant le quotient du nombre de plants endommagés sur le total des plants.
- Sévérité: excluant les plants de bordure, les feuilles endommagées ont été comptées sur 12 plants d'observation choisis au hasard. La sévérité a été obtenue par le calcul du quotient entre le nombre de feuilles endommagées et le nombre total des feuilles.

2.3.5 ECHELLE DE COTATION

Le tableau 1 expose l'échelle de cotation appliquée à l'évaluation de la sévérité.

Tableau 1. Echelle de cotation de la sévérité

Cotation	Description des dégâts
1	Pas de dégâts
2	% faible des feuilles (> 0 ≤ 10 %) avec lésions faibles
3	% moyen des feuilles (> 10 ≤ 20 %) avec lésions faibles
4	% grave des feuilles (> 20 ≤ 30 %) avec lésions faibles
5	% faible des feuilles (> 30 ≤ 40 %) avec lésions moyennes
6	% moyen des feuilles (> 40 ≤ 50 %) avec lésions moyennes
7	% grave des feuilles (> 50 ≤ 60 %) avec lésions moyennes
8	% faible des feuilles (> 60 ≤ 70 %) avec lésions graves
9	% moyen des feuilles (> 70 ≤ 80 %) avec lésions graves
10	Plus de 80 % des feuilles avec lésions graves

FRÉQUENCE DE COLLECTE DES DONNÉES

Les données relatives aux deux paramètres ont été prélevées tous les 7 jours pendant 1 mois. La deuxième collecte des données a été réalisée 9 jours après la deuxième pulvérisation.

2.3.6 ANALYSE DES DONNEES

Les données ont été saisies à l'aide du tableur Microsoft Excel 2019. L'analyse des données a été réalisée à l'aide du logiciel R en recourant aux packages MASS et lme4, car, lsmeans, multcomp et multcompView pour le GLM, le test d'Anova et le test de Tukey pour la comparaison par paire des moyennes.

3 RESULTATS

3.1 INCIDENCE DES ATTAQUES DES CRIQUETS PUANTS

Le tableau 2 expose l'incidence des attaques des criquets puants.

Tableau 2. Incidence des ravages des criquets puants

Traitements	0 semaine*	1 semaine	2 semaines	3 semaines	4 semaines
Deltamethrine	04,4±0,0310[a]	04,4±0,031[a]	04,4±0,0310[a]	04,4±0,0310[a]	04,4±0,0310[a]
Tabac	08,3±0,0368[ab]	08,3±0,036[a]	16,7±0,0591[a]	16,7±0,0591[a]	16,7±0,0591[a]
Gingembre	06,5±0,710[a]	06,5±0,710[a]	19,6±0,0429[a]	19,6±0,0429[a]	19,6±0,0222[a]
Tephrosia	06,7±0,0403[a]	77,8±0,040[b]	93,3±0,0544[b]	97,8±0,5436[b]	97,8±0,0543[b]
Piment	33,3±0,3176[b]	66,7±0,710[b]	91,1±0,0000[b]	91,1±0,0000[b]	97,8±0,0227[b]
Témoin	04,6±0,0376[a]	68,2±0,062[b]	100±0,0376[b]	100±0,2222[b]	97,7±0,2222[b]
P-value	*0,0005543*	*$2,2^{e}$-16*	*$2,2^{e}$-16*	*$2,2^{e}$-16*	*$2,2^{e}$-16*

**0 semaine rend compte de l'incidence observée 2 jours après la première pulvérisation et donc avant la deuxième pulvérisation.*

L'examen des résultats consignés dans le tableau 2 sur l'incidence des attaques des criquets puants renseigne que les p-valeur calculés étant toutes largement inférieures à 0,05, nous concluons à l'existence d'une différence significative entre les traitements testés. Pendant les quatre semaines d'observation, la comparaison deux à deux des traitements ne dégage aucune différence significative entre le deltamethrine, le tabac et le gingembre. Il en est de même pour *Tephrosia,* le piment et le témoin. Par contre, les trois éléments du premier groupe comparés à ceux du deuxième ressortent tous une différence significative.

3.1.1 SEVERITE

Le tableau 3 rapporte sur la sévérité d'attaques des criquets puants.

Tableau 3. Degré d'attaque des criquets puants

Traitements	Semaine 0	Semaine1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4
Deltamethrine	2.0±0.00[a]	2.0±0.00[a]	2.0±0.00[a]	2.0±0.00[a]	2.0±0.00[a]
Tabac	2.0±0.00[a]	2.0±0.00[a]	2.0±0.02[a]	2.0±0.00[a]	2.0±0.00[a]
Gingembre	2.0±0.00[a]	2.0±0.00[a]	2.0±0.00[a]	2.0±0.00[a]	2.0±0.00[a]
Tephrosia	2.0±0.00[a]	3±0.06[b]	3.0±0.03[b]	3.0±0.00[b]	3.0±0.00[b]
Piment	2±0.07[b]	3±0.07[b]	3.0±0.00[b]	3.0±0.03[b]	3.0±0.00[b]
Témoin	2±0.00[a]	3±0.07[b]	3.0±0.00[b]	3.0±0.00[b]	3±0.07[b]
P-value	*$2,2^{e}$-16*	*$2,2^{e}$-16*	*$2,2^{e}$-16*	*2.2^{e}-16*	*$2,2^{e}$-16*

Les différents types de pesticides testés ont influencé la sévérité des dégâts des criquets puants sur les plants de manioc. En effet, les p-valeur de différents traitements repris dans le tableau sont inférieures à 0,001 pendant toutes les 4 semaines d'observation.

Le test de Turkey permettant la comparaison deux à deux des résultats des traitements révèle qu'ils n'existent pas de différence statistique significative entre l'incidence consécutive à l'application du tabac, du gingembre et du deltaméthrine. Il en est de même pour le piment, *Tephrosia* et le témoin. Pourtant la sévérité entre ces deux grands groupes présente une différence significative. Il ressort de cette analyse que l'utilisation du tabac et du gingembre peut donc contribuer à la réduction des dégâts du criquet puant sur le manioc.

4 DISCUSSION

INCIDENCE

Les parcelles traitées avec les produits préparés à base de *Tephrosia,* de piment et celle non traitée ont montré un nombre plus important des plantes présentant les signes d'attaques des criquets puants. Les deux premières présentent une incidence identique de 97,8 % et celle du témoin est évaluée à 97,7 %.

C'est le tabac et le gingembre qui ont permis une faible incidence respective de 16,7 % et 19,6 %.

L'efficacité de ces deux derniers produits se sont confirmés dans le nombre plus élevé d'insectes morts observés dans les parcelles traitées. Cette constatation confirme encore l'action par contact de ces produits. C'est donc la réduction de l'effectif des insectes lâchés qui aurait entraîné cette modération des effets dus aux attaques.

La téphrosine et de la roténone contenues dans le *Tephrosia* et les flavonoïdes, les triterpènes, stéroïdes et les saponosides du piment se sont avérés de faible efficacité. Cette situation s'explique par une très faible mortalité des criquets puants dans les parcelles traitées avec ces produits.

Les propriétés biocides du gingembre seraient expliquées par la présence des flavonoïdes et polyphénols totaux; Les composés serquiterpéniques, monoterpéniques, phénoliques, les coumarines, les flavonoïdes, les tanins seraient responsables de cette action pour le gingembre [8], [9]. Tandis que pour le tabac, cette activité serait attribuée aux flavonoïdes (rutosides), coumarines, alcaloïdes (nicotine) concentrés au niveau des feuilles [10]. L'action insectifuge ou insecticide du genre Nicotiana réside dans la présence de la nicotine, alcaloïde présent dans tous les tissus de la plante sauf dans les graines [11].

SÉVÉRITÉ

Les parcelles traitées avec les produits contenant du piment et Tephrosia ont enregistré la note 3 sur l'échelle de cotation de 10 concernant la sévérité, à savoir: un pourcentage moyen des feuilles avec lésions faibles supérieur à 10 % et inférieur ou égale à 20 %. Celles sur lesquelles ont été testés des biopesticides à base de tabac et de gingembre ont présenté une faible sévérité d'attaque des criquets puants, soit un pourcentage moyen des feuilles avec lésions faibles supérieur à 0 % et inférieur ou égale à 10 %.

Cette situation s'expliquerait par les mêmes raisons que pour l'incidence. En effet, la composition phytochimique du tabac et du gingembre serait responsable des propriétés létales de ces biopesticides.

Les mortalités provoquées par leur application auraient permis la réduction du nombre de criquets lâchés et diminuant ainsi la sévérité des attaques.

5 CONCLUSION

Cette étude cherchait à vérifier le niveau d'efficacité des produits préparés à base de piment, *Tephrosia,* gingembre et tabac sur le contrôle des dégâts du criquet puant en plein champ de manioc.

Pour les deux paramètres étudiés, le tabac et le gingembre ont déterminé le niveau d'incidence et de sévérité les plus faibles. Pour ce dernier paramètre, ils ont manifesté une performance égale à celle de deltaméthrine. Ils démontrent des potentialités susceptibles d'être valorisées dans la fabrication des biopesticides au profit des agriculteurs pour lutter contre le criquet puant. Néanmoins, une étude sur l'optimisation des fréquences des pulvérisations permettrait d'évaluer la persistance d'action de différents produits et d'améliorer la gestion des dégâts et des pertes causées par les criquets puants sur la culture de manioc.

REMERCIEMENTS

Nous remercions la Délégation de l'Union Européenne en RDC par l'entremise de ISCO pour l'appui financier et logistique qui a permis la réalisation de cette étude.

REFERENCES

[1] FAO, Production locale de bio pesticide en appui aux agriculteurs sinistrés par les criquets en République Démocratique du Congo, 2016. [En ligne] sur www.fao.org (03/04/2022).

[2] Mondivudri A. E., *Zonocerus variegatus* (Linné 1758, orthoptera pyrgomorphidae) et ses parasitoides (hymenoptera) dans la ville de Kisangani et ses environs (Kisangani, RD Congo), TFE, UNIKIS, 33p, 2015.

[3] Bakondongama B., Mubenga K., Mondivudri A., Ngabu C., Mpiana P. T., Kosele K., et Juakaly M., «Zonocerus variegatus (Linné 1758, Orthoptera: Pyrgomorphidae) et ses parasitoïdes (Hyménoptères) dans la ville de Kisangani, RDC » In: International Journal of Innovation and Scientific Research ISSN 2351-8014 Vol. 32 No. 1, pp. 64-74, 2017.

[4] Modder W.W. D., «Control on the variegated grasshopper *Zonocerus variegtus* on cassava», African crop Science Journal. Vol.2. N ° 4, 391- 406, 1994.

[5] Stoll G.: *Protection naturelle des végétaux en zones tropicales, vers une dynamique de l'information* (deuxième édition revue et augmentée), édit. Margraf verlag, Weikersheim, 386p, 2002.
[6] Ministère de la santé: *Pharmacopée traditionnelle de la République Démocratique du Congo,* Science et Tradition (première édition), Kinshasa, 334p., 2009.
[7] Foine A., Les Zingiberaceae en phytotherapie: l'exemple du gingembre, thèse de doctorat, Université de Lille 2, Lille, 149p., 2017.
[8] Van Leer: Agriculture en Afrique tropicale, Bruxelles, 1634p., 2001.
[9] Kambu K.: Apport des plantes médicinales africaines à la thérapie moderne, Kinshasa, CRP, 138p., 1990.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1121-1130
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Domestication préliminaire et intégration dans un système agroforestier de quelques plantes alimentaires, médicinales, héliophiles et sciaphiles

[Preliminary domestication and integration into an agroforestry system of a number of local food, medicinal, heliophilous and sciaphilous plants]

Blaise MATONDO NKAU[1], Pélagie MBANDU LUZOLAWO[2], Gilbert PULULU MFWIDI NITU[2], Antoine MUMBA DJAMBA[3], and Laurent KIKEBA MBALA[1]

[1]Université Loyola du Congo, Kinshasa, RD Congo

[2]Institut Supérieur Pédagogique de la Gombe, Kinshasa, RD Congo

[3]Université Pédagogique Nationale, Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2023 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 elders ate and treated themselves with native plant species, some of which have not been domesticated and others are now experiencing the beginning of domestication. To avoid their extinction on the one hand and to enrich the range of cultivable plant species on the other, we have opted to conduct a preliminary trial of domestication of leafy vegetables and fruits. The retained parameters for the experiment were the emergence of the seedlings, the growth in both thickness and length, the plant movements, the effect of illumination on the species, the flowering and the developmental cycles as well as the setting in place of the tested species in agroforestry. From this study it appears that the seedling emergence differs between species, the growth in thickness correlates positively with the final species size, and the twining and tendril plants excel in terms of growth in length. The study of the illumination effect has made possible to categorize these species into heliophilous, sciaphilous and indifferent plants. As far as flowering is concerned, a distinction is made between annual and perennial plants in this batch. Finally, sciaphilous plants have integrated the agroforestry system by making them evolve under woody species with multiple uses.

KEYWORDS: Agroforestry, domestication, local plant species, light, emergence, growth, flowering.

RESUME: Les anciens se nourrissaient et se soignaient avec des espèces végétales autochtones, dont certaines n'ont pas été domestiquées et d'autres connaissent aujourd'hui un début de domestication. Pour éviter leur raréfaction, d'une part, et enrichir la gamme des espèces végétales cultivables, d'autre part, nous avons opté de mener un essai préliminaire de domestication des plantes consommées comme légumes feuilles et fruits. Les paramètres retenus pour l'expérimentation étaient la levée des plantules, la croissance en épaisseur et en longueur, les mouvements des plantes, l'effet de l'éclairement sur les espèces, la floraison et les cycles de développement, ainsi que la mise en place des espèces expérimentées en agroforesterie. Il ressort de cette étude que la levée des plantules diffère entre les espèces, la croissance en épaisseur évolue en corrélation positive avec la taille définitive de l'espèce, et que les plantes volubiles et à vrilles excellent en termes de croissance en longueur. L'étude de l'effet de l'éclairement sur ces espèces a permis de les catégoriser en plantes héliophiles, sciaphiles et indifférentes. En ce qui concerne la floraison, on distingue dans ce lot des plantes annuelles et pluriannuelles. Enfin, les plantes sciaphiles ont intégré le système agroforestier en les faisant évoluer sous les espèces ligneuses à multiples usages.

MOTS-CLEFS: Agroforesterie, domestication, espèces de plantes locales, éclairement, levée, croissance, floraison.

Corresponding Author: Blaise MATONDO NKAU

1 INTRODUCTION

Les grandes cultures en République Démocratique du Congo (RDC) sont d'origine lointaine, comme c'est le cas de l'arachide, du bananier, du manioc, du maïs, de la patate douce et du riz, notamment. Quelques rares spéculations originaires du bassin du Congo qui ont suscité l'intérêt du colonisateur, ont été domestiquées, dont les principales sont le palmier à huile (*Elaeis guineensis* Jacq.), les caféiers arabica (*Coffea arabica* L.) et robusta (*Coffea canephora* Pierre). Certaines plantes alimentaires endémiques, et en particulier les plantes fruitières, connaissent un début de domestication. C'est le cas du colatier, d'autres étant encore à l'état sauvage et faisant partie des produits forestiers non ligneux (PFNL).

Environ 7.000 espèces ont connu un début de domestication, 2.500 ont subi un certain degré de domestication et seulement 250 sont domestiquées. Les plantes domestiquées sont réparties dans plus de 160 familles botaniques, dont les plus représentées sont celles des *Brassicaceae, Fabaceae, Poaceae* et des *Rosaceae*. Parmi ces espèces domestiquées, une trentaine couvre les besoins alimentaires de l'humanité [1].

La domestication est un processus par lequel l'homme parvient à cultiver la plante dans le but d'éviter sa disparition et de permettre un accès facile. Elle permet le décollage du développement, ouvrant ainsi la voie au maintien de la production végétale. C'est la voie la plus indiquée pour arrêter l'érosion de la biodiversité.

La préservation de la biodiversité des espèces végétales alimentaires et médicinales encore sauvage doit passer leur domestication. C'est dans ce cadre que des essais préliminaires ont été menés en vue de consolider leurs itinéraires techniques et les introduire dans le système agroforestier. Il s'agit des espèces suivantes: *Aframomum melegueta* (Roscoe) K. Schum., *Capsicum frutescens* L*., Landolphia parvifolia* K. Schum., *Maesobotrya floribunda* Benth., *Mondia whitei* (Hook. f.) Skeels, *Passiflora foetida* L. et *Piper nigrum* L.

2 MILIEU D'ETUDE

L'essai a été conduit au sein de la Communauté des Religieux de la Congrégation du Saint Sacrement, située au quartier Ngomba Kikusa dans la commune de Ngaliema, en ville province de Kinshasa, en R.D.C. Les coordonnées GPS de ce site sont: 4 °21' 42 " latitude Sud et 15° 13' 06 " Est.

3 MATERIEL

3.1 ESPÈCES EXPÉRIMENTÉES

Sept espèces végétales sauvages alimentaires et médicinales, *Aframomum melegueta, Capsicum frutescens, Landolphia parvifolia, Maesobotrya floribunda, Mondia whitei, Passiflora foetida* et *Piper nigrum,* exploitées par la population locale comme légumes feuilles et fruits, ont été retenues pour mener les études préliminaires de domestication. Toutes ces espèces, dont les semences ont été achetées dans trois provinces (Kinshasa, Kongo central et Kwilu) ont été multipliées par voie générative. Le tableau 1 regroupe les noms scientifiques et vernaculaires ainsi que les familles des espèces éprouvées.

Tableau 1. Noms scientifiques, noms vernaculaires et familles des espèces expérimentées

NOMS		FAMILLES
Scientifiques	**Vernaculaires**	
Aframomum melegueta (Roscoe) K. Schum.	Mundongo (lingala), ndungu zi nzo (kikongo) Maniguette piquante (français)	*Zingiberaceae*
Capsicum frutescens L.	Matubulu (kikongo) Pilipili (lingala) Piment (français)	*Solanaceae*
Landolphia parvifolia K. Schum.	Mansona (kikongo)	*Apocynaceae*,
Maesobotrya floribunda Benth.	Mansiesi (kikongo) Raisin du Congo (français)	*Phyllanthaceae*
Mondia whiteï (Hook. f.) Skeels	Kimbiolongo, n'londo (kikongo)	*Apocynaceae*,
Passiflora foetida L.	Nkeni zi bigala (kikongo) Passiflore fétide (français)	*Passifloraceae*
Piper nigrum L.	Kapidi (kikongo) Poivre noir (français)	*Piperaceae*

3.1.1 *AFRAMOMUM MELEGUETA* (ROSCOE) K. SCHUM.

Herbe sciaphile, pérenne à rhizome de 2-3 mm de diamètre, portant des écailles papyracées et brunes; tige feuillée de jusqu'à 2 m de hauteur; feuilles sessiles à subsessiles; fruits de forme ovoïde et de couleur marron foncé, contenant de nombreuses petites graines piquantes qui sont utilisées comme succédané du poivre. Elle se multiplie par voie générative et végétative par le rhizome, et fructifie trois ans après le semis. Les graines sont utilisées en médecine traditionnelle, dans le traitement de diverses affections humaines [2], [3].

3.1.2 CAPSICUM FRUTESCENS L.

Arbrisseau vivace, sauvage de 1 à 1,20 m de hauteur, avec feuilles simples, alternes et largement lancéolées à ovales. Il est exploité pour ses petits fruits ronds à saveur particulièrement piquante. Dans son étude sur la révision taxonomique de la famille des *Solanaceae* d'Afrique centrale, [4] a regroupé les espèces *Capsicum frutescens, C. annuum* et *C. chinense* en une seule, il s'agit de *Capsicum frutescens*.

3.1.3 LANDOLPHIA PARVIFOLIA K. SCHUM.

Arbrisseau de savane (héliophile), grimpant, d'environ 4m de haut, à feuilles persistantes; fruits arrondis, semblables aux oranges quand ils sont mûrs, délicieux avec arôme exceptionnel et très apprécié par les consommateurs.

3.1.4 MAESOBOTRYA FLORIBUNDA BENTH.

Arbuste de sous-bois des forêts ombrophiles (sciaphile), baptisé « raison du Congo », avec inflorescences apparaissant sur la tige (cauliflorie) et les rameaux (ramiflorie). Les fruits mûrs ont un goût aigre.

3.1.5 MONDIA WHITEI (HOOK. F.)

Liane sauvage à latex caulinaire blanc et aux écorces racinaires aromatiques. C'est une espèce commune dans beaucoup de régions d'Afrique tropicale et subtropicale, où elle est très prisée pour ses écorces racinaires aux vertus aphrodisiaques [5]. En plus, les feuilles sont consommées comme épinard. *Mondia whitei* est connue des tradipraticiens de la forêt tropicale pour ses nombreuses vertus [6], [7].

3.1.6 PASSIFLORA FOETIDA L.

Liane des zones tropicales ou subtropicales, rampante ou grimpante par ses vrilles, pouvant atteindre jusqu'à 6m de longueur; aux belles fleurs blanches et roses. L'espèce est capable de prendre au piège dans les filets collants de ses bractées des insectes, d'où les

noms de protocarnivore, paracarnivore ou subcarnivore [8]. Fruits: baies subglobuleuses, petites, orange-roses, entourées de bractées épineuses et contenant plusieurs graines ovoïdes longues. Les fruits et les jeunes feuilles sont comestibles [9]. *Passiflora foetida* a des nombreuses vertus thérapeutiques [10].

3.1.7 PIPER NIGRUM L.

Liane grimpante des sous-bois des régions tropicales pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres de longueur [11], cultivée pour ses fruits qui donnent une épice appelée poivre. A l'heure actuelle, l'espèce est domestiquée au Cameroun. Fruits: baies, rouge-noir au goût piquant. Consommés frais ou séchés, les fruits servent de condiment de cuisine et entrent parfois dans la composition de certaines boissons. Le poivre noir est connu pour ses nombreux effets thérapeutiques [12].

4 METHODES

4.1 PRÉPARATION DES PÉPINIÈRES

Toutes les espèces expérimentées ont été multipliées par voie générative sous ombrage et éclairement direct du soleil**.** Les pépinières en bacs, caisses ou en sachets ont été installées en transgressant les conditions écologiques des espèces sauvages testées. Ainsi les plantes sciaphiles et héliophiles ont été installées à l'ombre et au soleil. Les espèces utilisées pour l'ombrage sont *Acacia auriculiformis* A. Cunn., *Mangifera indica* L., *Persea americana* Mill., *Elaeis guineensis* Jacq. et *Manihot glaziovii* Müll. Arg.

4.2 TRANSPLANTATION

Etant donné que les plantes expérimentées appartiennent à des espèces, genres et familles différents, l'option a été levée de repiquer les plantules vigoureuses portant six feuilles.

4.3 SOINS CULTURAUX

En général, les plantules étant très sensibles aux adventices, les sarclages sont intervenus tôt et ils étaient accompagnés de buttage pour faciliter la pénétration des racines et l'activité microbienne [13].

4.4 ANALYSE STATISTIQUE

Les données ont été encodées en utilisant le tableur Microsoft Excel 2019. Les moyennes de données récoltées ont été effectuées par Excel, soumises à l'analyse de la variance (ANOVA), au seuil de signification de 5% et à l'aide du logiciel STATISTIX 8,0.

0, celui éclairée de 300 lux. D

5 RESULTATS

5.1 LEVÉE

Les semences ont été mises en terre à raison 100 graines par espèce. Ce paramètre a permis de d'apprécier la levée qui dépend du pouvoir germinatif des semences de chaque espèce et de la fonte de semis incriminée à certains champignons telluriques comme *Pythium* spp. Les données regroupées dans le tableau 2 illustrent la levée de plantules et leur pourcentage. Cette levée oscille entre 5 et 150 jours et son pourcentage varie entre 10 et 92 %. Les espèces les plus précoces sont *Passiflora foetida, Capsicum frutescens, Aframomum melegueta,* et *Mondia whitei;* tandis que *Landolphia parvifolia, Piper nigrum* et *Maesobotrya floribunda* accusent une sortie plus tardive des plantules du sol. Les résultats enregistrés montrent que la levée est bonne pour les espèces *Passiflora foetida, Aframomum melegueta. Mondia whitei* et *Capsicum frutescens,* alors qu'elle est faible pour *Maesobotrya floribunda, Landolphia parvifolia* et *Piper nigrum*.

Tableau 2. Durée et pourcentage de la levée des espèces

Espèces	Durée de la levée (jours)	Pourcentage
Aframomum melegueta.	10	92
Capsicum frutescens	7	80
Landolfolia parvifolia	127	19
Maesobotrya floribunda	150	10
Mondia whitei	7	90
Passiflora foetida	5	98
Piper nigrum	90	25

5.2 CROISSANCE EN ÉPAISSEUR

Les résultats consignés dans le tableau 3 sont les moyennes de diamètre pris au collet et mesuré par un pied à coulisse. Il ressort des observations enregistrées lors de l'expérimentation que les moyennes varient entre 1,771 et 3,128 mm. Les calculs statistiques d'ANOVA et PPDS consignées dans le tableau 3 oscillent entre 0,4700 et 3,1363 mm. La plus petite différence est significative en termes de la croissance en épaisseur entre *Aframomum melegueta, Capsicum frutescens* et *Landolphia parvifolia*. Par contre, elle est non significative entre *Aframomum melegueta* et *Maesobotrya floribunda,* d'une part, entre *Capsicum frutescens* et *Mondia whitei,* d'autre part.

Tableau 3. Diamètre au collet (en mm)

Espèces	Répétitions			Total	Moyenne
	1	2	3		
Aframomum melegueta	**2, 16**	**1,869**	**1, 285**	**5,314**	**1,794**
Capsicum frutescens	**3, 120**	**2,976**	**2,066**	**8,162**	**2,720**
Landolphia parvifolia	**0,630**	**0,310**	**0,470**	**1,410**	**0,700**
Maesobotrya floribunda	**2,100**	**2,098**	**1, 902**	**6,096**	**2,032**
Mondia whitei	**3, 190**	**3,190**	**3,029**	**9,385**	**3,128**
Passiflora foetida	**2, 160**	**1,869**	**1, 285**	**5,314**	**1,771**
Piper nigrum	**1, 652**	**1, 029**	**1, 012**	**3,693**	**1,291**

5.3 CROISSANCE EN LONGUEUR

La longueur d'un tronc est une composante importante pour l'étude de l'émission et le nombre de feuilles, de fleurs et de fruits. Les données portées dans le tableau 4 montrent que les moyennes de la croissance en longueur à cet âge oscillent entre 0,942 et 15,617 cm. La liane *Mondia whitei* excelle en taille par rapport à *Passiflora foetida* qui est une autre espèce grimpante. Il est à noter que la plus petite différence est significative pour la taille entre les espèces *Aframomum melegueta, Capsicum frutescens, Landolphia parvifolia* et *Mondia whitei,* par contre elle est non significative entre *Passiflora foetida* et *Piper nigrum* (tableau 5).

Tableau 4. Taille de plantes (cm)

Espèces	Répétitions			Total	Moyenne
	1	2	3		
Aframomum melegueta.	**1,210**	**1,046**	**0,987**	**3,243**	**1,081**
Capsicum frutescens	**2,012**	**1,906**	**1,528**	**4,446**	**1,445**
Landolphia parvifolia	**1,125**	**0,937**	**1,031**	**3,093**	**1,031**
Maesobotrya floribunda	**0,765**	**0,492**	**0,369**	**1,126**	**0,942**
Mondia whitei	**15,654**	**15,700**	**15,498**	**46,852**	**15,617**
Passiflora foetida	**4,565**	**3,719**	**3,522**	**11,806**	**3,602**
Piper nigrum	**4,054**	**3,984**	**3,497**	**11,534**	**3,844**

Tableau 5. Moyennes de l'analyse de la variance et la plus petite différence significative

Traitements	Diamètre au collet	Taille des plantes
Aframomum melegueta	1.7713 B	1.0810 D
Capsicum frutescens	2.7207 A	1.8150 C
Landolphia parvifolia	0.4700 D	1.0310 D
Maesobotrya floribunda	2.0333 B	0.5420 E
Mondia whitei	3.1363 A	15.6170 A
Passiflora foetida	1.4380 BC	3.9350 B
Piper nigrum	0.8977 CD	3.8450 B
CV	19.96	4.88
PPDS	0.2903	0.1585

5.4 MOUVEMENTS DES ESPÈCES EXPÉRIMENTÉES

Les mouvements les plus importants sont les tropismes et les nasties, qui ont un rôle capital pour le port des plantes et leurs réactions vis-à-vis aux facteurs externes. Les observations menées montrent l'existence de deux catégories: la première est formée des espèces du phototropisme et du gravitropisme et la seconde est constituée des mouvements révolutifs.

Toutes les plantes expérimentées décrivent le phototropisme caulinaire positif et le gravitropisme racinaire positif (tableau 6). Le phototropisme positif accompagne les mouvements révolutifs chez *Mondia whitei* et *Passiflora foetida*. La première espèce est une plante grimpante qui s'enroule sur le tuteur tandis que la seconde, elle, s'agrippe à un support.

L'extrémité de la tige volubile est animée d'un mouvement révolutif qui fait décrire un cercle dans l'espace, lui permettant de rencontrer le support. Le mouvement révolutif de *Mondia whitei* est dû à une égalité de croissance entre les faces de la tige. Les vrilles de *Passiflora foetida* sont d'abord animées de mouvements révolutifs, qui changent de nature à la rencontre d'un support, suivi d'une inégalité de croissance entre les faces.

L'étude de ces mouvements a fourni des renseignements sur l'itinéraire technique de chaque espèce expérimentée. En effet, certaines espèces exigent l'utilisation des tuteurs d'une part, et la manière de les installer varient d'autre part.

Tableau 6. mouvements de l'appareil aérien et souterrain

Espèces	Mouvements des organes	
	Appareil aérien	Système racinaire
Aframomum melegueta.	PP	GP
Capsicum frutescens	PP	GP
Landolphia parvifolia	PP	GP
Maesobotrya floribunda	PP	GP
Mondia whitei	PP+ VG	GP
Passiflora foetida	PP+ VV	GP
Piper nigrum	PP	GP

Légende: PP: phototropisme positif; GP: gravitropisme positif; PP+VG: phototropisme positif + volubile grimpant; PP+VV: phototropisme positif + volubile à vrilles.

5.5 COMPORTEMENT DES ESPÈCES EXPÉRIMENTÉES VIS-À-VIS DE L'ÉCLAIREMENT

L'expérimentation a été réalisée en transgressant les conditions écologiques des espèces en termes de l'éclairement. Les espèces de l'ombre sont placées à la lumière et celles de lumière à l'ombre.

Les résultats obtenus montrent que les plantes héliophiles et sciaphiles évoluent mieux en respectant leurs conditions écologiques (tableau 7). En effet, les valeurs optimales en termes d'activité photosynthétique des plantes héliophiles et sciaphiles sont différentes. Les premières exigent des valeurs plus élevées et les secondes des valeurs plus basses.

La lumière est indispensable à la photosynthèse pour toutes les plantes chlorophylliennes, mais, cependant, celles-ci n'ont pas toutes besoin de la même intensité lumineuse pour déclencher l'assimilation de carbone. Par preuve, le point de compensation pour la lumière est de 200 lux pour les sciaphiles, alors qu'il se situe entre 700 et 10.000 lux pour les plantes héliophiles.

Tableau 7. Croissance des espèces à la lumière et sous l'ombrage

Espèces	Eclairement	
	Lumière	Ombrage
Aframomum melegueta.	M	B
Capsicum frutescens	B	M
Landolphia parvifolia	B	M
Maesobotrya floribunda	M	B
Mondia whitei	B	B
Passiflora foetida	B	B
Piper nigrum	B	M

Légende: B: bonne, M: mauvaise

5.5.1 MISE À FLEUR ET CYCLES DE DÉVELOPPEMENT

L'étude de la mise à fleur a permis de connaitre le cycle de développement des espèces expérimentées (tableau 8). *Capsicum frutescens* et *Passiflora foetida* ont été classées parmi les plantes annuelles, car leur cycle de développement de graine à graine a une durée de moins d'un an (fig.1 et 2), mais ces espèces sont polycarpiques car elles fructifient plusieurs fois la vie.

Les espèces *Aframomum melegueta, Landolphia parvifolia, Maesobotrya floribunda* et *Piper nigrum* n'ayant pas fleuri ni fructifié après une année, sont donc versées dans le groupe des plantes pluriannuelles. Ces espèces pluriannuelles donneront les premières fleurs après 3 ans ou davantage et sont polycarpiques.

Tableau 8. Floraison et développement

Espèces	Mise en fleur après semis	Type de fructification
Aframomum melegueta.	P	PO
? Capsicum frutescens	A	PO
Landolphia parvifolia	P	PO
Maesobotrya floribunda	P	PO
Mondia whitei	P	PO
Passiflora foetida	A	PO
Piper nigrum	P	PO

Légende: A: annuelle; P: pluriannuelle; PO: polycarpique

Fig. 1. fructification de Passiflora foetida

Fig. 2. Fructification de Capsicum frutescens

5.5.2 MISE EN PLACE DES ESPÈCES HÉLIOPHILES ET SCIAPHILES DANS LE SYSTÈME AGROFORESTIER

L'agroforesterie est un système qui met dans un même espace les cultures et les ligneuses à usages multiples. Les spéculations héliophiles sont logées dans les couloirs et les sciaphiles sous la lumière tamisée par les ligneuses à multiples usages [14].

La présente étude a introduit dans l'agroforesterie des espèces sciaphiles qui vont évoluer sous les espèces ligneuses. Parmi les sept espèces expérimentées, deux sont strictement sciaphiles, trois classées héliophiles et deux autres jugées indifférentes (tableau 9).

Ces observations ont permis l'identification de l'emplacement idéal des espèces éprouvées dans un système agroforestier. Les sciaphiles vont évoluer sous les ligneuses, les héliophiles occuperont les couloirs, enfin les indifférentes vis-à-vis de la lumière seront exploitées sous la lumière directe ou indirecte du soleil (fig. 3).

Tableau 9. Emplacement des espèces expérimentées dans le système agroforesterie

Cultures sous les ligneuses (sciaphiles)	Cultures de couloirs (héliophiles)	Cultures sous les ligneuses ou de couloirs (indifférentes)
Aframomum melegueta	*Capsicum frutescens*,	*Mondia whitei*
Maesobotrya floribunda	*Landolphia parvifolia*	*Passiflora foetida*
	Piper nigrum	

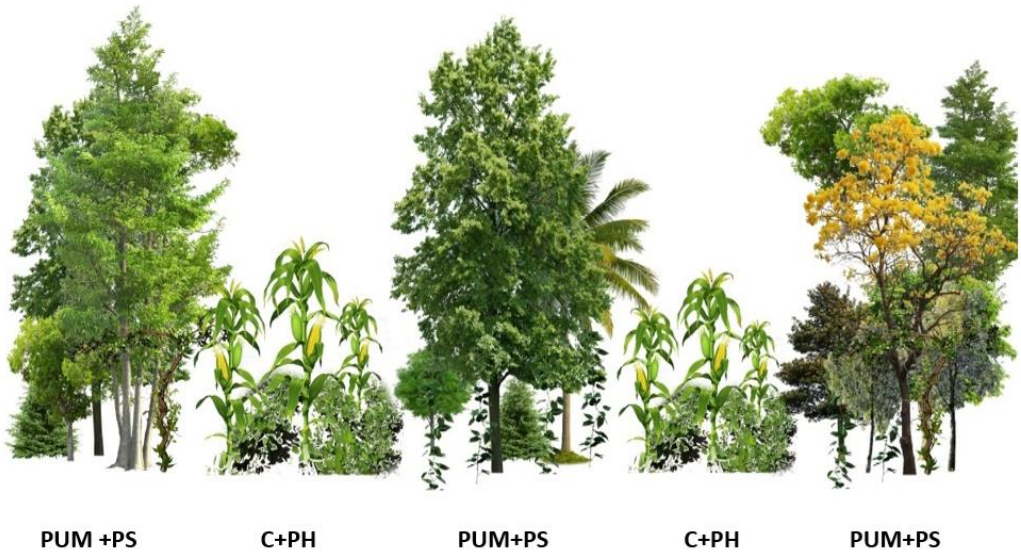


Fig. 3. emplacement des plantes sciaphiles et héliophiles dans le système agroforestier

Légende: PUM +PS: plantes à usages multiples et plantes sciaphiles, C+PH: couloirs et plantes héliophiles

6 DISCUSSION

Les études préliminaires de la domestication ont démarré par la levée des plantules des espèces expérimentées: *Aframomum melegueta, Capsicum frutescens, Landolphia parvifolia, Maesobotrya floribunda, Mondia whitei, Passiflora foetida* et *Piper nigrum.* Les résultats obtenus montrent que la levée de plantules des espèces *Passiflora foetida, Capsicum frutescens, Aframomum melegueta* et *Mondia whitei* est précoce tandis que celle des plantules de *Landolphia parvifolia, Maesobotrya floribunda* et *Piper nigrum* est tardive. Ce fait est dû à la germination, en effet les semences ayant une germination précoce, donnent aussi des plantules à la levée précoce. Ainsi, il existe une corrélation positive entre la germination de la graine et la levée de la plantule.

Un accent particulier a été mis sur la croissance en épaisseur, qui augure de la vigueur de la plante, un paramètre important dans le choix des plantules candidates au repiquage. Il ressort des résultats enregistrés que la liane *Mondia whitei* excelle à la croissance en épaisseur par rapport aux autres espèces et particulièrement à *Passiflora foetida*. Le plus petit diamètre au collet a été observé sur *Landolphia parvifolia,* espèce la plus naine du lot.

Deux types de mouvements des plantes ont été observés parmi les espèces étudiées, il s'agit des tropismes et mouvements révolutifs. Le phototropisme et le gravitropisme faisant partie des tropismes sont dictés successivement par l'anisotropie d'éclairement et de gravité du milieu. Les plantes grimpantes enroulent leur tige autour d'un tuteur, tandis que les plantes à vrilles s'agrippent et sont utilisées pour la mise en place de pergola. D'après [15], les mouvements des plantes jouent un rôle fondamental dans les ports des espèces et leurs réactions vis-à-vis des facteurs externes.

Les facteurs externes de la photosynthèse sont l'éclairement, la température, l'eau et l'oxygène. L'éclairement est le facteur qui a été étudié dans cette recherche, les plantes héliophiles ayant une capacité photosynthétique optimum en plein soleil et les sciaphiles n'atteignant leur maximum qu'aux éclairements à l'ombre. L'éclairement qui correspond à une assimilation nulle ou point de compensation pour la lumière est très différent entre les espèces sciaphiles et les héliophiles. En effet, les valeurs optimales des plantes sciaphiles sont en deçà de celles des héliophiles. Au-delà de la limite d'éclairement, on enregistre une détérioration de la photosynthèse traduite par la baisse sensible de l'assimilation. Pour cette raison et dans le respect strict des conditions écologiques des plantes en voie de domestication, les espèces sciaphiles ont leur place à l'ombre sous les ligneuses à usages multiples.

Le virage floral permet de classer les plantes en trois catégories, annuelles, bisannuelles et pluriannuelles. Nos observations ont permis de catégoriser les espèces en deux groupes, annuelles et pluriannuelles. Les espèces *Capsicum frutescens* et *Passiflora foetida* ont fleuri en moins de douze mois alors que les cinq autres espèces étudiées n'ont pas atteint le virage floral pendant toute la période expérimentale.

Ces espèces *Capsicum frutescens* et *Passiflora foetida* sont ainsi jugées partiellement annuelles car elles ne sont monocarpiques et ne meurent pas après la première fructification, alors qu'une plante annuelle est définie comme celle qui fructifie une seule fois la vie et meurt après avoir donné la graine [1], [15].

La présente recherche a innové le système agroforestier par l'introduction des espèces sciaphiles, qui seront hébergées comme cultures dans l'espace occupé par les ligneux à multiples usages. [16] a mis au point le modèle entomo-agroforestier en introduisant les légumineuses ligneuses et les espèces hôtes à chenilles.

7 CONCLUSION

L'objectif visé dans cette recherche est l'essai de domestication de sept espèces, à savoir: *Aframomum melegueta, Capsicum frutescens, Landolphia parvifolia, Maesobotrya floribunda, Mondia whitei, Passiflora foetida* et *Piper nigrum*.

La levée des plantules, la croissance, les mouvements, l'éclairement, la mise à fleur et le cycle de développement ainsi que l'emplacement des espèces expérimentées dans le système agroforesterie ont été observés. Le modèle agroforestier, exploitera les espèces autochtones en voie de domestication, sera plus proche des écosystèmes locaux et répondra mieux aux conditions environnementales que les systèmes agroforestiers exogènes.

Cet essai de domestication enrichi par l'introduction des plantes sciaphiles (*Aframomum melegueta* et *Maesobotrya floribunda*) valorise davantage l'espace occupé par les espèces à usages multiples. Cette vision permet l' émergence des innovations pour rendre l'agroforesterie plus rentable. La grande diversité des espèces sciaphiles indigènes en voie de domestication, plus particulièrement *Gnetum africanum,* ont leur place dans ce modèle agroforestier naissant.

Le modèle ainsi créé peut-être nommé modèle agroforestier à *Aframomum melegueta* et *Maesobotrya floribunda*. Des essais peuvent être menés pour créer d'autres modèles agroforestiers, comme le modèle agroforestier *Gnetum africanum***.** Cette étude a ciblé

les phases préliminaires de la domestication. Le souhait est que les essais soient menés pour aboutir au terme du cycle pour établir les itinéraires techniques de chaque espèce.

Passiflora foetida, espèce capable de prendre au piège les insectes ravageurs par ses filets collants, peut faire l'objet d'une étude de méthodes de lutte biologique.

REFERENCES

[1] KIBUNGU K.: Quelques plantes médicinales du Bas-Congo et leurs usages, 195p., 2003.
[2] LATHAM P. et KONDA KU MBUTA A.: *Plantes utiles du Bas-Congo,* République Démocratique du Congo, 409p., 2014.
[3] WATCHO P., KAMTCHOUING P., SOKENG, S.D., MOUNDIPA P.F., TANTCHOU J., ESSAME J.L. et KOUETA, N., «Androgenic effect of *Mondia whitei* roots in male rats» Asian Journal of Andrology n° 6, pp. 269–272, 2004.
[4] NOUMI, E., Les plantes à épices, à condiments et à aromates du Cameroun. Thèse de Doctorat en Sciences Biologiques, Université de Yaoundé, pp. 22-24, 1984.
[5] https://lavierebelle.org/mondia-whitei (le 13/012/2021).
[6] https://lavierebelle.org/mondia-whitei (le 13/012/2021).
[7] https://www.tahitiheritage.pf/passiflore-poc-poc/ (le 28/02/2022).
[8] https://www.passeportsante.net/fr/Solutions/PlantesSupplements/Fiche.aspx?doc=maniguette_aframomum_ps (le 06/04/2022).
[9] CCIMA: Filière du poivre de Penja: Guide des Bonnes Pratiques sanitaires et phytosanitaires, 167p., 2020.
[10] HINA F, NISAR A, Bilal H, Shahid F, Mohammad A, Mubarak A., Rôle biologique de *Piper nigrum* L. (Poivre noir), pp. 1-10, 2012.
[11] JAVAHERI F. et BAUDOIN J.P. Soja. *In* Agriculture en Afrique tropicale, DGCI, Bruxelles, Pages 860-881., 2001.
[12] BENIEST J. Agroforesterie. *In* Agriculture en Afrique tropicale, AGCD, Bruxelles, pages 1298-1323, 2001.
[13] HELLER R., ESNAULT R. et LANCE C Physiologie végétale 1. Nutrition, Dunod, Paris, 366p., 2000.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1131-1137
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Prevalence of intestinal parasitosis at the university hospital of Abomey-Calavi and So-Ava in Benin (West Africa) from 2010 to 2020

Medoatinsa Seindé Espérance[1-2], Aboubakar Yarou Samirath[1], Agbangnan Dossa Cokou Pascal[2], Tchogou Pascal[1], Degbelo Jean Eudes[3], Agbogba Félicienne[1], Atchade Sossa Pascal[4], and Senou Maximin[1]

[1]Laboratory of Experimental and Clinical Biology, National School of Applied Biosciences and Biotechnologies, National University of Sciences, Technologies, Engineering and Mathematics, Benin

[2]Laboratory for Study and Research in Applied Chemistry, Polytechnic School of Abomey-Calavi, University of Abomey-Calavi, Benin

[3]Laboratory of Biomedical Analysis, University Hospital of Abomey-Calavi, So-Ava, Ministry of Health, Benin

[4]Laboratory of Applied Biology, Polytechnic School of Abomey-Calavi, University of Abomey-Calavi, Benin

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In tropical environments, parasitosis is a public health problem. This study aims to describe the evolution of the prevalence of intestinal parasitosis diagnosed at the laboratory of the University Hospital of Abomey-Calavi/So-Ava in the Atlantic Department of southern Benin in West Africa from 2010 to 2020. Each stool sample was examined directly with physiological water and stained with Lugol's stain. From 2010 to 2020, 2348 patients benefited from a parasitological examination of stools at the laboratory of the University Hospital of Abomey-Calavi/So-Ava. 181 samples were positive (8%). 53% of the patients with parasitic disease were female. Children aged 0 to 5 years represent 51% of the parasitized patients. 97.90% of the parasites identified during the parasitological examination of stools belong to the group of protozoa. *Entamoeba histolytica* is the most observed parasite species (64.64%), followed by *Entamoeba coli* (27.76%), *Trichomonas intestinalis* (3.30%), *Giardia lamblia* (2.20%), *Ascaris lumbricoides* (1.6%) and *Trichuris trichiura* (0.5%). An effective control of intestinal parasitosis in Benin will require the eradication of intestinal protozoosis.

KEYWORDS: Prevalence, intestinal parasitosis, Abomey-Calavi/So-Ava, Benin.

1 INTRODUCTION

Parasitology is the science that studies parasites (morphology, biology, systematics...) and their interactions with their hosts [1]. Intestinal parasitosis, diseases caused by various infectious agents ranging in size from a micrometer to several meters, represent a real public health issue in tropical environments where favorable climatic conditions, the absence or inadequacy of hygiene and sanitation measures, and poverty favor their expansion [2]. According to the World Health Organization (WHO), there are an estimated 3.5 billion cases of intestinal parasitosis with a mortality of 155,000 cases per year [3]. In Africa factors such as promiscuity, lack of clean water, food hygiene and inadequate sanitation facilities resulted in the overall prevalence of intestinal parasitosis being 63.3%, the majority of which (53%) was transmitted through dirty water [4]. Population growth, immigration, climatic conditions, low socioeconomic level and poor hygiene are favorable factors for the spread of parasitism in a population [5]. The 2014 statistical yearbook shows that gastrointestinal diseases occupy the third position among the most frequent diseases in the Beninese population behind acute respiratory infections and malaria with a prevalence of 6.60% [6]. To contribute to the fight against intestinal parasitic diseases, the present study was initiated and aims to describe the evolution of the prevalence of intestinal parasitosis diagnosed at the CHUZ from 2010 to 2020 in Benin in order to make an inventory of the parasites in vogue for a targeted and more effective fight.

Corresponding Author: Medoatinsa Seindé Espérance

2 MATERIALS AND METHOD

We conducted a retrospective descriptive study at the laboratory of the University Hospital of Abomey-Calavi/So-Ava. The study population was composed of all patients who had benefited from a parasitological examination of stools from January 01, 2010 to December 31, 2020 at the medical diagnostic laboratory. For the microscopic examination that allowed the identification of the parasitic species, it was realized the direct examination with physiological water between slide and cover slip. Lugol's staining was performed for the differential diagnosis between *Entamoeba histolytica* and *Entamoeba coli* cysts. Patients for whom all information (age, sex, results of the parasitological examination of stools,...) were not mentioned in the registers are excluded from this study. Data were collected from the laboratory registers.

3 RESULTS AND DISCUSSION

The results obtained are presented in the figures below. Out of 2348 patients who benefited from a parasitological examination of stools, 181 were diagnosed as carriers of intestinal parasites, or a prevalence of 8%.

Figure 1 presents the prevalence of intestinal parasitosis from 2010 to 2020 at the CHUZ of Abomey-Calavi/Sô-Ava.

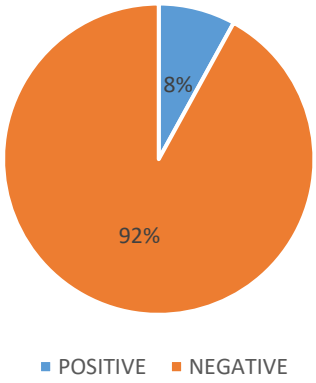


Fig. 1. Prevalence of intestinal parasitosis

Analysis of this figure reveals that the prevalence of intestinal parasitosis is 8%. This positivity rate is very low compared to the rates obtained by Sissinto-Savi de Tové *et al*., (2003-2015) at the Centre National Hospitalier Universitaire de Cotonou (Benin) (17.6%) [7], Ouermi *et al.,* (1991-2010) at the Centre Medical Saint-Camille de Ouagadougou (Burkina-Faso) (60.82%) [8], Sangaré *et al*., (1998-2008) in Muraz Bobo Dioulasso (Burkina-Faso) (23.80%) [9], Yaro *et al*., (2010-2015) in the parasitology department of the Institut National de Recherche en Santé Publique in Bamako (Mali) (48.04%) [2]. This relatively low rate obtained in the present study could be explained by the fact that on the one hand the data were not obtained in the same population nor during the same period and on the other hand in Benin there are deworming campaigns coupled with the extended vaccination program among children.

EVOLUTION OF REQUESTS FOR PARASITOLOGICAL EXAMINATION OF STOOLS AND PREVALENCES ACCORDING TO THE YEAR

The figure below presents the number of parasitological examinations performed per year.

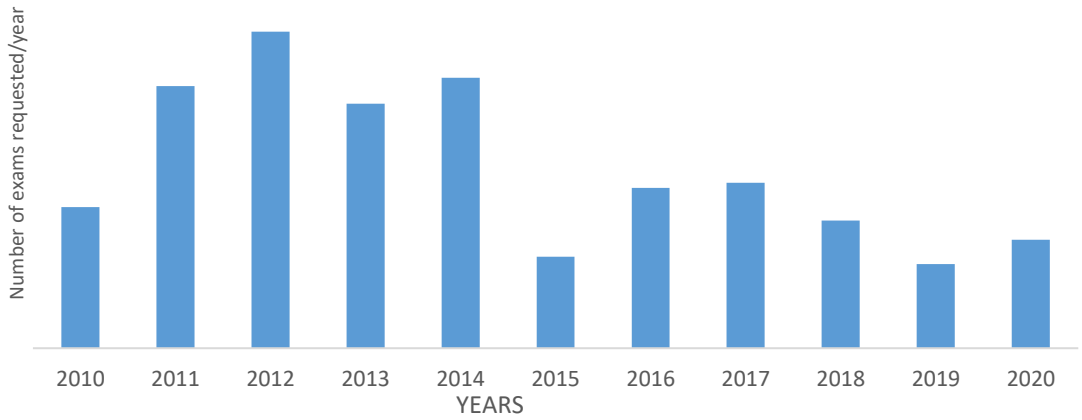


Fig. 2. Evolution of stool parasitology requests from 2010 to 2020

From this figure, it can be seen that the highest demand for stool parasitology examination was made in 2012, 377 stool parasitology examinations compared to 100 stool parasitology examinations performed in 2019 (lowest demand).

The figure 3 shows the prevalence of intestinal parasitosis by year.

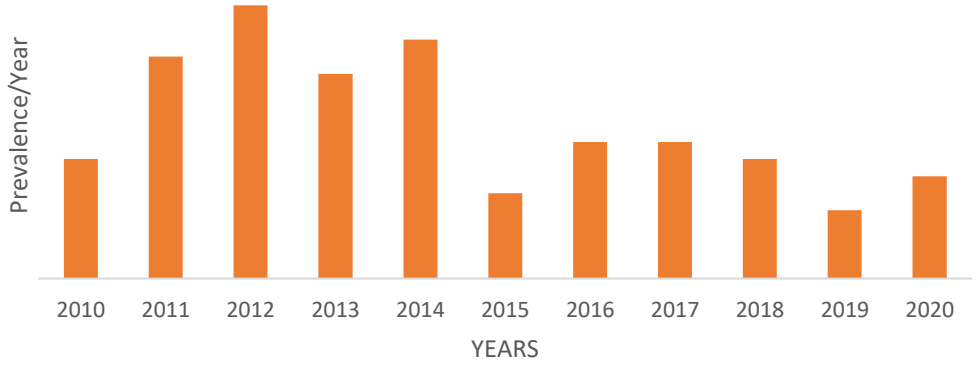


Fig. 3. Evolution of prevalences according to the year

From figure 3, we observe that the highest prevalence was observed in 2012 while the lowest is 4% obtained in 2019.

The figure 4 shows the correlation between the number of examinations requested and the prevalence.

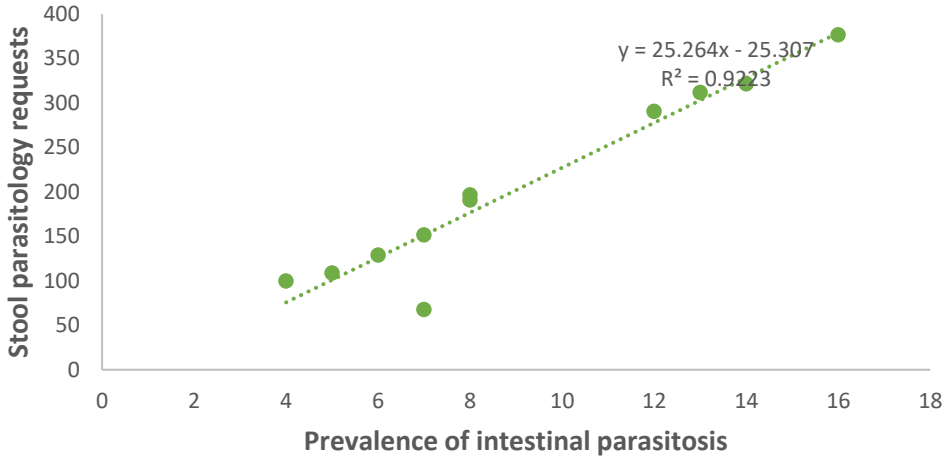


Fig. 4. Correlation between the number of examinations requested and the prevalence

The figure above shows the correlation between the number of examinations requested and the prevalence obtained each year. There is a very strong positive relationship between these two variables.

DISTRIBUTION OF PARASITIZED PATIENTS ACCORDING TO GENDER

The figure below shows the distribution of parasitized patients according to gender.

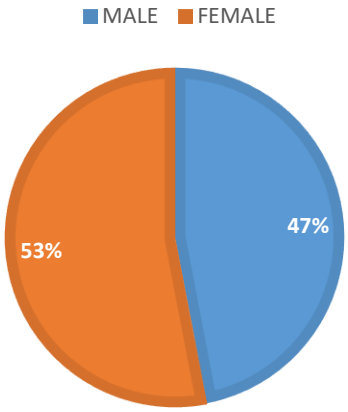


Fig. 5. Distribution of parasitized patients according to sex.

This figure reveals that among the 181 positive cases, 47% are male versus 53% female. This could be due to a predominance of females among patients who benefited from a parasitological examination of stools from 2010 to 2020 at the CHUZ Abomey-Calavi/Sô-Ava. However, the Beninese population is predominantly female (51%) [10].

AGE DISTRIBUTION OF PARASITIZED PATIENTS

The distribution of parasitized patients according to age is presented in figure 6.

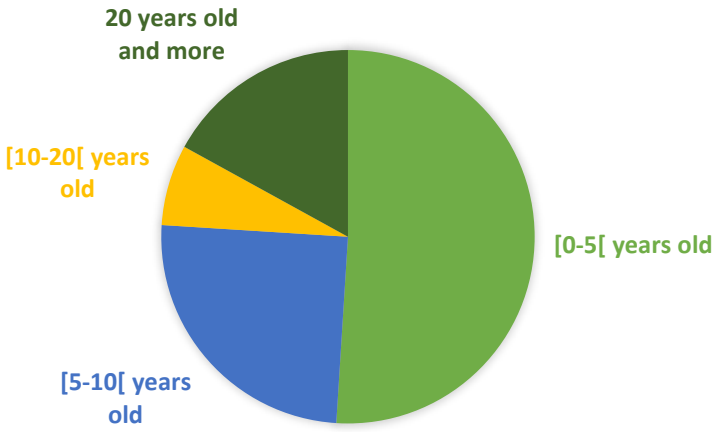


Fig. 6. Distribution of intestinal parasitosis according to age

From this figure we can see that patients under 5 years of age are the most parasitized with a frequency of 51%. They are followed by those aged [5-10 [years (25%). This could be due to the fact that young children are naturally exposed through their daily activities such as playing, contact with contaminated objects, and not following hygiene measures [2]. In sub-Saharan Africa, children, particularly school-aged children, are disproportionately affected by geohelminthiasis infections [11-13].

FREQUENCY OF PARASITE GROUPS FOUND

The frequency of parasite groups found during parasitological examination of stools from 2010 to 2020 at the CHUZ of Abomey-Calavi/Sô-Ava is presented in figure 7.

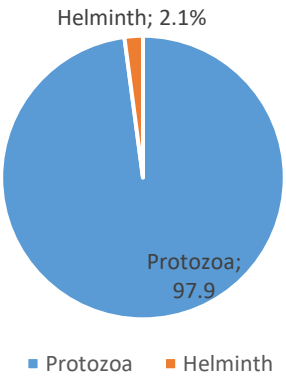


Fig. 7. Frequency of parasite groups found

The most identified parasitic group is protozoa with a frequency of 97.90% against 2.1% for helminths. This percentage is higher than that of Ouermi *et al*., (1991-2010) at the Saint-Camille Medical Center in Ouagadougou (Burkina-Faso) [8] which recorded a rate of 90.53%. It is slightly lower than the result of Sissinto-Savi de Tové *et al.,* (2003-2015) at the Centre National Hospitalier Universitaire de Cotonou (Benin) who found a rate of 98.10% [7]. This result could be explained by systematic deworming campaigns organized in Benin during which antihelminthic molecules are distributed [7].

FREQUENCY OF PARASITIC SPECIES IDENTIFIED

Figure 8 presents the frequency of parasitic species identified from 2010 to 2020 at CHUZ Abomey-Calavi/Sô-Ava.

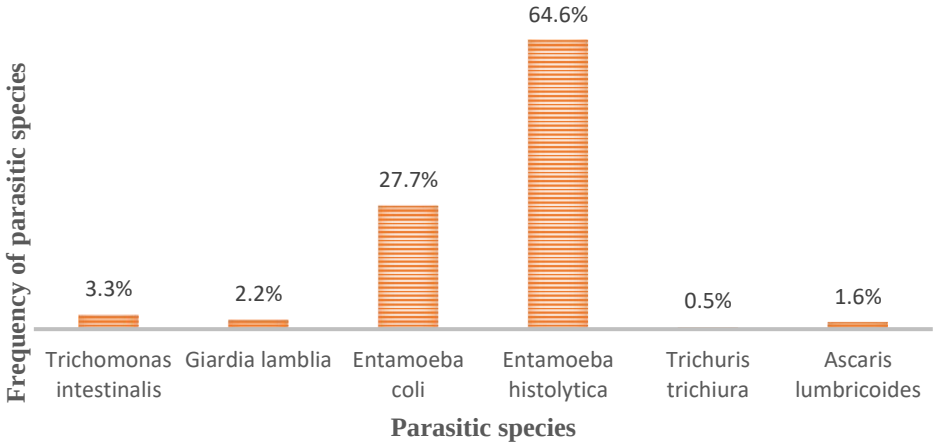


Fig. 8. Frequency of parasitic species identified

The most incriminated parasitic species in digestive parasitosis from 2010 to 2020 is *Entamoeba histolytica* (64.64%), followed by *Entamoeba coli* (27.76%). Amoebiasis represents 92.40% of diagnosed parasitoses. *Trichomonas intestinalis* (3.30%), *Giardia lamblia* (2.20%), *Ascaris lumbricoides* (1.6%) and *Trichuris trichiura* (0.5%) are among the parasites identified. The percentage of patients parasitized by *E. histolytica* in the present study is higher than those obtained by Ouermi *et al.,* (1991-2010) at the Saint-Camille Medical Center of Ouagadougou (Burkina-Faso) (39.88%) [8] and Sissinto-Savi de Tové *et al.,* (2003-2015) at the Centre National Hospitalier Universitaire de Cotonou (Benin) (32.50%) [7] but lower than the result of Yaro *et al.,* (2010-2015) at the parasitology department of the Institut National de Recherche en Santé Publique in Bamako (Mali) (72%) [2].

4 CONCLUSION

Parasitosis is a public health problem favored by environmental conditions, defective hygiene and lack of appropriate health education. This was observed through a retrospective study conducted at the CHUZ of Abomey Calavi/So-Ava. At the end of this study, it is important to note that children under the age of 5 years are the most infected with a predominance of the female sex. Protozoa is the most common parasite group. Amoebiasis is the most diagnosed parasitosis. The dissemination of parasites depends not only on the level of community hygiene (food, faecal and water), but also on the personal and general hygiene conditions of individuals. The prevalence of parasitosis recorded at the CHUZ of Abomey Calavi/So-Ava is not negligible. The eradication of human parasitosis in Benin will require an effective fight against digestive protozoosis in general and amoebae in particular.

REFERENCES

[1] Société Africaine de Parasitologie, maladies parasitaires endémiques en Afrique tome 1, éditions d'avenir, page18.
[2] Yaro A. S., Camara F., Sacko M., Landouré A., Sodio B., (2019). Prévalences des Parasites Intestinaux Humains Chez les Patients du Service de Parasitologie de l'INRSP Bamako de 2010 à 2015, European Scientific Journal 15, 21.
[3] Baraha N., (2020): « Epidémiologie des parasites intestinaux dans la région d'Ouarzazate«, Thèse n°175, Université Cadi Ayyad Faculté de Médecine et de Pharmacie Marrakech, pages 10-33.
[4] Ohouya. D.G, (2015). Prévalence des parasitoses intestinales chez les enfants de 0 à 5 dans la communauté d'anonkoi 3. Thèse de Pharmacie, Université Felix Houphouët Boigny, Abidjian Côte-d'Ivoire. p 149.
[5] Afriad. Y, (2018). Epidémiologie des parasitoses intestinales chez la population de la ville 'd'Agadir. Thèse de doctorat en Médecine. Université CADI AYYAD, Marrakech, Maroc.
[6] Ministère de la santé du Bénin, 2016. Plan Directeur National de lutte contre les Maladies Tropicales Négligées 2016-2020. Le profil sanitaire du Bénin (les maladies les plus fréquentes page 18).
[7] Sissinto-Savi de Tové Y., Hounto A. O., Attinsounon C.A., Affolabi D., G.B.Damien, Tchankpan F., Omiale K., Wakpo A., Koupkoliyi A., Ekpangbo Sossou B., Anagonou S., Massougbodji A., Kinde-Gazard A.D., (2017): « Prévalence des parasitoses intestinales au CHU-HKM de Cotonou, Sud du Bénin de 2003 à 2015«, Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lome, vol 19 No.4, page 1.

[8] Ouermi D., Karou D.S., Ouattara I., Gnoula V., Pietra, Moret R., Pignatelli S., Nikiema J.B., Simpore J., (2012): « Prévalence des parasites intestinaux de 1991 à 2010 au centre médical Saint-Camille de Ouagadougou (Burkina Faso) » Médecine et Santé Tropicale 22, 1, pages 20-27.

[9] Sangaré I, Zida A., Bamba S., Cissé M., Coulibaly SO, Guiguemdé RT. (2013). Bilan des demandes d'examen parasitologique des selles et des parasitoses diagnostiquees de 1999 à 2008 au laboratoire de parasitologie du Centre Muraz, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, Annale de l'Université de Ouagadougou, Série D, vol. 013.

[10] OMS, rapport annuel bénin 2020, 54.

[11] Hotez, P.J., Molyneux, D.H., Fenwick, A., Kumaresan, J., Ehrlich Sachs, S., Sachs, J.D., & Savioli, L. (2007). Control of neglected tropical diseases. New England Journal of Medicine. 357, 1018-1027.

[12] Hotez, P.J, Kamath, A. (2009). Neglected Tropical Diseases in SubSaharan Africa: Review of Their Prevalence, Distribution, and Disease Burden. PLoS Negl TropDis.3 (8).

[13] Augusto, G., Nala, R., Casmo, V., Sabonete, A., Mapoco, L., Monteiro, J. (2009). Geographic Distribution and Prevalence of Schistosomiasis and Soil-Transmitted Helminths among Schoolchildren in Mozambique. Am J Trop Med Hyg. 81 (5): 799-803. doi: 10.4269/ajtmh.2009.08-034.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1138-1161
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Analyse des données lithologiques du district aurifère du Yaouré

[Analysis of lithological data from the Yaouré gold district]

Niamien Michael Kouadio KOUAKOU[1], Barthélémy Gnammytchet KOFFI[1], Gbele OUATTARA[1], Cisse AMADOU[2], and Guillaume Yao YAO[3]

[1]Département des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STéRMi), Laboratoire du Génie Civil, des Géosciences et Sciences Géographiques, Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

[2]Exploration Manager-Fr West Africa, 28 BP 571 Abidjan 28, Côte d'Ivoire

[3]Senior Geologist Exploration Perseus Mining, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 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 Yaouré gold district is located in the central-western part of Ivory Coast. The lithostratigraphy of this district is characterized from bottom to top as follows: (a) a series of metamorphic rocks, consisting of biotite gneiss and granodiorite gneiss; (b) a series of metasedimentary rocks, composed of medium to fine-grained sandstones and graphitic schists with elongated linear quartz-feldspar crystals and a north-south oriented schistosity.; (c) a series of volcanic rocks, consisting of pillow basalt flows associated with late-stage intrusive rocks (granodiorite, diorite, gabbro, tonalite, microgranodiorite, microdiorite, microgabbro), marking the end of magmatism; (d) a series of volcanoclastic rocks, composed of polygenic conglomerates. The petrographic study of the geological formations in the Yaouré gold district has allowed us to identify three main groups of rocks: (i) magmatic rocks (plutonic, subvolcanic, and volcanic); (ii) metamorphic rocks; (iii) volcano-sedimentary rocks (volcanoclastic and metasedimentary). Most of the lithologies in our study area are affected by greenschist metamorphism, characterized by minerals such as chlorite, sericite, epidote, as well as hydrothermal activity with carbonate fillings (calcite), quartz, potassium feldspar, sulfides, and varying amounts of gold.

KEYWORDS: Petrography, Gold-bearing district of Yaoure, Lithostratigraphy, Mining exploration, Central-Western of Ivory Coast.

RESUME: Le district aurifère du Yaouré est situé au centre-ouest de la Côte d'Ivoire. La lithostratigraphique de ce district se présente du bas vers le haut comme suit: (a) -un ensemble de roches métamorphiques, constitué de gneiss à biotites et gneiss granodioritique; (b) -un ensemble de roches métasédimentaires, composé de grès moyens à fins et de schistes graphitiques constitués de linéation d'étirement de cristaux quartzo-feldspathiques allongés et une schistosité orientée N-S; (c) -un ensemble de roches volcaniques, constitué de coulées basaltiques en coussins, associées à des épisodes tardives de roches intrusives (granodiorite, diorite, gabbro, tonalite, microgranodiorite, microdiorite, microgabbro) marquant la fin du magmatisme; (d) -un ensemble de roches volcanoclastites, composé de conglomérat polygénique. L'étude pétrographique des formations géologiques du district aurifère du Yaouré nous a permis de mettre en évidence trois principaux groupes de roches. (i) -les roches magmatiques (plutoniques, sub-volcaniques et volcaniques); (ii) -les roches métamorphiques; (iii) -les roches volcano-sédimentaires (volcanoclastites et métasédimentaires). La plupart des lithologies de notre zone d'étude sont affectées par un métamorphisme de schiste vert marqué par des minéraux tels que la chlorite, la séricite, l'épidote et également par un hydrothermalisme avec les remplissages des fracturations de carbonates (calcite), de quartz, de feldspath potassique, de sulfure et plus ou moins d'or.

MOTS-CLEFS: Pétrographie, district aurifère du Yaouré, Lithostratigraphie, Exploration minière, Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire.

Corresponding Author: Niamien Michael Kouadio KOUAKOU

1 INTRODUCTION

Le district du Yaouré est caractérisé par la rareté d'affleurement dû à l'épaisse couverture végétale et à l'altération supergène, favorisant une large couche de cuirasse et rendant difficiles l'accessibilité des données pétrographiques. C'est ce qui fait que la pétrographie est incomplète. Ainsi, grâce aux nombreux sondages carottés, les connaissances pétrographiques doivent être améliorées. Par conséquent, le but de ce travail est d'améliorer les connaissances pétrographiques de la minéralisation aurifère du Yaouré.

2 CADRE D'ETUDE

2.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude est située au centre-ouest de la Côte d'Ivoire, plus précisément dans le département de Bouaflé situé à 300 km d'Abidjan (capitale économique) et à 50 km de Yamoussoukro (capitale politique. Elle se situe entre les coordonnées UTM (X= 190 000 et Y=790 500) et (X=220 500 et Y=770 000) (Figure 1).

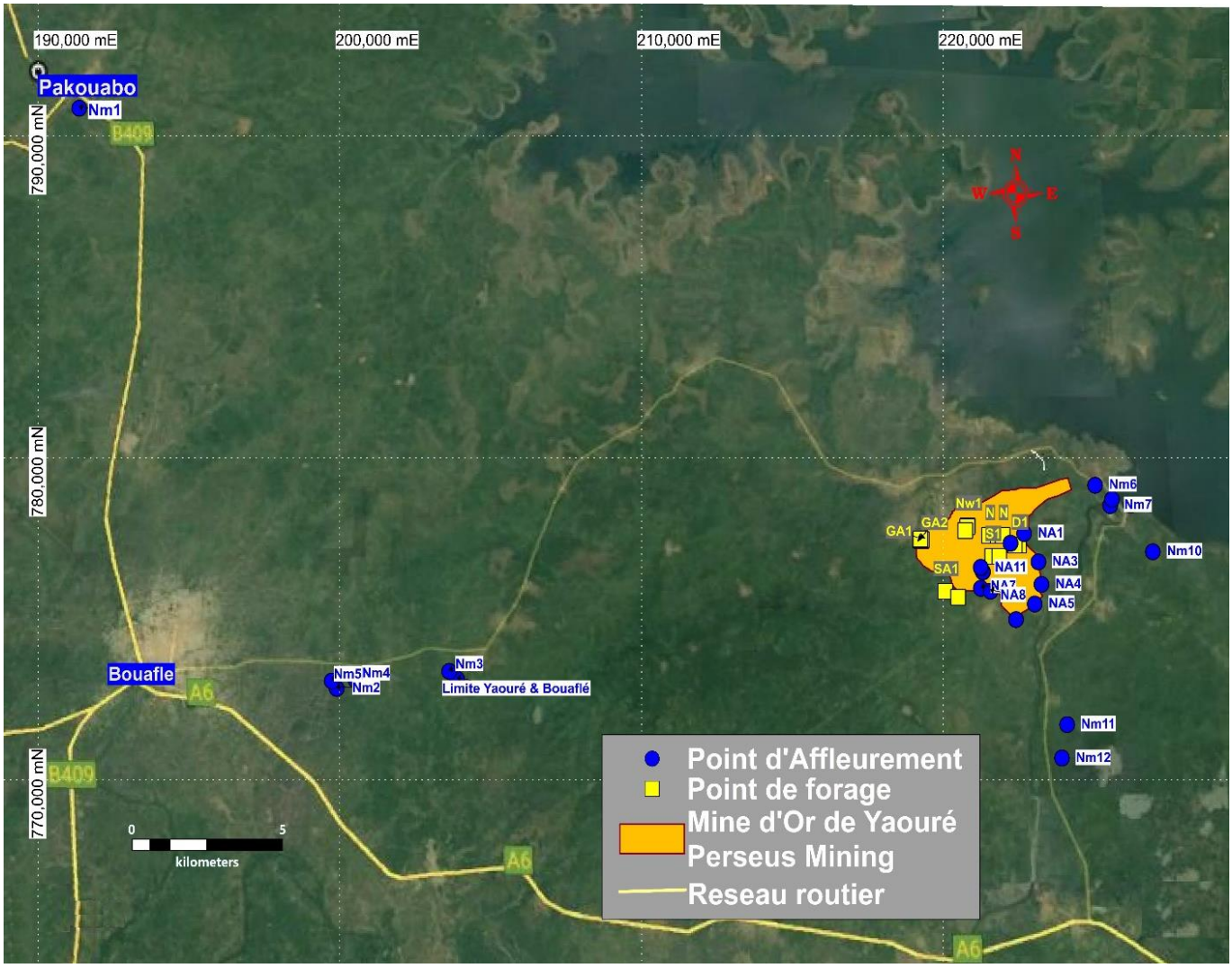


Fig. 1. Carte de localisation, d'affleurement et point de forage

2.2 CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL ET LOCAL

Les travaux [2] - [3] - [4] - [6], ont permis d'établir la lithostratigraphie du Yaouré. La lithostratigraphie du complexe du Yaouré central, appartenant au domaine Baoulé-Mossi du craton ouest-africain présente du bas vers le haut (Figure 2):

- Un ensemble de gneiss migmatiques à biotites, marqués par une foliation serrée, pouvant s'atténuer et disparaître par endroit pour donner à la roche l'aspect d'un granite homogène. Ces gneiss se rencontrent seulement sur la bordure ouest du yaouré et correspondent à un niveau structural catazonal;
- Un ensemble sédimentaire constitué d'un matériel vert sombre argilo-silteux passant à des grès fins grauwackeux parfois enrichis en niveaux quartzeux. Ces séquences ont une amplitude métrique avec un litage à la millimétrique. La stratification est généralement transposée dans le plan de schistosité (s1), correspondant à la première phase de déformation (d1). Le métamorphisme synchrone de cette déformation est de type schiste vert;
- Un ensemble essentiellement volcanique, constitué de coulées basaltiques en coussins qui sont associées à de minces niveaux d'épiclastites et de hyaloclastites. Tardivement, des intrusions plutoniques de gabbros, de l'ultrabasites, de diorites, de dykes, de rhyolites-dacites et de granites discordants marqueraient la fin du magmatisme régional;
- Un conglomérat polygénique de base, assimilable aux formations tarkwaiennes du ghana, remanie l'ensemble des formations précédentes avec des galets.

En résumé, l'histoire géologique de la zone d'étude se succèderait en sept (7) périodes:

1. Une période de pénéplanation d'un socle granitique marquant le dépôt du birimien essentiellement sédimentaire B1, pélitique;
2. Une phase compressive D1, au régime tectonique hypothétique, affecte le birimien inférieur B1 et son socle. Des critères de déformations tangentielles existent dans le Yaouré et pourraient être les traces de l'évènement collisionnel D1 décrit dans la phase occidentale de la Côte d'Ivoire et daté à 2,1 Ga [5];
3. Une période distensive donne naissance à un rift intra-continental dans lequel se développe un volcanisme de type MORB (Mid-Ocean Ridge Basalts) et un plutonisme basique tardif. B2 s'achève par le dépôt de séries détritiques de démantèlement des ensembles décrits;
4. La seconde phase tectonique D2 est marquée par le plissement schisteux. Cette phase est liée à un contexte tectonique transcurrent marqué par des zones de cisaillement sénestre subméridiens caractéristiques de la Côte d'Ivoire et du craton ouest-africain;
5. La mise en place d'importants massifs de granodiorites à hornblende et biotite, souvent orientés;
6. Tardivement, des décrochements conjugués traduisent une compression est-ouest. Cette déformation est responsable de failles cassantes concomitantes (N130-150° dextres et N50-60° senestres). La minéralisation aurifère est associée à cet épisode;
7. Ensuite, se déposent les conglomérats, type Tarkwaien. Enfin, au cénozoique, s'est développé un profil latéritique classique (cuirasse des plateaux). Plus récemment, ce profil a été rajeunit et partiellement tronqué; réduction de l'épaisseur de la saprolite, un nouveau glacis cuirassé (cuirasse inférieur) s'est développé en contrebas des deux surfaces ou se prolonge sous la cuirasse inférieure (partie nord). L'or est redistribué dans les cuirasses latéritiques qui sont enrichies à leur base ainsi qu'à proximité du bed-rock dans les collusions mixtes de versant.

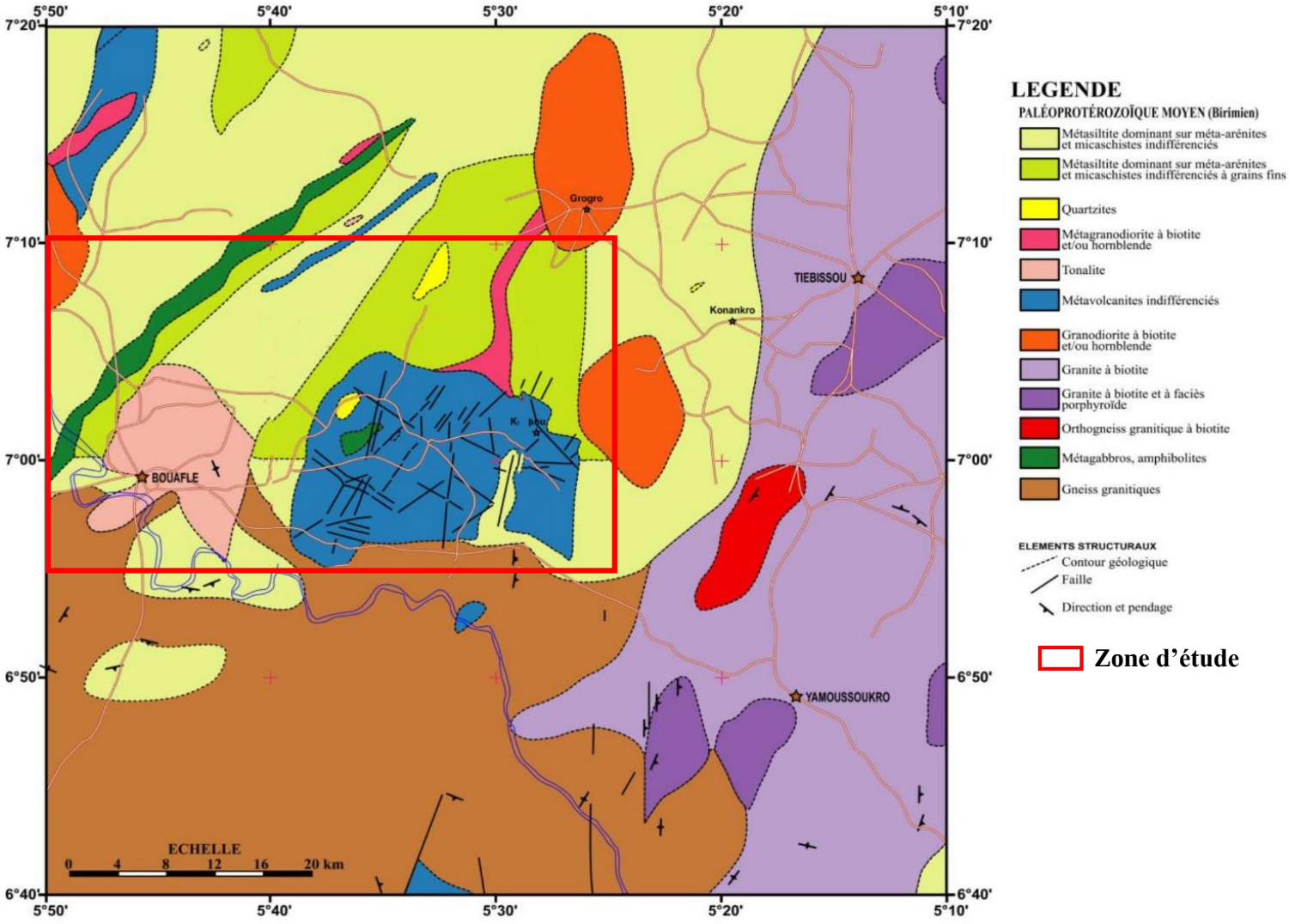


Fig. 2. Carte géologique simplifiée de la mine d'or d'Angovia [1], modifiée d'après [11]

3 MATÉRIEL ET METHODES

Le district du Yaouré est caractérisé par la rareté d'affleurement dû à l'épaisse couverture végétale et à l'altération supergène. Par conséquent, la méthodologie utilisée pour étudier les lithologies du gisement du Yaouré s'est axée non seulement sur plusieurs missions de terrain mais également à consister à l'observation, à la description macroscopique de 36 (trente-six) échantillons de carottes et à la réalisation de lame mince pour l'observation microscopique

4 RESULTATS ET DISCUSSION

4.1 RESULTATS

4.1.1 DONNÉES PÉTROGRAPHIQUES

Les formations géologiques du district du Yaouré observées sur les affleurements et dans les sondages carottés lors de notre mission peuvent être regroupées en trois groupes: les roches magmatiques (plutons, sub-volcaniques et volcaniques), les roches métamorphiques et les roches volcano-sédimentaires.

4.1.1.1 ROCHES MAGMATIQUES

4.1.1.1.1 PLUTONS

GRANODIORITE

Affleurant au centre de la ville de Bouaflé, cette roche s'observe dans la partie ouest de la zone d'étude et dans le prospect de Yaouré. Dans la partie ouest la granodiorite sous forme de dôme présente deux faciès F1 et F2. Le faciès F1 présente un aspect massif, de couleur leucocrate à mésocrate, de texture grenue grossière porphyroïde avec des phénocristaux de feldspaths. Le faciès F2 est grenue moyenne porphyroïde avec des phénocristaux de quartz et plagioclase et se présente sous forme de filon. Le faciès F2 est en intrusion dans le faciès F1 sous forme de filon de direction N120°. Par ailleurs, dans le prospect du Yaouré (dans la concession de la mine) la granodiorite identifiée se présente sous dyke intrusif dans les formations volcaniques a les mêmes caractéristiques minéralogiques que celle (Faciès F1) observée dans la partie ouest de la zone d'étude (Centre-ville de Bouaflé). L'examen microscopique de F1 et F2 révèle une abondance de plagioclases (30%) marqués par un début de damouritisation et d'autres individus de plagioclases sont saussuritisés et albitisés. Le quartz, le microcline, l'amphibole et la muscovite sont aussi présents. On note occasionnellement la présence de calcite, de sphène, de chlorite, d'épidote et de séricite et des minéraux opaques. (Figures 3A & B, et Figures 3C & D).

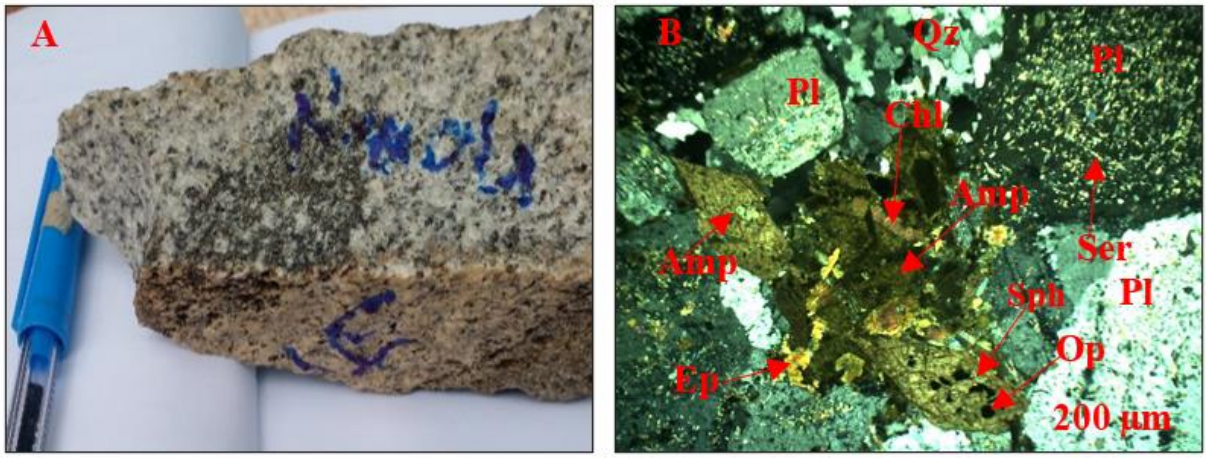


Fig. 3. A & B. Aspect macroscopique et microscopique de la granodiorite F1

A : Echantillon de la granodiorite F1 ; B : Microphotographie de la granodiorite F1, Pl : Plagioclase, Amp : Amphibole, Ep : Epidote, Chl : Chlorite, Op : minéraux opaques, Qz : Quartz, Sph : Sphène, Ser : Séricite

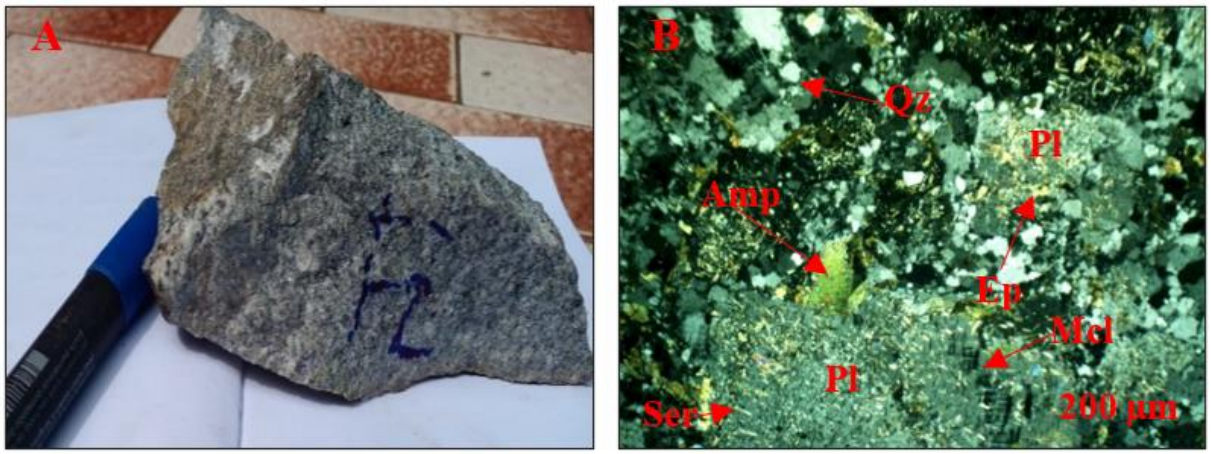


Fig. 3. C & D. Aspect macroscopique et microscopique de la granodiorite F2

A: Echantillons de la granodiorite F2 ; B: Microphotographies de la granodiorite F2, Pl : Plagioclase, Amp : Amphibole, Ep : Epidote, Mlc : Microcline, Qz : Quartz, Ser : Séricite

DIORITE GABBROÏQUE

Ces roches se rencontrent dans la partie nord de la zone d'étude dans le prospect du Yaouré (Govisou). Ces unités sont d'aspect massif, de couleur verdâtre, avec des grains grossiers. L'examen microscopique révèle une texture grenue et une abondance de cristaux d'olivine (35%) de forme automorphe et de teinte variable (bleu- violacé). Ces roches contiennent aussi du pyroxène et du plagioclase. On a accessoirement la calcite, la chlorite et les sulfures (Figures 4A & B).

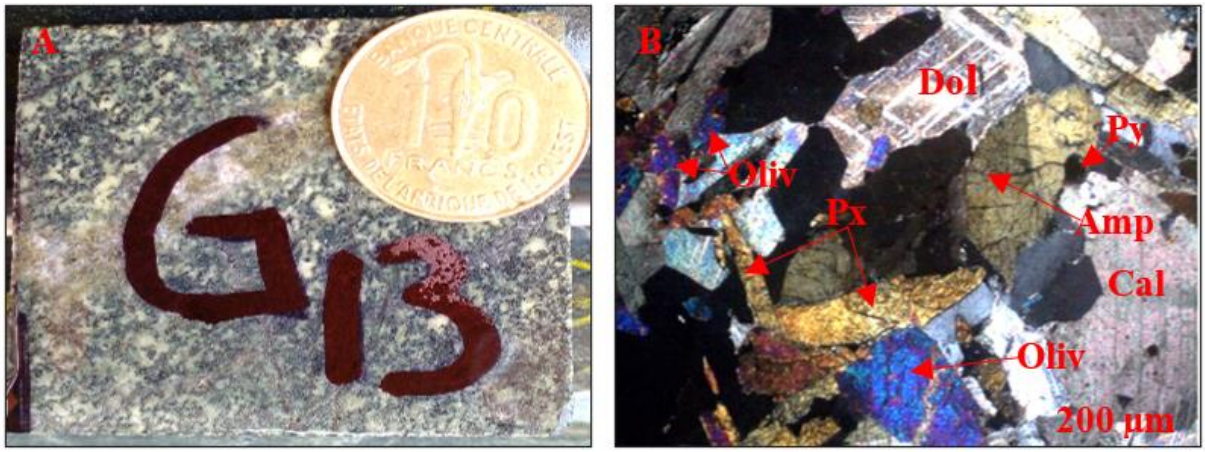


Fig. 4. Aspect macroscopique et microscopique de diorite gabbroïque

A : Echantillon de diorite gabbroïque ; B : microphotographie de diorite gabbroïque ; Amp : Amphibole, Cal : Calcite, Dol : Dolomite, Pl : Plagioclase, Px : Pyroxène, Oliv : Olivine

DIORITE

Les diorites sont des roches basiques intrusives observées dans la partie ouest de la zone d'étude. Elles sont d'aspect massif, mésocrate et de texture grenue porphyroïde. L'examen microscopique révèle une abondance de plagioclase de grande taille dont la plupart a subi une séricitisation. Ces unités sont également constituées de l'amphibole, de pyroxène, de muscovites et de biotites. Les minéraux accessoires sont la chlorite, le sphène, la séricite, le quartz et les minéraux opaques (Figures 5A & B).

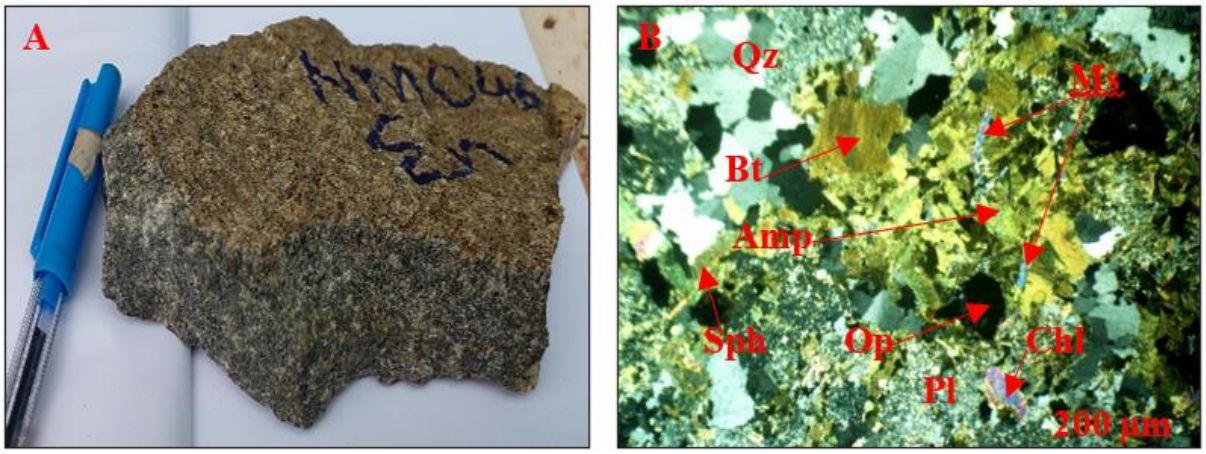


Fig. 5. Aspect macroscopique et microscopique de diorite

A : Echantillon de diorite; B : Microphotographie de diorite, Amp : Amphibole, Bt : Biotite, Chl : Chlorite, Ms : Muscovite, Pl : Plagioclase, Op : Minéraux opaques, Sph : Sphène, Qz : Quartz.

TONALITE

Les tonalites ont été décrites dans le prospect du Yaouré. Les tonalites sont des granitoïdes felsiques intrusives observées dans le prospect de Yaouré et sous forme d'enclave dans la granodiorite dans la partie ouest de la zone d'étude. Ces unités sont d'aspect massif, mésocrate et de texture grenue porphyroïde avec des phénocristaux de plagioclase permettant d'identifier macroscopiquement les minéraux de feldspaths et le minéraux ferromagnésiens. Au microscope, ces roches sont composées de cristaux de plagioclases de grande taille et de forme subautomorphe à automorphe dont la plupart a subi une zonation récurrente caractérisée par un changement de composition chimique, d'orthose, de quartz, d'amphibole et de biotite. Les minéraux accessoires sont la chlorite et l'épidote (Figures 6A & B).

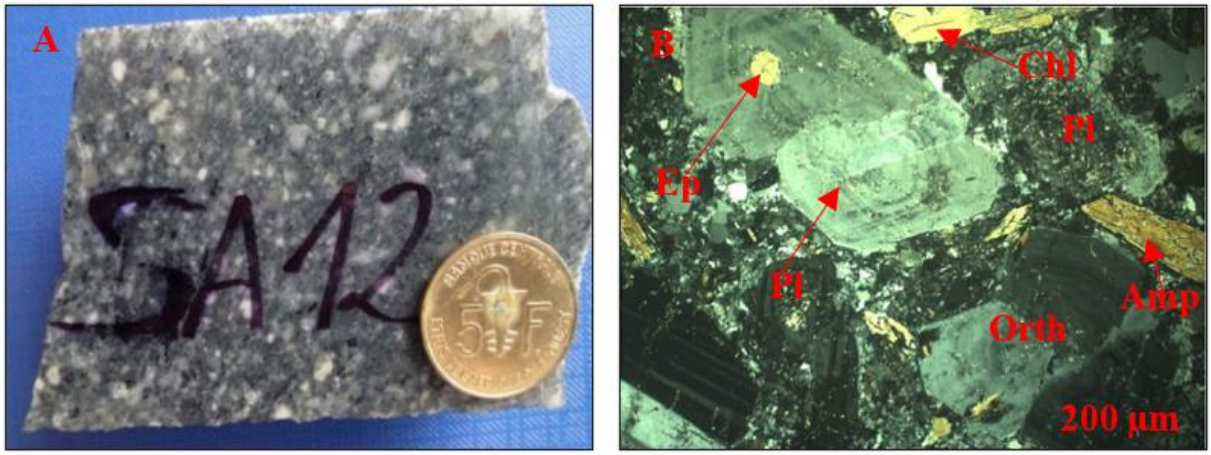


Fig. 6. Aspect macroscopique et microscopique du tonalite

A: Echantillon de carotte de la tonalite, B: Microphotographie de la tonalite, Amp: Amphibole, Chl: Chlorite, Ep: Epidote, Orth: Orthose, Pl: Plagioclase.

GABBRO

Ces formations géologiques se rencontrent dans la partie nord de la zone d'étude dans le village d'Allaiyaokro. Elles sont d'aspect massif, de couleur mésocrate à mélanocrate, avec des grains grossiers. Elles sont composée de feldspaths, amphiboles, pyroxènes et contient une faible quantité de quartz et de biotite. L'observation microscopique révèle que ces unités ont une texture grenue et sont composées de pyroxènes de couleur jaune-orangé à marron et de forme subautomorphe à automorphe, ces cristaux sont généralement allongés et parfois altérés en chlorite. Le plagioclase et l'amphibole sont également présents. Les minéraux accessoires présents sont l'épidote et la chlorite (Figures 7A & B).

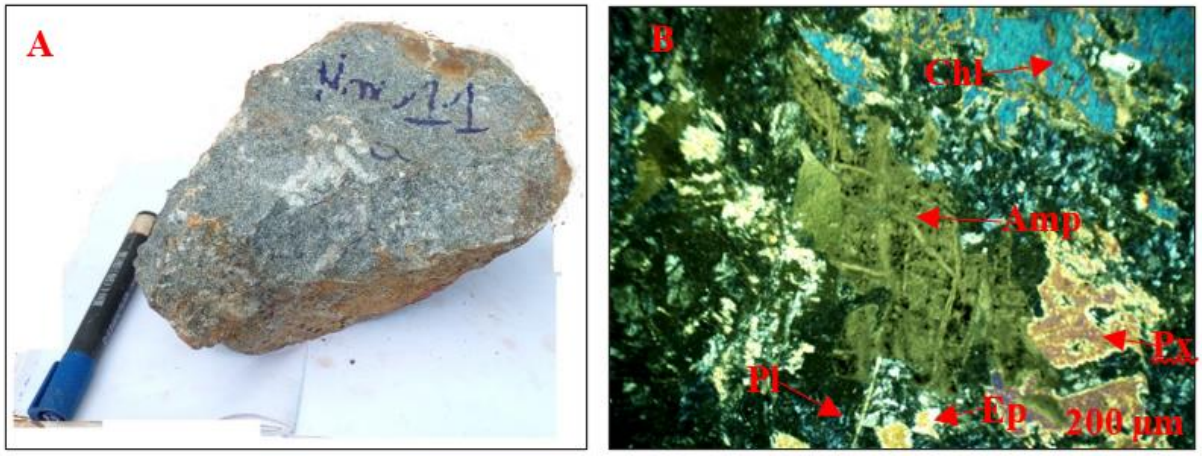


Fig. 7. Aspect macroscopique et microscopique de gabbro

A : Echantillon de gabbro, B : Microphotographie de gabbro, Amp: Amphibole, Chl: Chlorite, Ep: Epidote, Pl: Plagioclase, Px: Pyroxène.

DIORITE QUARTZITE

Les diorites quartzites ont été observées dans le prospect de Yaouré. Ces roches sont d'aspect massif, mésocrate et de texture grenue. Au microscope, ces unités sont composées d'une abondance d'amphiboles en forme d'aiguilles, généralement associées au minéraux felsiques et plus ou moins chloritiséés. Elles sont constituées de plagioclases, de microcline et de quartz. Les minéraux accessoires présents sont la chlorite, l'épidote, et la calcite (Figures 8A & B).

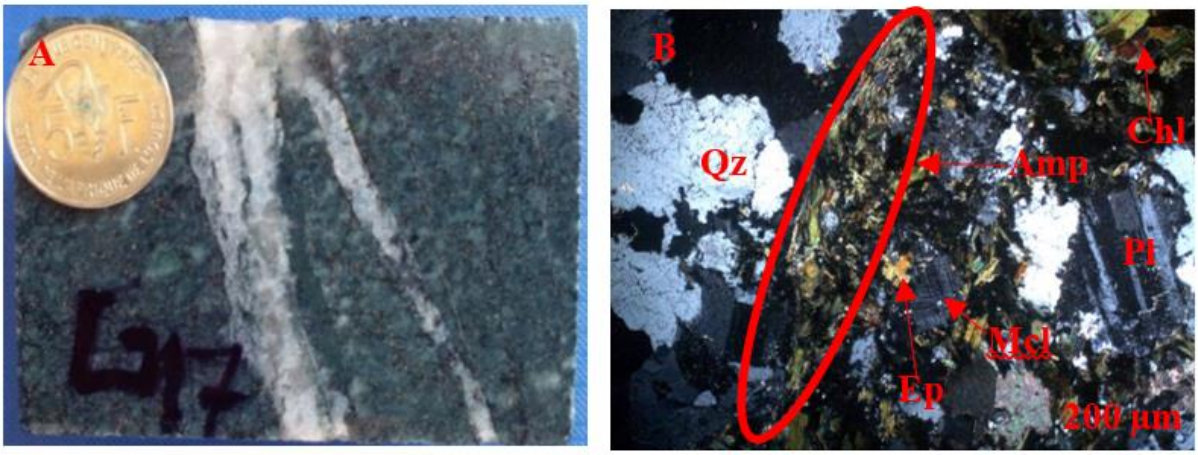


Fig. 8. Aspect macroscopique et microscopique de la diorite quartzite

A : Echantillon de carotte de diorite quartzite, B : Microphotographie de diorite quartzite, Amp: Amphibole, Chl: Chlorite, Ep: Epidote, Mcl : Microcline, Pl: Plagioclase, Qz: Quartz.

4.1.1.2 ROCHES SUB-VOLCANIQUES

Ces unités sont représentées par les microgranites, microgranodiorites, microgabbros et les microdiorites.

MICROGRANITE

Ces formations ont été observées dans le prospect du Yaouré au nord-ouest (Govisou). Ces unités sont d'aspect massif, de couleur mésocrate et présentent une texture microgrenue porphyrique. Au microscope, ces roches sont composées de phénocristaux de quartz de forme subautomorphes à automorphes. Les cristaux de plagioclases, d'orthoses et de biotites. Les minéraux accessoires sont de petits cristaux de quartz xénomorphes recristallisés associés aux plagioclases (Figures 9A & B).

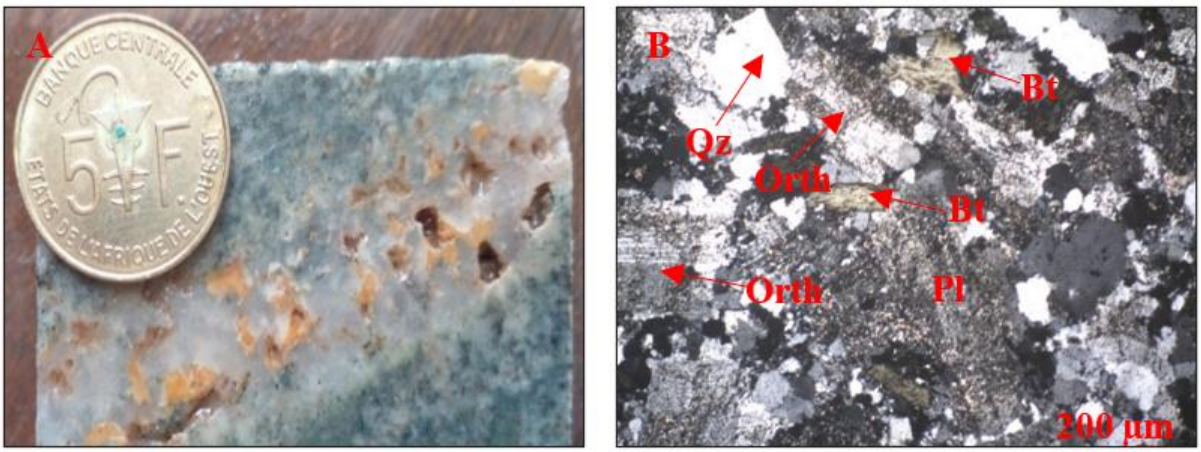


Fig. 9. Aspect macroscopique et microscopique de microgranite

A : Echantillon de carotte de microgranite, B : Microphotographie de microgranite, Bt : Biotite, Orth : Orthose, Pl : Plagioclase, Qz : Quartz.

MICROGRANODIORITE

Ces formations ont été observées à la sortie ouest du barrage de Kossou et dans le prospect du Yaouré au nord-ouest (Govisou). Ces unités sont d'aspect massif, de couleur mésocrate et présentent une texture microgrenue porphyrique. Au microscope, elle présente une texture microgrenue avec des cristaux de plagioclases de taille variable qui moulent avec les cristaux de quartz et de muscovites. Ces unités sont composées également de muscovites, de quartz et d'amphiboles. Les minéraux accessoires sont représentés par l'épidote et les minéraux opaques (Figures 10A & B).

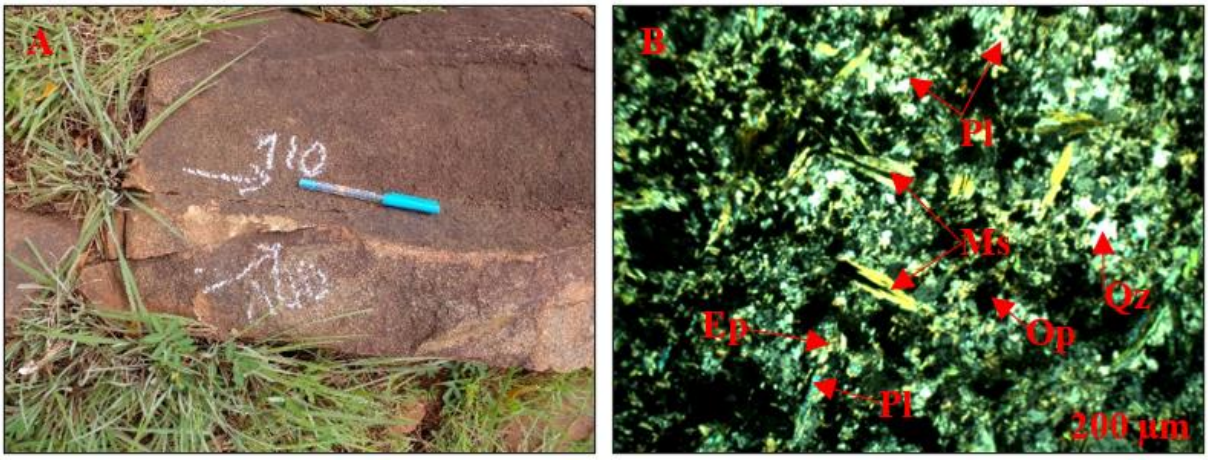


Fig. 10. Aspect macroscopique et microscopique de la microgranodiorite

A : Echantillon de microgranodiorite, B : Microphotographie de microgranodiorite, Ep : Epidote, Ms : Muscovite, Op : Minéraux opaques, Pl : Plagioclase, Qz : quartz

MICROGABBRO

Les microgabbros ont été observés dans la partie nord (route d'Angovia), et ouest (route de Dégbézré) et dans le prospect du Yaouré. Dans la partie nord et dans le prospect du Yaouré la roche est massive. Tandis que dans la partie ouest elle se présente sous forme d'enclave en sigmoïde contenant des pyrites. La roche est de couleur mésocrate à mélanocrate, avec un aspect massif et des grains moyens. Au microscope, ces unités sont composées d'albites allongées et entrecroisées entre lesquelles se trouvent les minéraux de pyroxène parfois altérés en chlorite et en amphibole (Figures 11A & B).

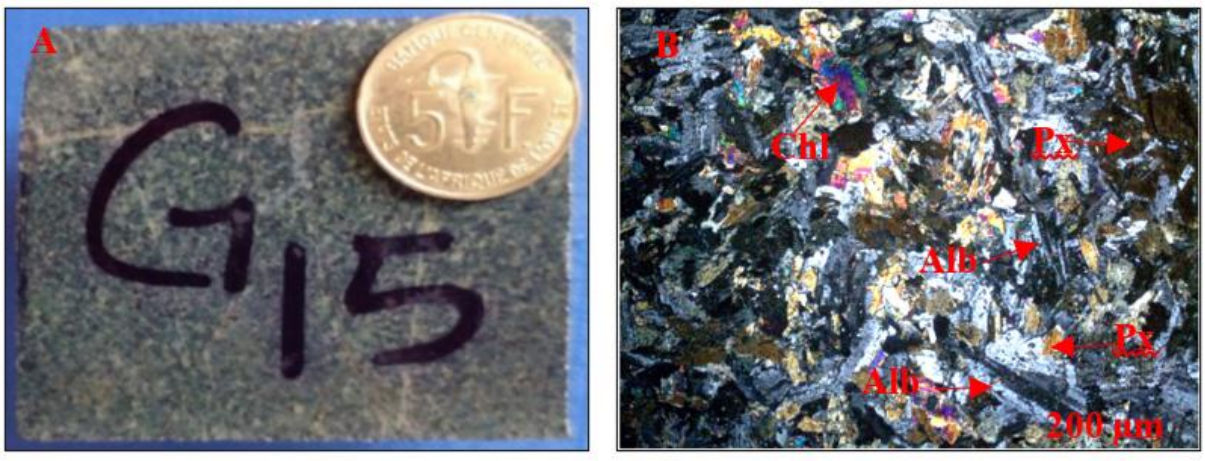


Fig. 11. Aspect macroscopique et microscopique de microgabbro

A : Echantillon de carotte de microgabbro, B : Microphotographie de microgabbro, Alb : Albite, Chl : Chlorite, Px : Pyroxène

MICRODIORITE

Les microdiorites ont été observées dans le prospect du Yaouré (Govisou). Ces formations géologiques sont d'aspect massif, de couleur mésocrate et caractérisées par une texture microgrenue porphyrique. Au microscope, ces unités sont composées d'une abondance de cristaux de plagioclase saussuritisés. Elles sont constituées aussi de biotite chloritisée. Les minéraux accessoires sont composés de chlorite, d'épidote et de calcite (Figures 12A & B).

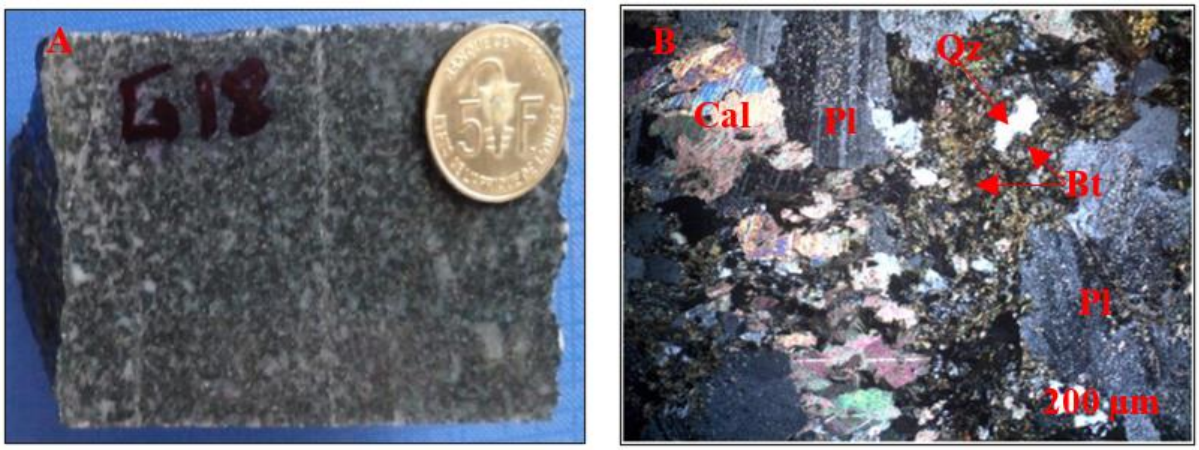


Fig. 12. Aspect macroscopique et microscopique de la microdiorite

A : Echantillon de carotte de microdiorite, B : Microphotographie de microdiorite, Bt : Biotite, Cal : Calcite, Pl : Plagioclase, Qz : Quartz.

4.1.1.2.1

4.1.1.2.1.1 ROCHES VOLCANIQUES

Ces roches sont composées de volcaniques felsiques (dacite, rhyolite, rhyodacite, andésite, trachyandésite) et de volcaniques mafiques (basalte, basalte en cousin, basalte andésitique, basalte à olivine, hornblende basaltique, basalte brèchique).

4.1.1.2.1.2 ROCHES VOLCANIQUES FELSIQUES

DACITE

Cette roche s'observe presque dans le prospect du Yaouré. Elle est de couleur gris-clair et composée macroscopiquement de phénocristaux de quartz et de plagioclase. Au microscope, elle présente une texture microlithique porphyrique avec des phénocristaux de quartz subautomorphe à automorphe contenant des inclusions de minéraux ferromagnésiens (biotite chloritisée). Elle est constituée également de phénocristaux de plagioclase subautomorphe à automorphe. On note accessoirement la présence de chlorite, séricite et de sulfure (Figures 13A, B &C).

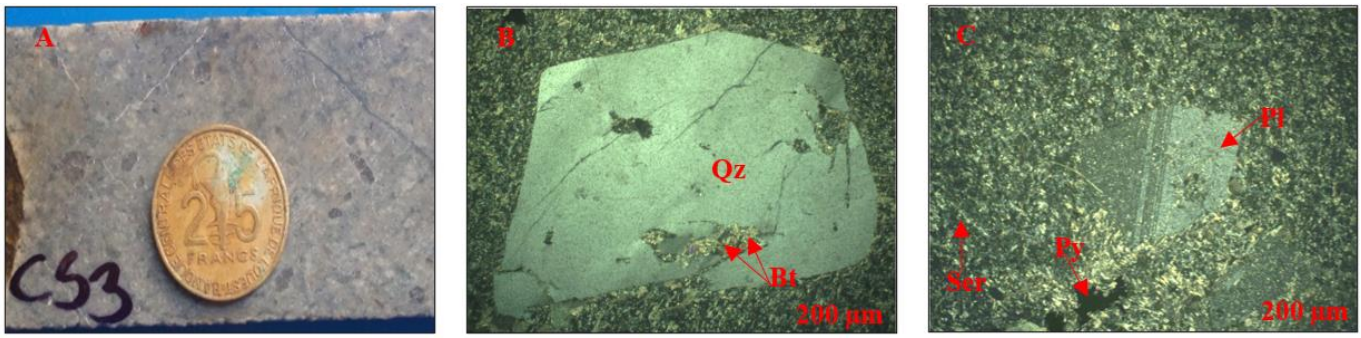


Fig. 13. Aspect macroscopique et microscopique de la dacite

A : Echantillon de carotte de la dacite; B & C : Microphotographie de la dacite, Bt : Biotite, Pl : Plagioclase, Qz : Quartz Ser : Séricite

RHYODACITE & RHYOLITE

Les rhyodacites ont été observées dans le prospect du Yaouré (Govisou). Ces roches sont d'aspect massif, de couleur grise et sont caractérisées par une texture microlithique porphyrique. Au microscope, ces roches sont composées de grands cristaux plagioclase, de feldspath alcalin (sanidine), de biotite aux périphéries chloritisée et quartz automorphe. Les rhyolites comportent des veines de quartz-carbonaté parallèles à la schistosité NE-SW. Au microscope cette même direction NE-SW de veines de quartz-carbonaté syntectonique à la schistosité a été observée dans les rhyolites. Ces veines contiennent des sulfures. Ces unités présentent une texture microlitique et sont constituées de quartz. On observe aussi des reliques de plagioclase (Figures 14A, B & 15C, D*).*

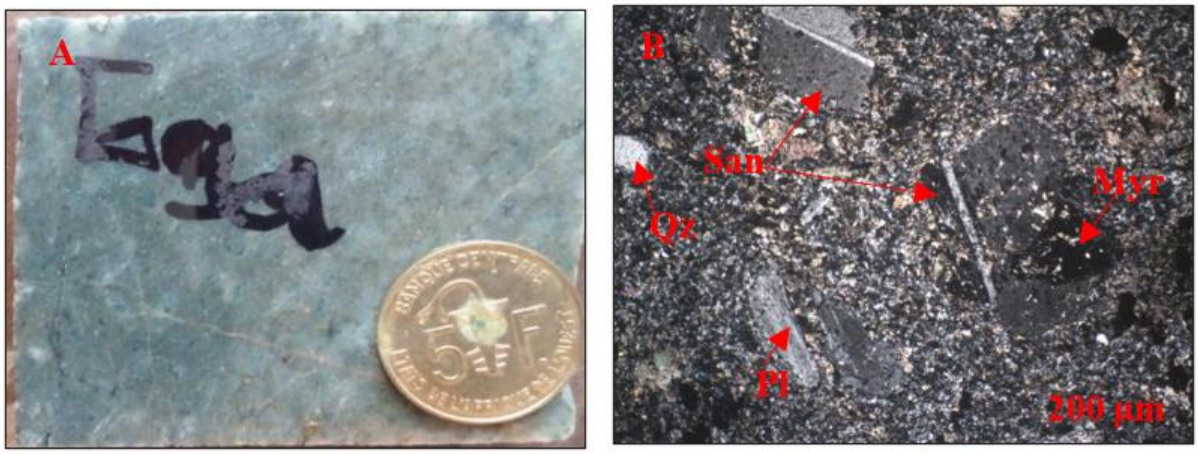


Fig. 14. Aspect macroscopique et microscopique de la rhyodacite

A : Echantillon de carotte de rhyodacite ; B : Microphotographie de dacite, Pl : Plagioclase ; Myr : Myrmékite ; San : Sanidine ; Qz : Quartz.

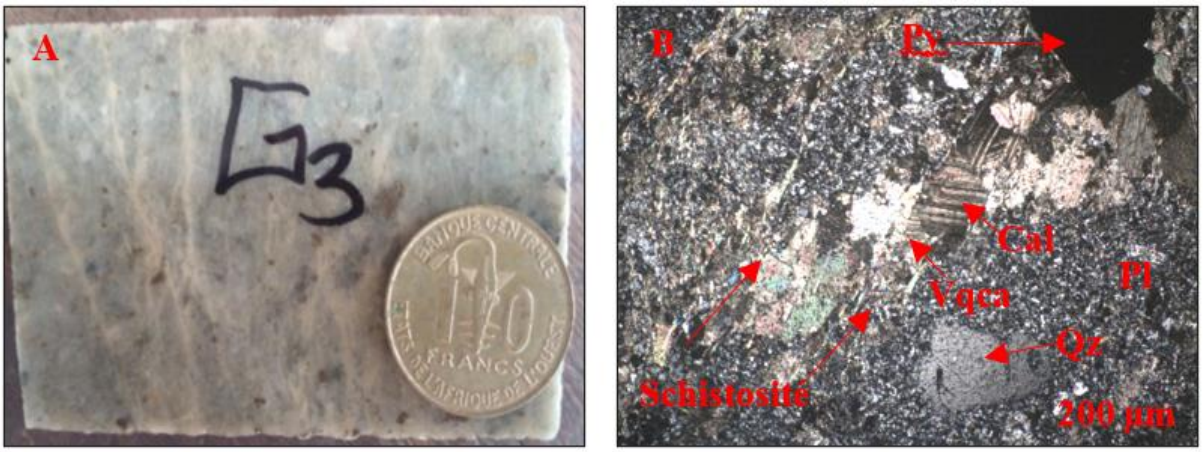


Fig. 15. Aspect macroscopique et microscopique de la rhyolite

A : Echantillon de carotte de rhyolite ; B : microphotographie de rhyolite, Cal : Calcite, Pl : Plagioclase, Py : Pyrite, Qz : Quartz.

ANDÉSITE

Les Andésites ont été décrites dans le prospect de Yaouré. Du point de vue macroscopique, ces roches sont d'aspect massif, mélanocrates. Leur texture microlithique porphyrique permet d'identifier aisément les phénocristaux de plagioclases. Au microscope, on observe une abondance de plagioclases de grande taille dont une large portion a subi deux types d'altérations : la séricitisation et la carbonation. On note accessoirement la présence de calcite, de séricite, de sulfure et quartz xénomorphe et recristallisé (Figures 16A &B).

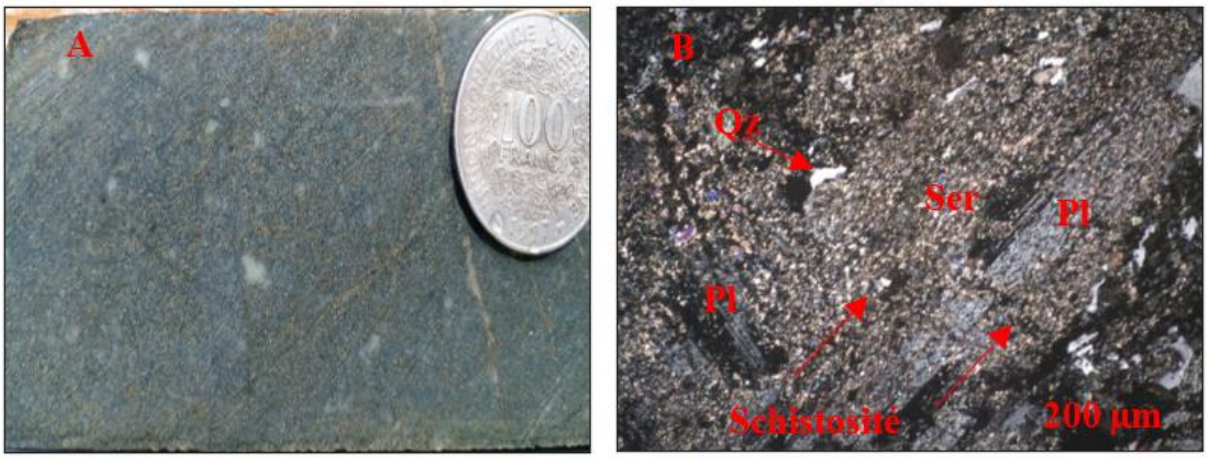


Fig. 16. Aspect macroscopique et microscopique de l'andésite

A : Echantillon de carotte d'andésite ; B : Microphotographie d'andésite, Pl : Plagioclase ; Qz : Quartz, Ser : Séricite

TRACHYANDÉSITE

Les trachyandésites ont été décrits dans le prospect du Yaouré. Ces roches sont d'aspect massif, de couleur mélanocrate et sont caractérisées par une texture microlithique porphyrique avec phénocristaux de feldspath allongés sous forme de baguettes. L'examen microscopique révèle une abondance de petits cristaux de feldspaths alcalins de forme allongée. Ces roches contiennent également de grands cristaux de feldspaths alcalins (Figures 17A & B).

4.1.1.2.1.3 ROCHES VOLCANIQUES MAFIQUES

BASALTE & BASALTE EN COUSSIN

Ces roches ont été observées dans notre zone d'étude. Ces formations sont des roches volcaniques à texture aphanitique, d'aspect massif et parfois déformées. Ces formations de composition basaltique sont économiquement les plus importantes lithologies du district aurifère de Yaouré dans la mesure où l'or y est régulièrement encaissé. Au microscope, ces roches présentent une texture microlitique et sont composées de baguette de microlithes de plagioclases, de pyroxènes qui se moulent avec les microlithes de plagioclase. On observe aussi de l'olivine sous forme d'agrégat. On note accessoirement la présence de calcite et d'épidote qui sont les produits d'altération des plagioclases (Figures 18A, B, & 19A, B).

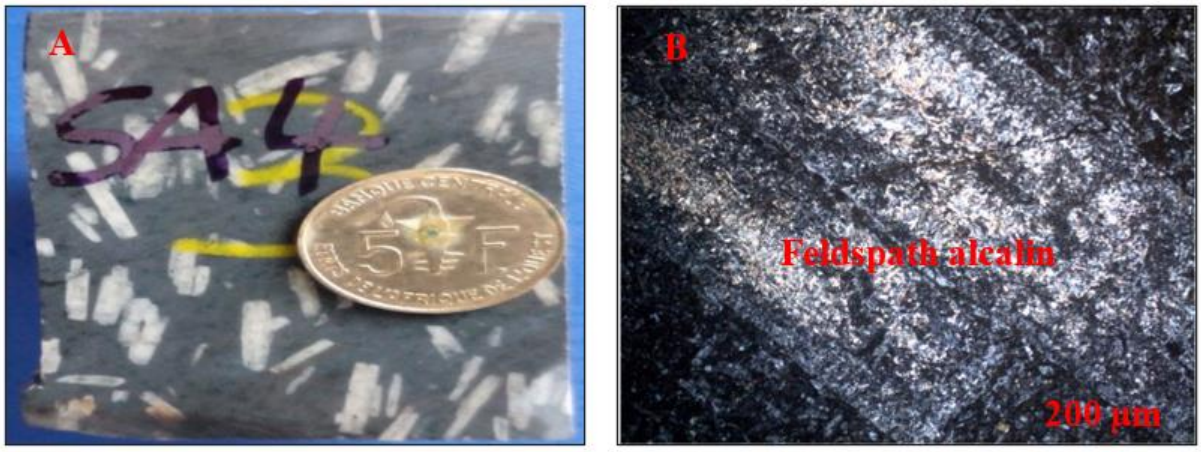


Fig. 17. Aspect macroscopique et microscopique du trachyandésite

A : Echantillon de carotte de la trachyandésite, B : Microphotographie de la trachyandésite.

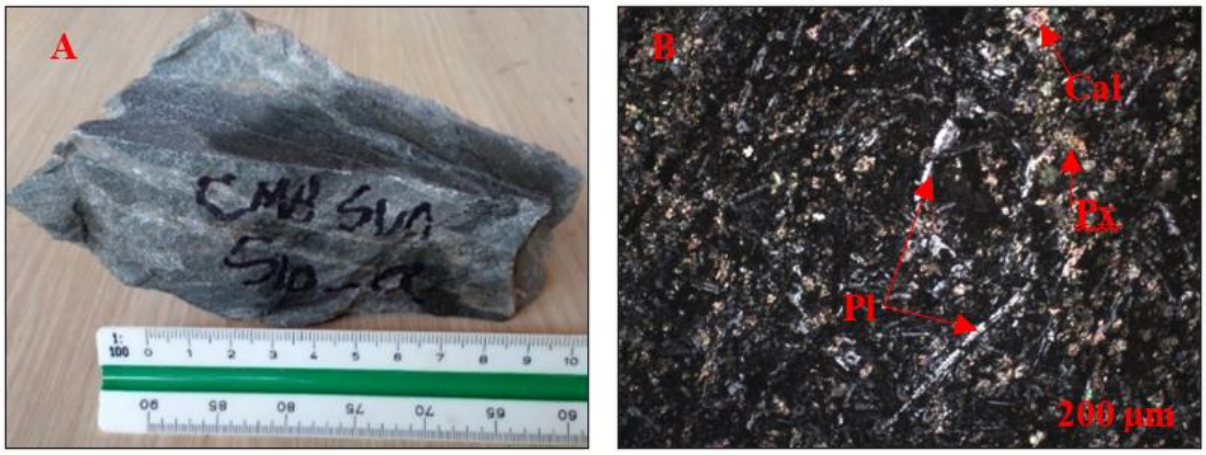


Fig. 18. Aspect macroscopique et microscopique du basalte

A : Echantillon du basalte, B : Microphotographie du basalte, Cal : Calcite, Pl : Plagioclase ; Px : Pyroxène

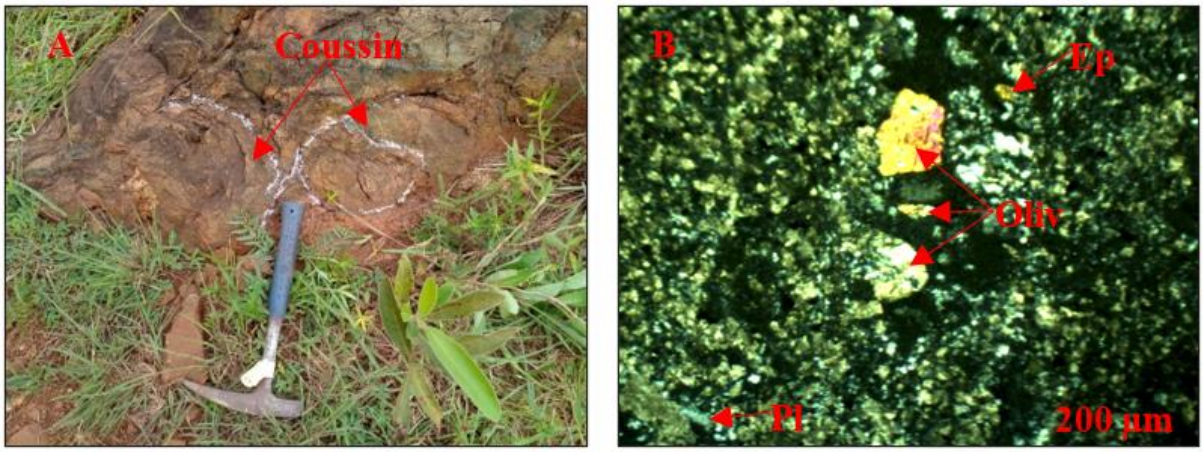


Fig. 19. Aspect macroscopique et microscopique du basalte en coussin

A : Affleurement de basalte en coussin, B : Microphotographie du basalte en coussin, Ep : Epidote, Pl : Plagioclase ; Oliv : Olivine

BASALTE ANDÉSITIQUE

Ces roches ont été observées dans la partie nord-est de la zone d'étude, précisément à l'entrée est du barrage de Kossou. Elles sont aphanitiques, d'aspect massif et de couleur mélanocrate. Au microscopique, ces unités présentent une texture microlithique et sont composées d'une abondance de plagioclases (35%) qui s'observent essentiellement dans la pâte noire ou mésostase. Ces cristaux sont des microlithes allongés sous forme de baguette. Elles sont constituées aussi de pyroxènes et d'olivines. On note accessoirement la calcite, la magnétite et les minéraux opaques. (Figures 20A & B).

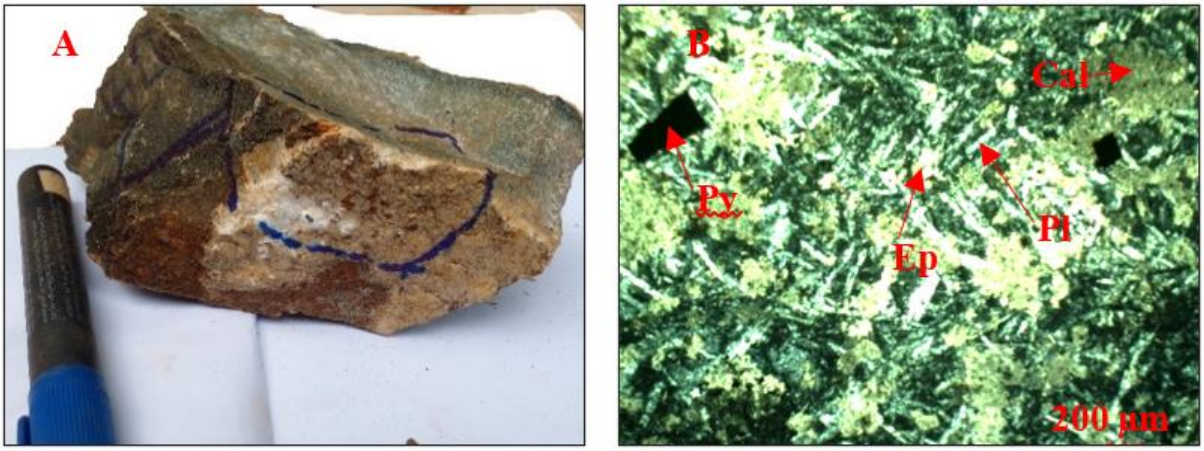


Fig. 20. Aspect macroscopique et microscopique du basalte andésitique

A : Echantillon de basalte andésitique, B : Microphotographie de basalte andésitique, Cal : Calcite, Ep : Epidote, Pl : Plagioclase, Py : Pyrite

BASALTE À OLIVINE

Les basaltes à olivines sont une variété des formations basaltiques. Ces roches ont été observées dans le prospect de Yaouré. Ces unités sont d'aspect massif, de couleur mélanocrate et de texture aphanitique porphyrique avec phénocristaux d'olivine plus ou moins étirés. Au microscope, ces unités présentent une texture grano-lépidoblastique et sont composées majoritairement d'olivines (70%) de taille variable qui ont tendance à suivre une direction donnée. Le pyroxène (2%) y est présent, mais en très petit nombre. On note accessoirement l'épidote, la calcite et les sulfures (Figures 21A & B).

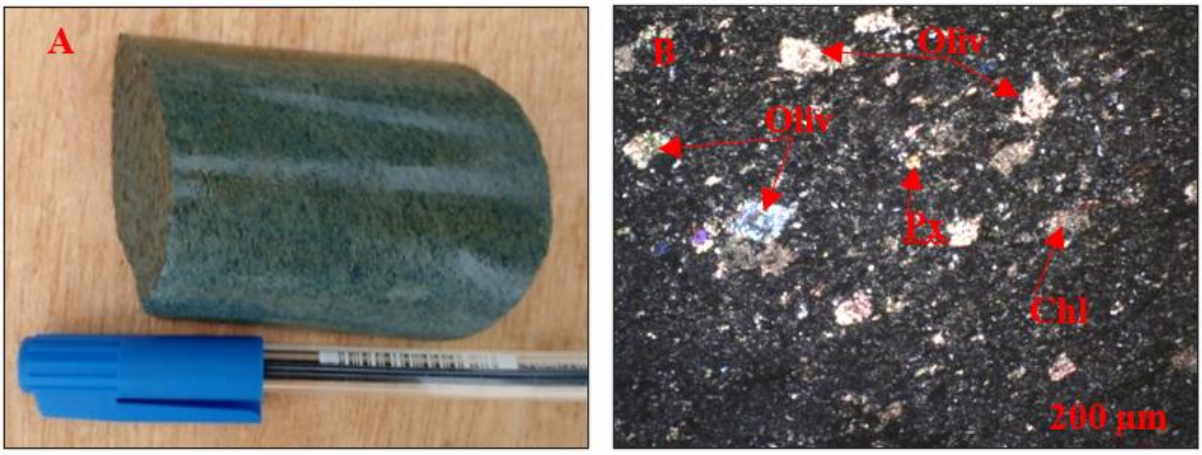


Fig. 21. Aspect macroscopique et microscopique du basalte à olivine

A : Echantillon de carotte de basalte à olivine ; B : microphotographie de basalte à olivine, Chl : Chlorite, Px : Pyroxène, Oliv : Olivine.

HORNBLENDE BASALTIQUE

Ces unités ont été observées dans le prospect de Yaouré. Ces roches se présentes sous forme de dyke intrusif. Elles sont d'aspect massif, de couleur mésocrate à mélanocrate et de texture microlithique porphyrique avec phénocristaux d'amphibole. Au microscope, ces formations sont composées d'une abondance cristaux d'hornblende (50%), de couleur brune à vert et de forme automorphe plus ou moins losangique. Ces cristaux d'amphibole se moulent avec les microlithes de plagioclases. Cette unité contient des sulfures (Figures 22A & B).

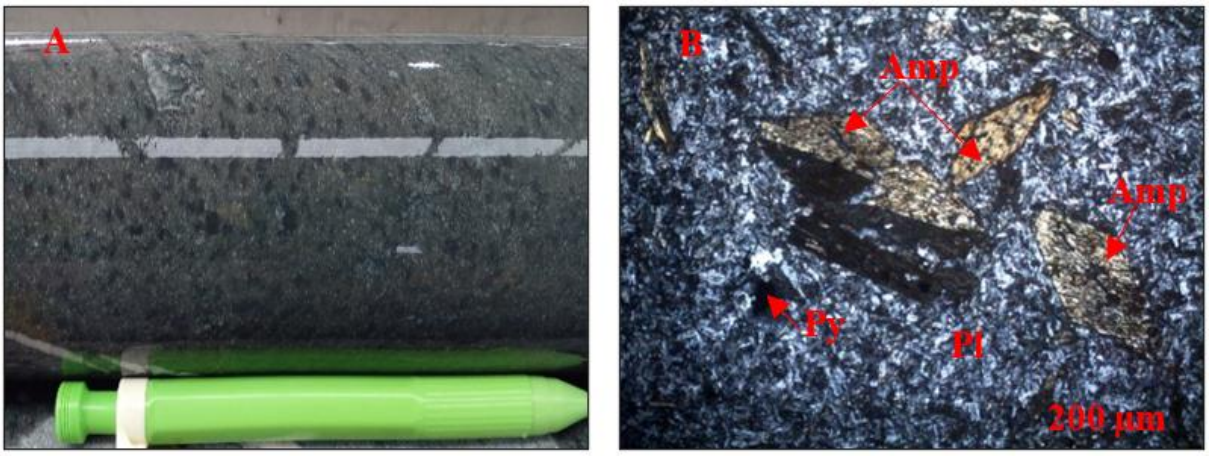


Fig. 22. Aspect macroscopique et microscopique de la hornblende basaltique

A : Echantillon de carotte de la hornblende basaltique; B : microphotographie de la hornblende basaltique, Amp : Amphibole, Pl : Plagioclase, Py : Pyrite.

BASALTE BRÈCHIQUE

Les basaltes brèchiques ont été décrits dans le prospect de Yaouré. Ces unités sont des basaltes saturés en silice. Ces roches contiennent du quartz, parfois sous forme de reliques et de claste. Ces formations sont d'aspect massif, de couleur mésocrate, de structure aphanitique et sont composées de brèches hydrothermales. Au microscope, ces unités présentent une texture microlithique et sont composées d'une abondance cristaux de plagioclases en baguette sous forme de microlithe, de quartz et de pyroxène. Les minéraux accessoires présents sont constitués de calcite et sulfures (pyrite) (Figures 23A & B).

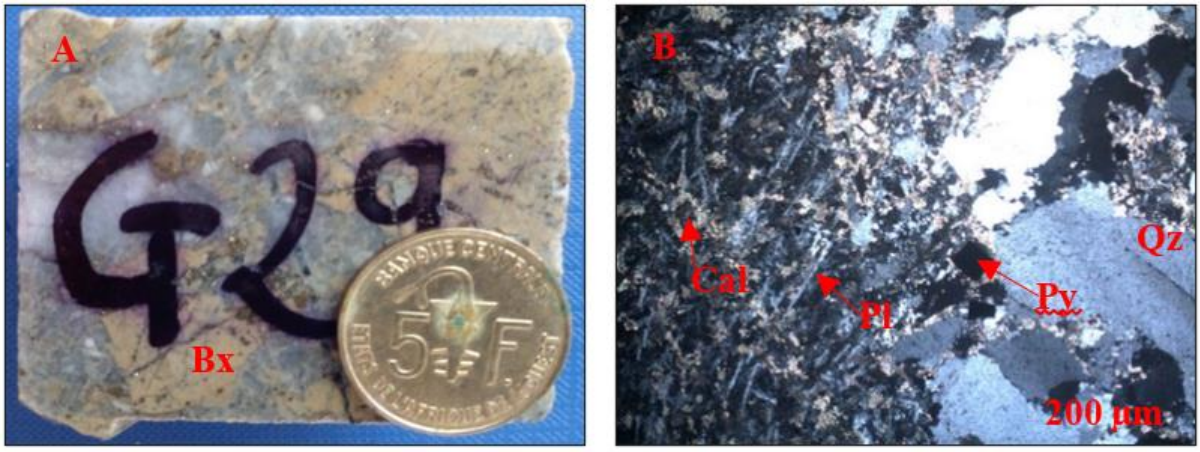


Fig. 23. Aspect macroscopique et microscopique du basalte brèchique

A : Echantillon de carotte du basalte brèchique, B : microphotographie du basalte brèchique, Cal : Calcite, Pl : Plagioclase, Py : Pyrite, Qz : Quartz

4.1.1.3 ROCHES METAMORPHIQUES

Les roches métamorphiques sont constituées de gneiss à biotite, gneiss granodioritique, quartzite, amphibolite, amphibolo-pyroxénite, méta-arénite et blastomylonite.

GNEISS À BIOTITE

Ces unités ont été décrites dans le prospect de Yaouré (CMA Sud). Ces roches métamorphiques sont formées par déformation ductile lors d'un cisaillement intense. De couleur brunâtre, ces unités présentent des plans de schistosité et sont affectées par de nombreuses veines de quartz carbonaté et sont constituées de minéraux ferromagnésiens étirés. Au microscope, ces formations présentent une texture grano-lépidoblastique et sont composées d'une abondance de biotites brune étirées sous forme de baguette suivant deux plans de schistosités orientés NNE-SSW et NW-SE. La schistosité orientée NW-SE, recoupe celle orientée NNE-SSW. On observe aussi du quartz xénomorphe parfois déformé. Les reliques de plagioclase sont altérés en en épidote et en calcite. On note occasionnellement les minéraux accessoires que sont l'épidote, la calcite et les sulfures (pyrites, pyrrhotites) (Figures 24A & B).

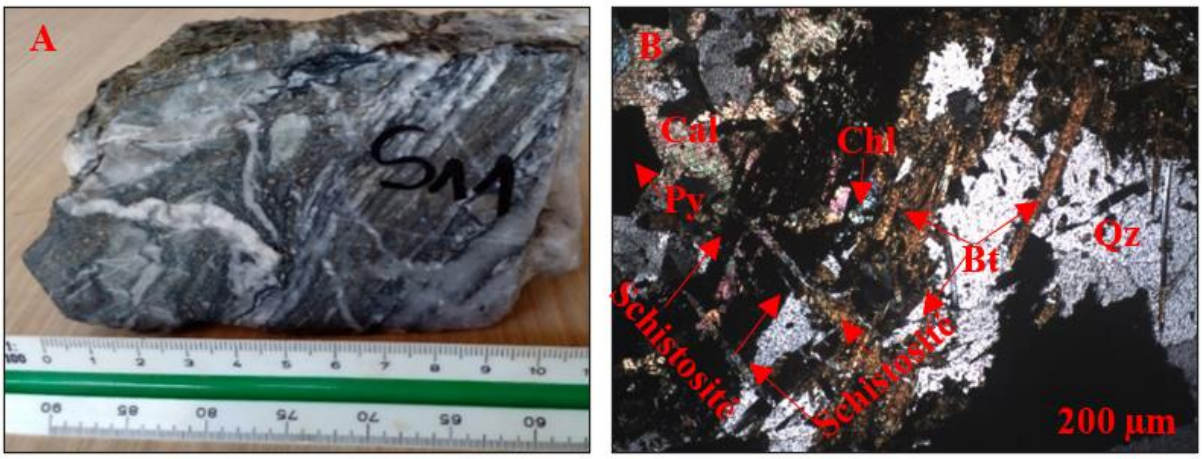


Fig. 24. Aspect macroscopique et microscopique du gneiss à biotite

A : Echantillon de gneiss à biotite, B : microphotographie de gneiss à biotite, Bt : Biotite, Cal : Calcite, Chl : Chlorite, Py : Pyrite, Qz : Quartz

GNEISS GRANODIORITIQUE

Cette formation s'observe à la limite Yaouré et Bouaflé de la zone d'étude. Elle a un aspect massif, une couleur mésocrate, avec des grains grossiers. Elle est constituée de quartz, plagioclases, feldspaths potassiques et de biotites. Cette formation est affectée par une légère foliation de direction N40°. Au microscopique ces unités présentent une texture grano-lépidoblastique et sont constituées de cristaux plagioclase subautomorphes à automorphes, marqués par un seul type d'altération : damouritisation. Ces unités sont aussi composées de quartz, amphibole, microcline, orthose et de biotite. On note accessoirement la présence de chlorite, épidote et de séricite (Figures 25A & B).

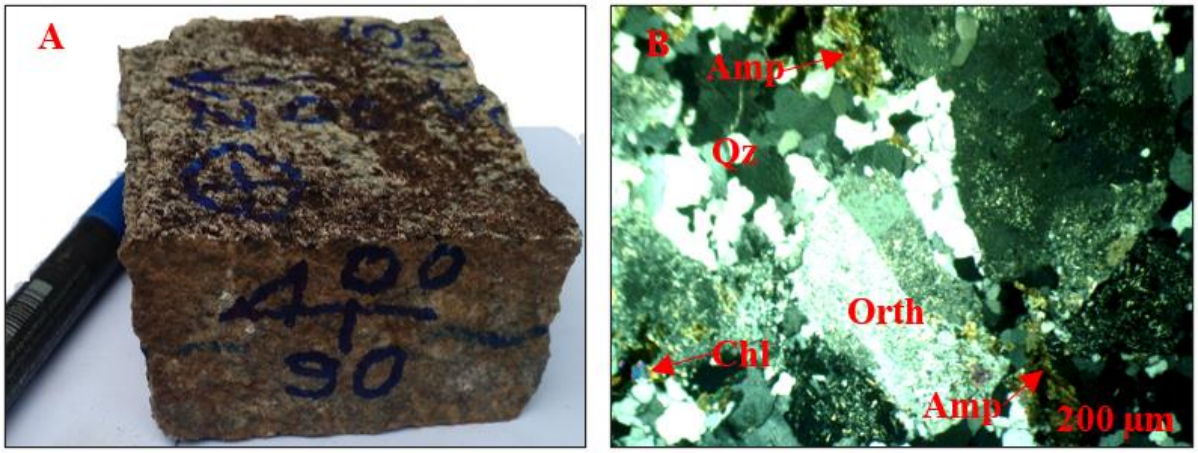


Fig. 25. Aspect macroscopique et microscopique du gneiss granodioritique

A : Echantillon de gneiss granodioritique, B : microphotographie de gneiss granodioritique, Amp : Amphibole, Chl : Chlorite, Orth : Orthose, Qz : Quartz.

QUARTZITE

Cette roche a été observée le long de la route Angovia-Digue (partie nord de la zone d'étude). Elle se présente sous deux aspects, parfois sous forme de volante (Figure 26A), ou souvent intercalée (Figure 26C) entre les métasédiments affectés de schistosités orientées NE-SW et plongeant vers le nord-ouest. Le premier faciès est mélanocrate, avec des grains moyens à fins. Au microscope, le premier faciès présente une texture granoblastique avec trois générations de quartz (avec des cristaux de quartz non orientés) (Figure 26B). Par contre, le deuxième faciès est holomélanocrate, avec des grains très fins. Au microscope, le deuxième faciès présente une texture grano-lépidoblastique et est composé de deux générations de quartz (avec des cristaux de quartz orientés respectivement N-S et NE-SW) (Figure 26D).

AMPHIBOLITE

Cette roche se présente sous forme de volante. Elle est observable dans la partie nord de la zone d'étude le long de la route d'Angovia. Elle a un aspect massif, de couleur mélanocrate. Au microscope, elle présente une texture grano-nématoblastique avec une abondance de cristaux d'amphiboles de couleur vert-sombre. Ces cristaux sont automorphes trapus à aciculaires, de taille variable. Ces amphiboles sont plus ou moins ordonnées dans les plans de schistosité et contenus dans une bande cisaillée sombre orientée N-S. Ces cristaux d'amphiboles contiennent des inclusions de minéraux opaques, automorphes ou xénomorphes leur caractérisant de texture poeciblastique. On observe aussi des cristaux de plagioclases et quartz. Les cristaux de plagioclases sont associés au quartz, avec lesquels ils constituent des lits quartzo-feldspathiques alternant avec les amphiboles (amphibolite rubanée). La plupart des cristaux de quartz sont présents sous forme de veine de quartz dans la matrice rubanée. Ces cristaux de quartz présentent une extinction roulante avec une silicification sécante la schistosité. Les minéraux accessoires sont composés de minéraux opaques (Figures 27A & B).

MÉTA-ARÉNITE

Cette formation se présente sous forme de volante. Elle est observable dans la partie nord de la zone d'étude le long de la route de Kossou-Toumokro. Elle a un aspect massif, de couleur leucocrate, avec des grains moyen à fins. Elle est formée par les grains de sable enrobé dans un ciment. Au microscope, elle présente une texture grano-lépidoblastique avec une abondance

cristaux de quartz de taille variable, ces cristaux de quartz se présentent sous forme de claste disséminés dans la roche. Cette roche contient aussi du plagioclase et de l'amphibole. Marqués par l'épidotitisation, ces plagioclases sont subautomorphes à automorphes et saussuritisés. Quant aux amphiboles, elles sont de forme automorphe et se moulent avec les cristaux de plagioclases et de quartz. Accessoirement on a l'épidote (Figures 28A& B).

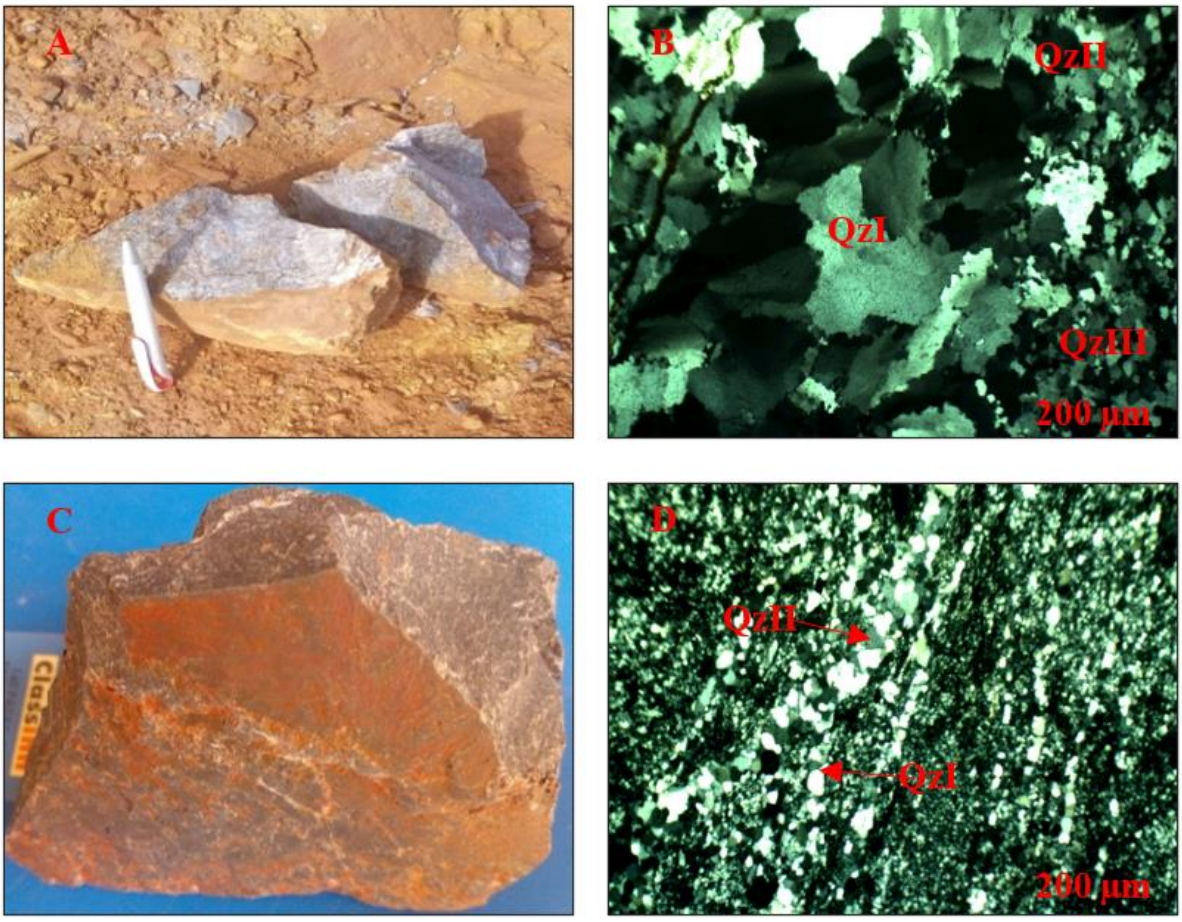


Fig. 26. . Aspect macroscopique et microscopique du quartzite

A : Echantillon du quartzite, B : microphotographie du quartzite, QzI : Quartz primaire, QzII : Quartz secondaire, QzIII : Quartz tertiaire

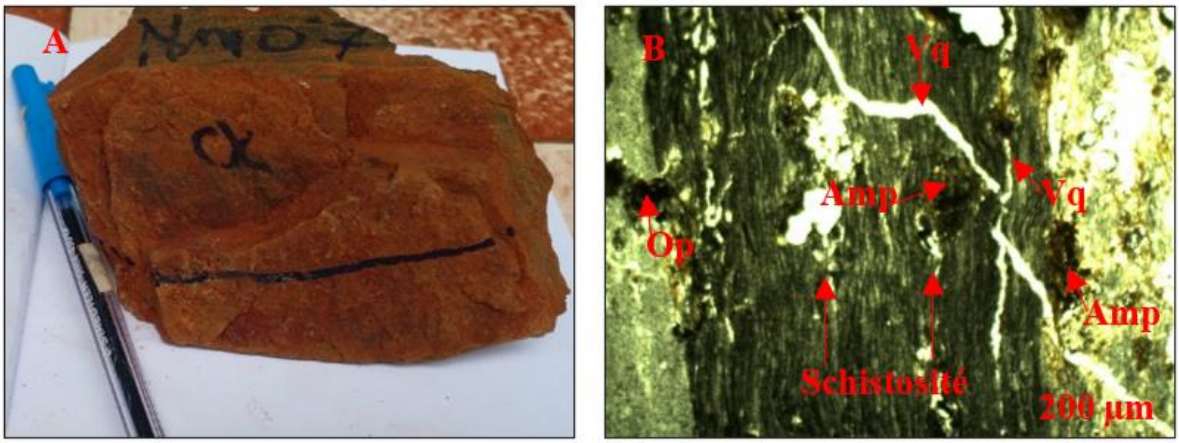


Fig. 27. Aspect macroscopique et microscopique de l'amphibolite

A : Echantillon de l'amphibolite, B : microphotographie de l'amphibolite, Amp : Amphibole, Op : Minéraux opaques, Vq : Veine de quartz.

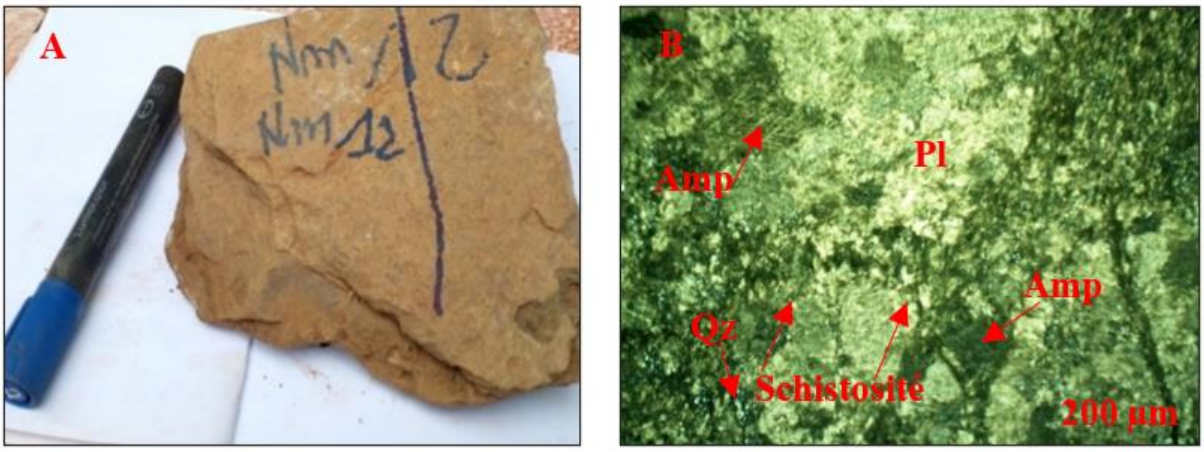


Fig. 28. Aspect macroscopique et microscopique du méta-arénite

A : Echantillon de méta-arénite, B : microphotographie de méta-arénite, Amp : Amphibole, Pl : Plagioclase, Qz : quartz.

BLASTOMYLONITE

Ces roches ont été décrites dans le prospect de Yaouré. Ces unités sont des roches de cisaillement, c'est-à-dire roches dont la déformation a été tellement intense que la roche est entièrement déformée. Les minéraux qui la composent sont allongés. Ces roches sont d'aspect massif, de couleur grisâtre et ayant une composition de grains moyen à fin. Au microscope, ces roches grano-lépidoblastique et sont composées d'une abondance de quartz néoformé, xénomorphe plus ou moins étirés et aux périphéries cisaillées, de feldspaths altéré en carbonate (calcite et dolomite). On note accessoirement l'épidote, la calcite, la chlorite et les sulfures (pyrite, chalcopyrite, pyrrhotite) (Figures 29A & B).

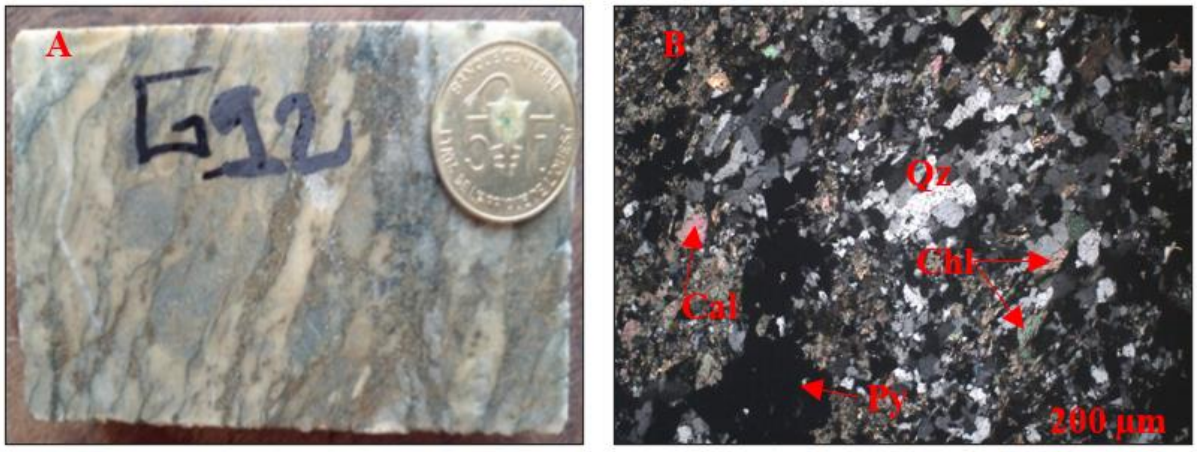


Fig. 29. Aspect macroscopique et microscopique du blastomylonite

A : Echantillon de carotte du blastomylonite, B : microphotographie du blastomylonite, Cal : Calcite, Chl : Chlorite, Py : Pyrite, Qz : Quartz

AMPHIBOLO-PYROXÉNITE

Les amphibolo-pyroxénites ont été observés dans le prospect du Yaouré. Ces roches sont intercalées dans un couloir de cisaillement orientée N80°. Ces unités sont d'aspect massif, de couleurs rouge de rouille à sombre. L'examen microscopique montre que ces formations sont caractérisées par une texture grano-lépidoblastique avec une abondance de minéraux d'amphiboles et de pyroxènes. Généralement de couleurs vert à brun, les cristaux d'amphiboles sont automorphes et s'entrecroisent avec les pyroxènes. Les minéraux de pyroxènes sont de couleur jaune orangé à marron, plus ou moins étirés ayant tendance à suivre une orientation préférentielle. Ces roches contiennent aussi du feldspath qui se moule avec les minéraux d'amphiboles et de pyroxènes. On note accessoirement la présence de minéraux de quartz néoformés issus de l'altération du feldspath (Figures 30A &B).

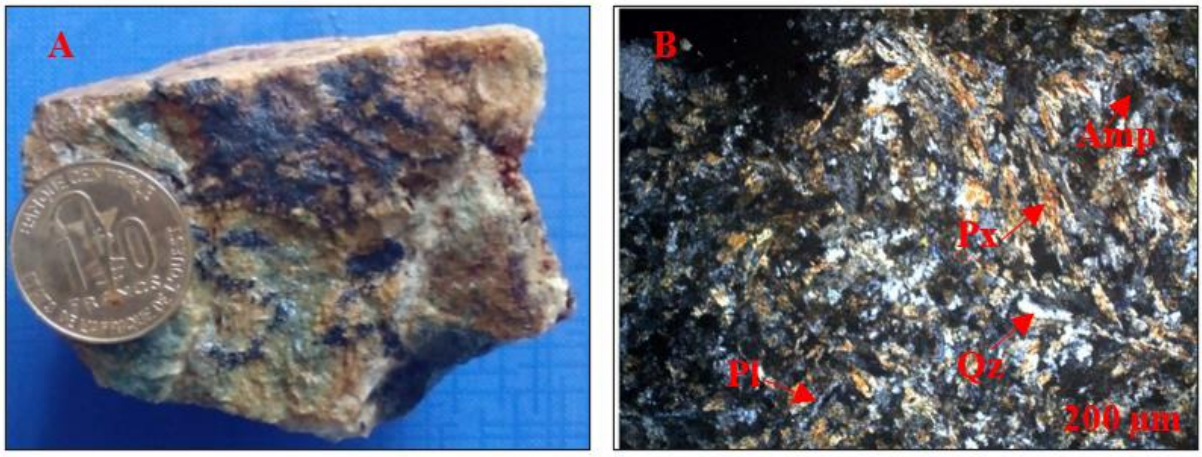


Fig. 30. Aspect macroscopique et microscopique de l'amphibolo-pyroxénite

A : Echantillon de l'amphibolo-pyroxénite, B : microphotographie de l'amphibolo-pyroxénite, Amp : Amphibole, Pl : Plagioclase, Px : Pyroxène, Qz : Quartz.

4.1.1.4 ROCHES VOLCANO-SEDIMENTAIRES

Les roches volcano-sédimentaires sont représentées par les pyroclastites, schistes graphitiques, schistes sériciteux, schistes arkosiques, conglomérats, grès, grauwackes et pélites.

PYROCLASTITE

Les pyroclastites ont été décrits dans le prospecte Govisou. Ces roches s'observent généralement dans les zones de cisaillement. Sous l'effet du métamorphisme, de la déformation ductile et de l'altération hydrothermale, les minéraux des pyroclastites se déstabilisent, créant ainsi le déséquilibre de leurs structures initiales pour se transformer en mylonites. Ces roches sont de couleur brune et caractérisées par un étirement des minéraux. Au microscope, ces roches montrent une texture lépidoblastique légèrement déformée. Ils sont composés principalement de biotite boudinée parallèle à la schistosité flux, de carbonate tardif plus ou moins étirée, de quartz généralement boudiné, étiré, recristallisé et également parallèle la schistosité et de plagioclase. Les minéraux accessoires sont représentés par l'épidote, les sulfures (Figures 31A & B).

Fig. 31. Aspect macroscopique et microscopique du pyroclastite

A : Echantillon de carotte du pyroclastite, B : microphotographie du pyroclastite, Bt : Biotite, Pl : Plagioclase, Qz : Quartz

SCHISTE GRAPHITIQUE

Les schistes graphitiques ont été décrits dans le prospect de Yaouré (CMA sud). Ces schistes noirs peu répandus sont intercalés entre les formations basaltiques. Ces sédiments sont à grains fins, d'aspect massif et de couleur très sombre (noire) dû à la présence de graphite qui est l'un des allotropes naturels du carbone. L'observation microscopique montre que ces roches ont une texture lépidoblastique avec une schistosité orientée N-S et des pendages subverticaux. Ces unités sont composées de veines de quartz carbonaté contenant des pyrites et recoupés par des veinules de quartz carbonaté orientés NE-SW créant une texture en stockwork. Ces veinules contiennent également des pyrites. La biotite et le pyroxène sont aussi présents dans la matrice. La biotite de couleur brune est allongée sous forme de petite baguette. Le pyroxène de couleur marron-orangé et de forme plus ou moins subautomorphe à automorphe est moins abondant dans la matrice. Les minéraux accessoires présents sont la calcite et le sulfure (pyrite) (Figures 32A & B).

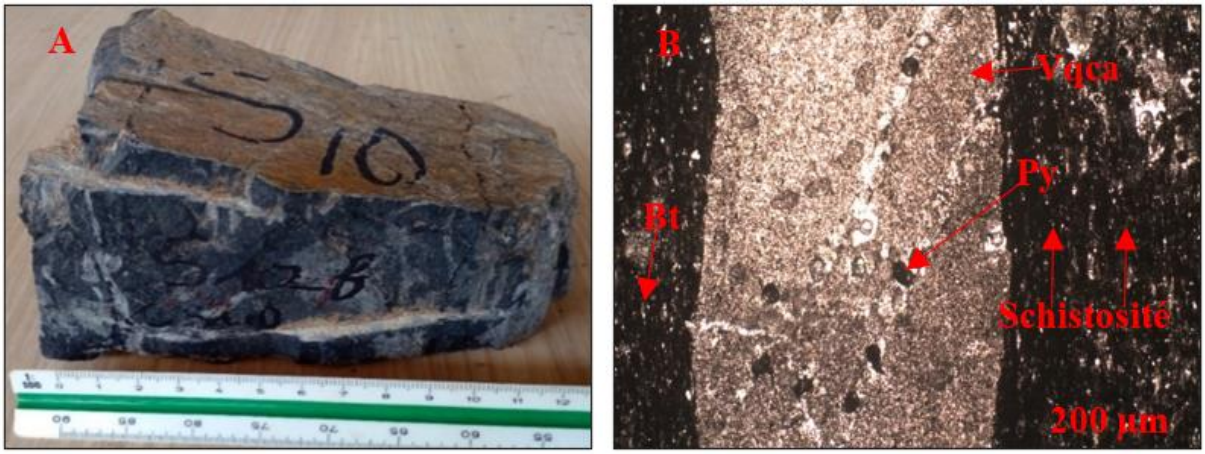


Fig. 32. Aspect macroscopique et microscopique du schiste graphitique

A : Echantillon du schiste graphitique, B : microphotographie du schiste graphitique, Bt : Biotite, Py : Pyrite, Vqca : Veine de quartz carbonaté.

SCHISTE ARKOSIQUE

Cette roche se localise au nord-ouest à proximité de la localité de Pakouabo de la zone d'étude. Elle présente un aspect massif, une couleur mésocrate, avec des grains moyens à fins. Les schistosités qui affectent la roche sont orientée N020° à N060° et plongent vers le sud-est. La roche est aussi recoupée par des filons de quartz orientés N020° à N040° contenant des fentes de tension en échelon orientées N140°. L'examen microscopique montre que ces roches ont une texture lépidoblastique et sont composées de cristaux de plagioclases subautomorphes à automorphes. Ces cristaux sont parfois serpentinés à leurs périphéries par une matrice de micas blancs. Ces micas épousent la direction NNE-SSW à NE-SW de la schistosité ayant affectée la roche. Certains cristaux de plagioclases se moulent avec les cristaux de quartz et de biotite. Ces unités contiennent aussi du quartz, muscovite et de la biotite plus ou moins chloritisée. On note accessoirement la présence de chlorite, sphène et de minéraux opaques (Figures 33A & B).

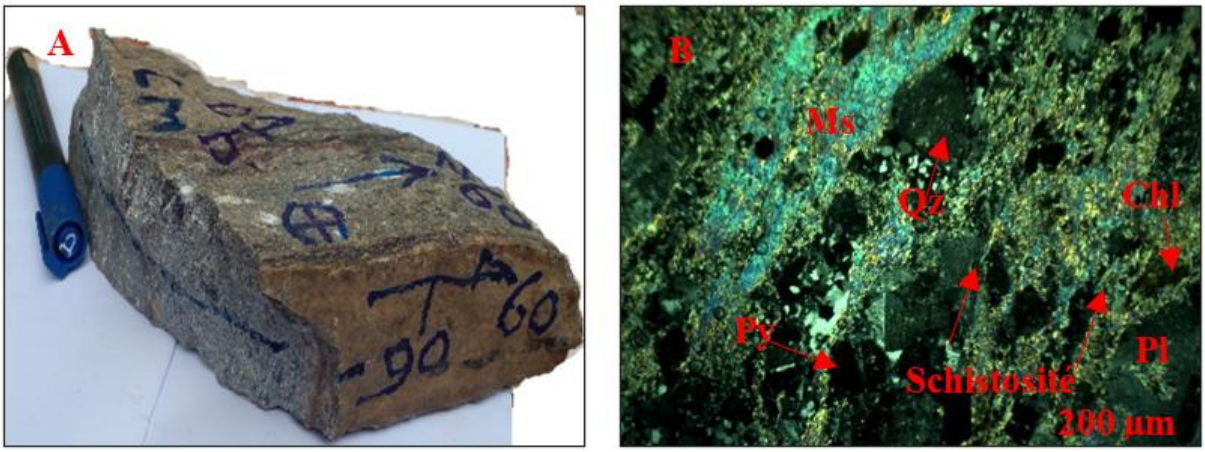


Fig. 33. Aspect macroscopique et microscopique du schiste arkosique

A : Echantillon du schiste arkosique, B : microphotographie du schiste arkosique, Chl : Chlorite, Ms : Muscovite, Pl : Plagioclase, Py : Pyrite.

SCHISTE SÉRICITEUX

Les schistes sériciteux ont été observés dans le prospect de Yaouré (CMA sud). Ces formations sont massives. Au microscope, ces roches présentent une texture lépidoblastique et sont riches principalement en séricite, en quartz et en carbonates. La séricite est à grains très fins et d'aspect fibreux. Elle est issue de l'altération de relique de feldspaths. Le quartz et la carbonate se présentent sous forme de veinules boudinées dans la matrice de la roche. Les minéraux accessoires sont représentés par les sulfures (pyrites) automorphes disposés de façon alignée dans la matrice de la séricite. (Figures 34A & B).

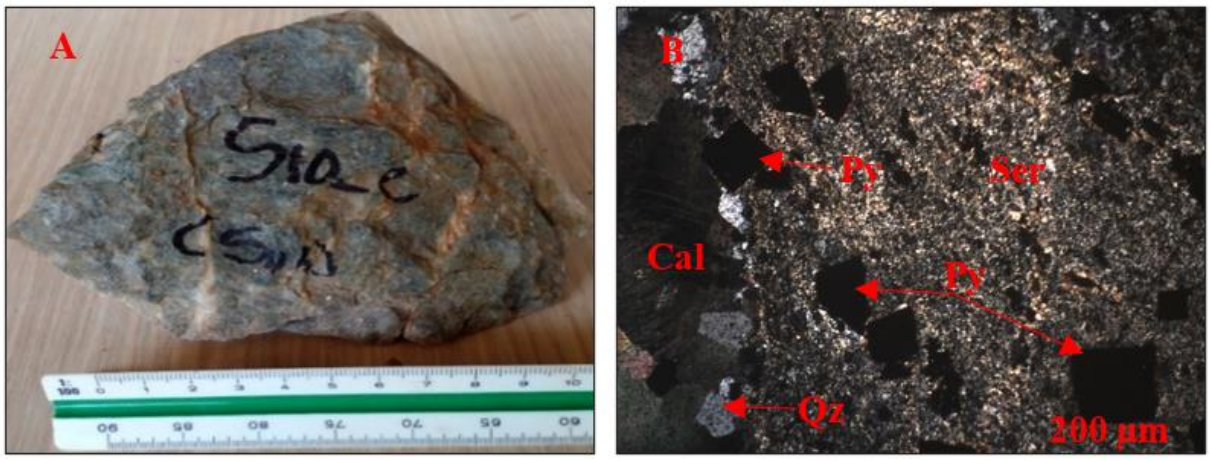


Fig. 34. Aspect macroscopique et microscopique du schiste sériciteux

A : Echantillon du schiste sériciteux, B : microphotographie du schiste sériciteux, Cal : Calcite, Py : Pyrite, Qz : Quartz, Ser : Séricite.

CONGLOMÉRAT

Les conglomérats ont été décrits dans le prospect du Yaouré plus précisément dans la partie nord-ouest. Ces unités sont composées clastes basaltiques qui ont été repris et déposés. Ces clastes de forme subangulaire à arrondis et de taille supérieure à 2 mm sont liés entre eux par un ciment d'origine volcanique. En plus des clastes basaltiques, la matrice contient des galets de feldspathiques arrondis, des oxydes de fer (magnétite) et des cristaux de quartz (Figure 35).

Fig. 35. Aspect macroscopique et microscopique du conglomérat

Echantillon de carotte de conglomérat

GRÈS

Les grès ont été décrits dans le prospect du Yaouré (dans la partie nord-ouest). Ces formations sont constituées d'éléments détritiques et de claste basaltiques qui ont été repris et déposés dans un ciment d'origine volcanique. La matrice détritique est composée de cristaux de quartz de forme subangulaire à subarrondis, de taille variable et de cristaux feldspaths plus ou moins altérés (Figure 36).

Fig. 36. Aspect macroscopique et microscopique du grès

Echantillon de carotte de grès

PÉLITE & GRAUWACKE

Ces formations sont localisées à la périphérie des schistes graphiteux dans la partie nord (route d'Angovia) de la zone d'étude. La pélite a pour origine d'anciennes boues consolidées par compaction. Elle est formée de matériaux détritiques fins (0,02mm) comme des poussières de quartz, de feldspaths, des éléments micassés. Quant au grauwacke, il appartient à la catégorie des grès grossiers à ciment pélitique à matériaux détritiques remaniés souvent d'origine volcanique, de couleur gris foncé ou verdâtre conséquence de la présence de chlorite dans le ciment. On aussi un contact orienté N40° entre les grauwackes et les pélites.

5 DISCUSSION

L'étude pétrographique macroscopique et microscopique des roches du district aurifère du Yaouré a permis de mettre en évidence trente-six (36) faciès, regroupés en trois groupes de roches: (i) -les roches magmatiques (plutoniques, sub-volcaniques et volcaniques), (ii) -les roches métamorphiques et (iii) -les roches volcano-sédimentaires. Les formations volcaniques mafiques (basaltiques) sont des roches extrusives les plus répandues dans la quasi-totalité du prospect du Yaouré et encaissent généralement la minéralisation. Par contre les roches sub-volcaniques à plutoniques intrusives (granodiorite, diorite, gabbro, tonalite, microgranodiorite, microdiorite, et microgabbro), les roches métamorphiques (gneiss à biotite, gneiss

granodioritique, quartzite, amphibolite, amphibolo-pyroxénite, méta-arénite et blastomylonite), et les roches volcano-sédimentaires (pyroclastite, conglomérat, schiste graphitique, schiste sériciteux, schiste arkosique, grauwacke, pélite et grès) sont moins répandues. Ces faciès lithologiques entrent dans le cadre des roches qui caractérisent les formations birimiennes [8]. Et ces types de roches se rencontrent également dans les roches vertes de la région d'aboisso au Sud-Est de la Côte d'Ivoire [7] - [9] - [10]. Par ailleurs, ces formations géologiques sont affectées par un métamorphisme à faible degré (épizonal) du faciès du schiste vert (teinte généralement verdâtre), dues aux amphiboles, chlorites, séricites et aux épidotes recristallisées confirmées par [2].

6 CONCLUSION

Cette étude répond à un besoin de mieux connaitre les caractères minéralogiques des formations géologiques encaissant la minéralisation aurifère du district du Yaouré. L'étude pétrographique macroscopique et microscopique du district aurifère du Yaouré met en évidence trois groupes de roche:

- Les roches magmatiques diversifiées, allant des plutons (granodiorite), en passant par les subvolcaniques (microgranodiorite), jusqu'aux volcaniques (basalte). Les roches volcaniques du district aurifère du yaouré sont caractérisées par un magmatisme assez différencié. Il va des termes basiques (basaltes, basalte en coussin), aux termes acides (rhyolites) en passant par des termes neutres (andésite, dacite);
- Les roches métamorphiques (gneiss à biotite, blastomylonite, gneiss granodioritique, amphibolite...);
- Les roches volcano-sédimentaires (pyroclastite, schiste graphitique, conglomérat, grès...).

Ces roches sont généralement affectées par l'altération hydrothermale en séricite, en silice, en ankérite, et en albite mais aussi par un métamorphisme de faciès de schiste vert.

REMERCIEMENTS

Le projet de thèse sur la minéralisation aurifère de Yaouré de Niamien Michael Kouadio KOUAKOU a bénéficié du soutien matériel (échantillon de carotte) de Perseus Mining et du soutien moral des géologues seniors notamment Mr Dibi Brice Landry, Mr Ouattara Kayamassoro et Mr Yéo Pienan.

REFERENCES

[1] M. Jaujou, «Le levé géologique du degré carré de Bouaké, Rapport de fin de mission,» *Bureau de Recherches Géologique et Minière (BRGM),* France, 1970.

[2] I. Yacé, «Etude géologique du volcanisme éburnéen dans les parties centrales et méridionales de la chaine précambrienne de Fettékro». *Bull. Dir. Géol. Abidjan, 155p,* 1982.

[3] J.P. Milési, J.L. Feybesse, P. Ledru, A. Dommanget, M.F. Ouédraogo, M. Tegyey, J.Y. Calvez, P. Lagny « Les minéralisations aurifères de l'Afrique de l'Ouest et leur évolution litho-structurale au Protérozoïque inférieur. Chronique de la Recherche Minière ». (1989) *497, 3- 98.*

[4] J. Mortimer, (1990). Evolution of the early Proterozoic Toumodi volcanic Group and associated rocks, Ivory Coast. PhD. thesis, Porstmouth Polytechnic, 244 p.

[5] J.P.Milesi, P.Ledru, J.L. Feybesse, A. Dommanget, and E. Marcoux, (1992). Early Proterozoïc ore deposits and tectonics of the Birimian orogenic belt, West Africa. Precambrian Research, 58, 1-4, 305-344.

[6] Fabre, R. & Morel, B. (1993). Stratigraphie des unités birimiennes dans le centre de la Côte d'Ivoire (Afrique de l'Ouest). Bull. Soc. Géol. France, 164 (4): 609-921.

[7] W. Hirdes, D. Davis, G. Lüdtke, and G. Konan, «Two generations of Birimian (Paleoproterozoic) volcanic belts in northeastern Côte d'Ivoire (West Africa): consequences for the 'Birimian controversy',» *Precambrian Res.,* vol. 80, pp.173–191, 1996.

[8] I. Yacé, (2002). Initiation à la géologie. L'exemple de la Côte d'Ivoire et de l'Afrique de l'Ouest (Pétrologie et Géologie régionale). *Edition CEDA, Abidjan, Côte d'Ivoire,* 183 p.

[9] K. D. N'Da, «Etude du volcanisme felsique d'Aboisso-Nord (Coupure 4b), Mémoire de fin d'étude, EFCPC, Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny (INP-HB), Yamoussoukro,» 51 p., 2005.

[10] Y. Coulibaly, A.N. Kouamelan, C.S. Djro, K.B.K. Pothin et M.O. Boffoue « Les altérations associées à la minéralisation aurifère d'Angovia (massif du Yaouré, centre de la Côte d'Ivoire) ». *Rev. Ivoir. Sci. Technol.,* 11 (2008) *159-175*.

[11] G. B. Koffi, G. Ouattara, and A. K. Yao, «Geometry and kinematics of structures controlling the mineralization of Angovia gold mine (Central Ivory Coast, West Africa),» *International Journal of Scientific & Engineering Research,* vol. 4, Issue 2, February 2013, ISSN 2229-5518, 4 p., 2013.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1162-1170
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Contributive to the floristic study of the Partial Natural Reserve of Dahliafleur located in the Department of Bingerville, in southern Côte d'Ivoire

Missa Koffi[1-3], Koffi Kouao Jean[2], Kanga Amy Léonie[2], and Soro Kafana[1]

[1]Université NANGUI ABROGOUA, Centre de Recherche en Ecologie (CRE), 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

[2]Université NANGUI ABROGOUA, UFR des Sciences de la Nature, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

[3]Centre Suisse de Recherches Scientifiques en Côte d'Ivoire (CSRS), 01 BP 1303 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In Côte d'Ivoire, the problem of forest sustainability has led to studies on their dynamics being undertaken in recent years. The Dahliafleur Nature Reserve, located in the commune of Bingerville is part of the Ivorian urban forests. Unfortunately, it is very little known in its floristic diversity, let alone its vegetation. The surface surveys supplemented by the mobile survey made it possible to identify 135 species throughout the forest. These species are divided into 110 genera and 53 families. The most represented families in these three zones are respectively for the North, South and East zones, the Fabaceae, the Apocynaceae and the Araceae. The analysis of the chorological spectrum of all the species identified highlights five types of chorological affinities. The species with the strongest I.V.I. are (in descending order) Tabernaemontana crassa, Ceiba pentandra, Senna siamea, Acacia mangium, and Nesogordonia papaverifera. A comparison of the different plots in two by two reveals a rather weak similarity.

KEYWORDS: Côte d'Ivoire, Dahliafleur, Nature Reserve, floristic diversity, chorological.

1 INTRODUCTION

More than half of the world's population has been living in cities since 2007. These cities are nowadays home to a relatively high number of plant formations that are either planted or natural [1]. These formations known as urban forests [2,3] offer a multiplicity of services, in particular ecosystem services, thus promoting savings on health care [4,5]. Unfortunately, these spaces are subject to various pressures, namely the construction of buildings.

In Côte d'Ivoire, the high demand for land means that priority is given to housing and infrastructure to the detriment of urban forests [6], due to a lack of knowledge of the ecosystem services they offer, particularly carbon immobilization. The problem of the sustainability of these forests has led to conducting, for some years, studies on their dynamics. However, it is easy to see that their dynamics have been little followed [7]. The Dahliafleur Nature Reserve, located in the town of Bingerville, is part of the Ivorian urban forests. Unfortunately, it is very little known in its floristic diversity, even less for its vegetation. According to [8] since its creation in 2001, the Reserve has benefited from few in-depth studies of its biological diversity [9]. It is therefore necessary to know the potential of these urban forests in the context of climate change. The general objective of this study is to deepen our knowledge of forest conservation in the context of climate change. Specifically, it will be concerned with evaluating the plant diversity in this Nature Reserve.

Corresponding Author: Missa Koffi

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 STUDY SITE

The Dahliafleur Partial Nature Reserve (RNPDF) is located in the southern part of the municipality of Bingerville, itself located in the east of the Autonomous District of Abidjan, which is in the south of Côte d'Ivoire [10] (Konan et al., 2021). Approximately located between 3° 54' 25" and 3° 55' 24" West longitudes and 5° 21' 57" and 5° 22' 23" North latitudes, this 148-hectare Reserve is bounded to the North by the villages "Carrière I and II" and to the East by the Ebrié Lagoon [11] (Monssou, 2018). To the south and west, it is bordered by various residential districts (Figure).

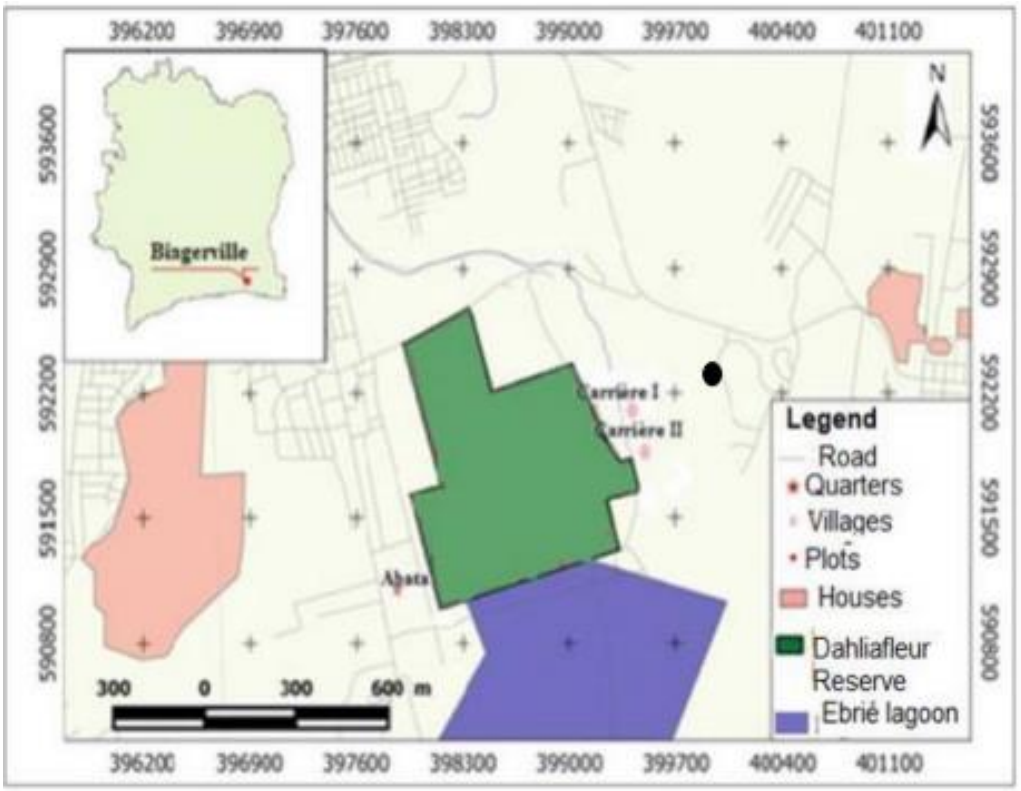


Fig. 1. Location map of the Dahliafleur Partial Nature Reserve

2.2 DATA COLLECTION

In this study, the surface survey consisted of delineating 400 m^2 (20 m x 20 m) square plots in three selected areas. The Dahliafleur Partial Nature Reserve (RNPDF) is located in the southern part of the municipality of Bingerville, itself located in the east of the Autonomous District of Abidjan, which is in the south of Côte d'Ivoire [10]. On each plot, the circumferences of all woody species (shrubs and trees) with a DBH (diameter at breast height) ≥ 5 cm were measured at 1.30 m above the ground and noted. A tree can be made up of several strands, these are counted separately if the separation is below 1.30 m from the ground [12]. To these surface surveys, was associated the itinerant survey which made it possible to note all the species not encountered in the inventory plots.

2.3 FLORISTIC ANALYSIS METHODS

2.3.1 SHANNON DIVERSITY INDEX

Shannon's (1949) diversity index [13] was used to assess species diversity. It is commonly used in studies of Ivorian forests to assess the heterogeneity and diversity of a biotope [14]. This index is calculated using the following formula:

$$H' = -\sum (Ni/N) \ln (Ni/N)$$

In this formula, H is the Shannon index; Ni is the number of individuals of species i and N is the total number of individuals of all species. The limiting values of this index are 0 and ln S, with ln S rarely exceeding [15].

2.3.2 PIÉLOU EQUITABILITY INDEX

The index of [16] highlights the level of equilibrium of the different zones studied. It is calculated as follows:

$$E = H' / \ln S$$

In this formula, E is the equitability index, H is the Shannon diversity index and S is the total number of species. This index, which varies from 0 to 1, is used to assess the distribution of individuals between species on the plots. Indeed, when it tends to 0, it describes a phenomenon of dominance of one species over the others. If E tends to 1, the distribution of individuals between species is regular.

2.3.3 INDEX OF SPECIES IMPORTANCE VALUES

The estimation of the tree plant species diversity was done using the Importance Value Index [17]. This index highlights the most important species. It is the sum of three factors (relative dominance, relative density and finally relative frequency). It is expressed as a percentage [18]. For each species, these factors are calculated as follows:

$$\textbf{Relative frequency (a)} = \frac{\text{Number of species occurrences (a)}}{\text{Sums of occurrences of all species}} \times 100$$

$$\textbf{Relative density (a)} = \frac{\text{Number of individuals of the species (a)}}{\text{Total number of individuals}} \times 100$$

$$\textbf{Relative dominance (a)} = \frac{\text{Basal area of the species (a)}}{\text{Sum of basal areas of all species}} \times 100$$

2.3.4 FAMILIES IMPORTANCE VALUES INDICES

The family importance value index (V.I.F.) enables us to assess the diversity of a family (f) and its importance in relation to other families [19]. It provides information on the floristic importance of each family in terms of the number of individuals in the family, the number of species representing the family, and the quantitative importance of families in terms of their basal areas (or land areas). Its formula is given by [20].

$$\textbf{Relative dominance (f)} = \frac{\text{Sums of the basal areas of the individuals in the family (f)}}{\text{Sums of basal areas of individuals in all families}} \times 100$$

$$\textbf{Relative diversity (f)} = \frac{\text{Number of species in the family (f)}}{\text{Total number of species in the family (f)}} \times 100$$

$$\textbf{Relative density (f)} = \frac{\text{Number of individuals in the family (f)}}{\text{Total number of individuals}} \times 100s$$

2.4 DATA ANALYSIS METHODS

Anova comparison tests were used to compare the average number of species.

3 RESULTS

3.1 FLORISTIC RICHNESS AND DIVERSITY

The surface surveys supplemented by the itinerant survey made it possible to identify 135 species throughout the forest. These species are divided into 110 genera and 53 families. The analysis of this table 1 indicates that the northern zone contains 61 species, 54 genera and 33 families. The central one has 68 species, 57 genera and 31 families. Finally, in the southern zone there are 63 species, 58 genera and 29 families. The comparison of the floristic richness shows that the differences between the average number of species are not significant. Considering the different zones, the value of the Shannon index does not vary considerably from one type of habitat to another. Indeed for the northern, central and southern zones the value of the Shannon index is respectively: 4.55, 4.01 and 4.04. The value of the Shannon index for all plots inventoried is 4.6. Regarding the Piélou equitability index, it has a value of 0.75, 0.89 and 0.9, respectively for the northern, central and southern zones.

The families most represented in these three zones are, respectively for the North, South and Center zones, the Fabaceae, with respective rates of 15%, 17% and of 14%, the Apocynaceae, with rates of 13%, 8% and 8%, and the Araceae, with rates of 6%, 12% and 8% (Figure 2).

Table 1. Comparison of the three RNDF zones

Zones	North	Center	South
Number of scpecies	61	68	63
Number of genera	54	57	58
Number of families	33	31	29
Shannon Index	4.55	4.01	4.04
Equitability Index	0.75	0.89	0.9
Specific richness	20.77 ± 5.5 a	20.44±3.36 a	21.25±5.8 a

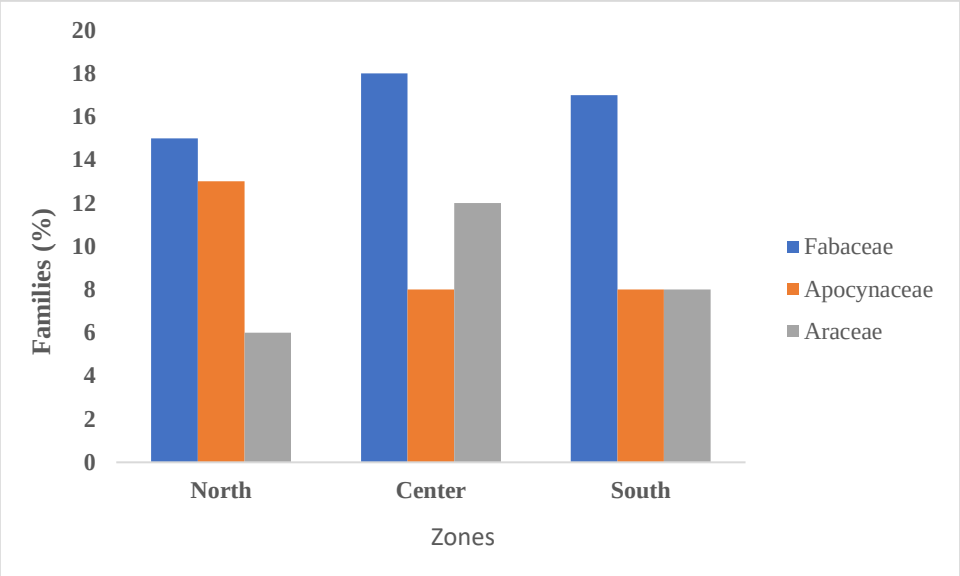


Fig. 2. Family spectrum of the three RBDF zones

The analysis of the chorological spectrum of all the species identified highlights five types of chorological affinities, namely the species GC, GC-SZ, GCW, GCi and i (Figure 4). The most representative are the species of the Guineo-Congolese region (GC) with 62%. They are followed by species from the savannah-forest transition zone (GC-SZ) with 16%. Endemic species of the forest block west of Togo, including Ghana, Ivory Coast, Liberia, Sierra Leone, Guinea Bissau, Gambia and Senegal (GCW) with 10%. Finally come the introduced species and the species endemic to Côte d'Ivoire which have respectively 8 and 2%.

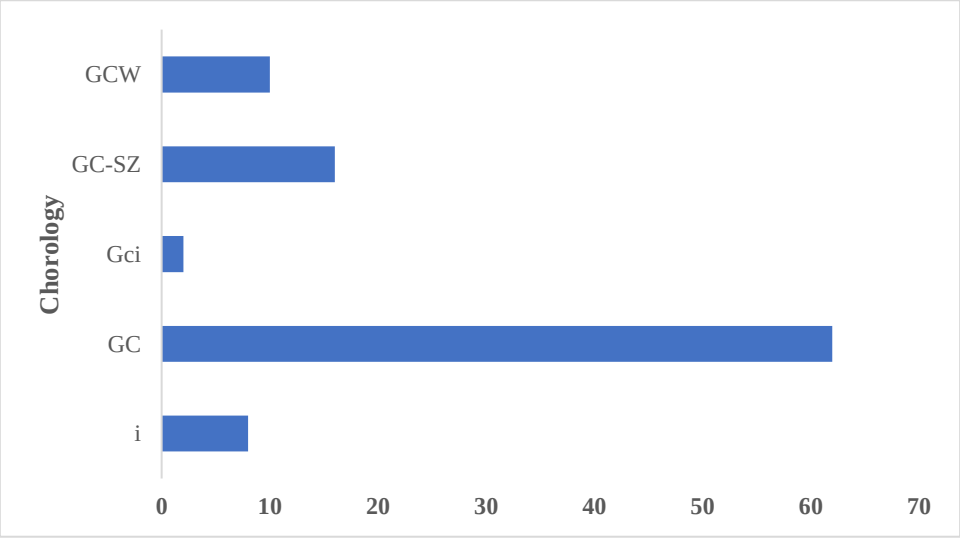


Fig. 3. Chorological Spectrum of Species

3.2 IMPORTANCE OF SPECIES AND FAMILIES

To appreciate the place of a species in relation to all the other species, we have calculated the I.V.I (Table 2). The species with the strongest I.V.Is are (in descending order) *Tabernaemontana crassa, Ceiba pentandra, Senna siamea, Acacia mangium, and Nesogordonia papaverifera*. These species, which are very abundant on our plots, constitute most of the large-diameter individuals.

Table 2. Importance values of the species of the three zones (North Center and South) of the RNDF

SPECIES	Relative frequency	Relative density	Relative dominance	IVI
Tabernaemontana crassa	10.27	14.29	11	35.56
Ceiba pentandra	6.09	2.17	22.2	30.46
Senna siamea	4.43	13.12	10.73	28.28
Acacia mangium	6.09	12.71	8.28	27.08
Nesogordonia papaverifera	4.43	1.86	13.98	20.27
Funtumia africana	4.43	9.62	4.01	18.06
Psychotria ivorensis	4.43	5.16	4.53	14.11
Spondias mombin	4.43	4.81	3.06	12.31
Ficus exasperata	4.43	5.43	2.4	12.26
Terminalia mantaly	4.43	2.86	4.7	11.99
Senna siamea	6.67	2.17	3.06	11.9
Eugenia jambos	6.67	3.62	0.46	10.75
Albizia adianthifolia	3.87	2.17	4.65	10.69
Allophylus africanus	6.67	3.62	0.16	10.44
Blighia sapida	4.43	3.26	2.62	10.31
Baphia nitida	4.43	2.43	1.87	8.72
Cola caricifolia	2.76	2.86	0.81	6.42
Rauvolfia vomitoria	2.76	2.63	0.69	6.08
Parkia bicolor	2.76	2.63	0.42	5.81
Anthonotha macrophylla	2.76	1.28	0.28	4.33
Newbouldia laevis	2.76	1.28	0.2	4.25
Total	100	100	100	300

Families who have a V.I.F. high in Table 3 are, in descending order, Fabaceae (59.99), Apocynaceae (49.66), Bombacaceae (36.14), Moraceae (30.23) and Rubiaceae (27.18). These are the most representative families of the plot.

Table 3. Importance values of RNDF families

FAMILIES	Relative dominance	Relative diversity	Relative density	VIF
Fabaceae	27.81	8.5	23.68	59.99
Apocynaceae	12.17	8.5	28.99	49.66
Bombacaceae	24.48	9.5	2.17	36.14
Moraceae	12.3	9.5	8.43	30.23
Rubiaceae	4.53	9.5	13.16	27.18
Combretaceae	13.53	8.5	2.86	24.89
Sapindaceae	1.4	9.5	6.52	17.41
Anacardiaceae	3.06	8.5	5.71	17.27
Myrtaceae	0.46	9.5	4.12	14.08
Bignoniaceae	0.2	9.5	2.17	11.87
Malvaceae	0.07	9.5	2.17	11.74
Total	100	100	100	300

3.3 FLORISTIC SIMILARITY OF THE ZONES

According to figure 5, the comparison of the different plots taken in twos, reveals a rather weak similarity. The species composition varies from one plot to another. By considering a similarity less than 0, two groups can be obtained with the isolation of the statement F. We have group 1 which is made up of the DF, DC, DA, FR, E and SAM. We distinguish group 2. This

group is made up of the PC1, PN1, DB, SUD and PC2. The F statement differs from all of the two groups. This survey, carried out in the center of the reserve, comes from a very degraded area.

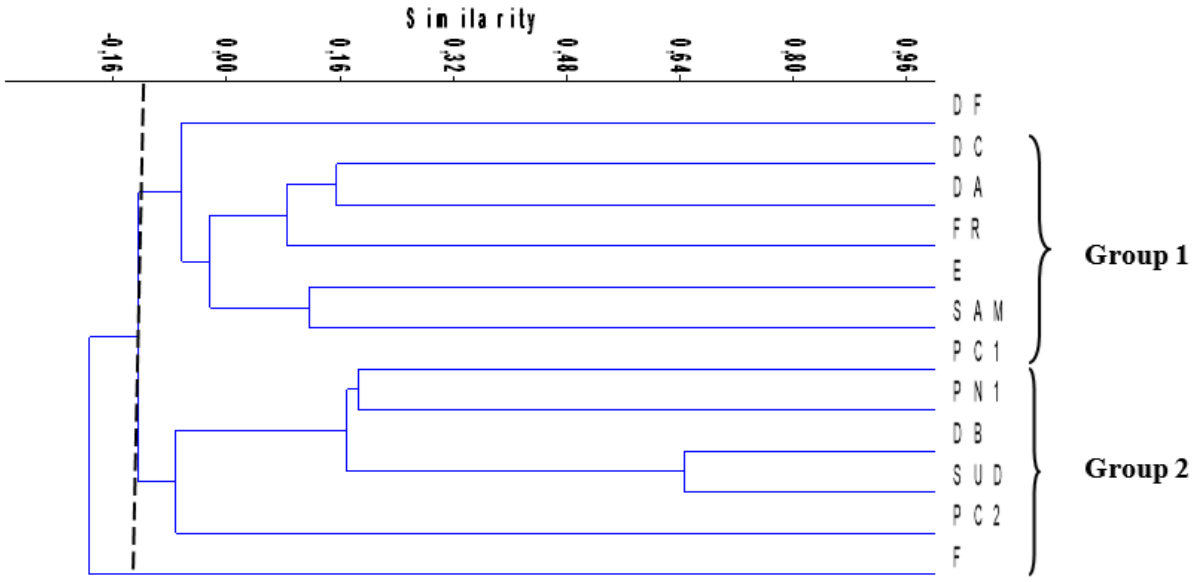


Fig. 4. Floristic similarity of the surveys

4 DISCUSSION

Generally speaking, and taking floristic composition into account, the three zones of the Dahliafleur Nature Reserve are comparable. We counted 61 species, 54 genera and 33 families in the north, and 68 species, 57 genera and 31 families in the center. In the south, we counted 63 species, 58 genera and 29 families. A comparison of floristic richness shows that the three zones are floristically similar. This could be explained by the fact that the zones do not differ edaphically [21].

The reserve is characterized by a high proportion of Guinean-Congolese species (62%). This proportion shows that the vegetation has recovered well. These results are in line with [22]. The relatively high proportion of species in the GC-SZ transition zone proves that the various sites are suffering from some form of disturbance [23]. The nature reserve is highly endemic, with a total of 16 endemic species, including thirteen (13) from West Africa and three (03) from Côte d'Ivoire, and four (04) on the IUCN red list. The number of these species of conservation value is higher than that established by [7]. This small list of special-status species gives Dahliafleur a particular conservation focus, as suggested by [24]. Of these conservation efforts for endemic, rare and endangered species should be a priority.

The study reveals that of the 22 species with DBH ≥ 5 cm, the species that contribute most to forest vegetation are *Tabernaemontana crassa, Ceiba pentandra, Senna siamea, Acacia mangium, Nesogordonia papaverifera*. The analysis of the Family Importance Index (VIF) reveals a strong representativeness of species belonging to the Fabaceae family. The abundance of species of this family in a forest indicates that it belongs to the Guinean-Congolese phytogeographical type.

The equitable distribution of individuals could be explained by the fact that these species group together in different areas according to their ecological affinity.

The dissimilarity between the plots could be explained by a variation in the floristic composition of the different plots due to the state of the vegetation from one plot to another [25, 26].

5 CONCLUSION

The Dahliafleur Partial Nature Reserve includes the northern zone contains 61 species, 54 genera and 33 families. The central one has 68 species, 57 genera and 31 families. Finally, in the southern zone there are 63 species, 58 genera and 29 families. The nature reserve is highly endemic, with a total of 16 endemic species, including thirteen (13) from West Africa and three (03) from Côte d'Ivoire, and four (04) on the IUCN red list. Considering the different zones, the value of the Shannon

index does not vary considerably from one type of habitat to another. The analysis of the Family Importance Index (VIF) reveals a strong representativeness of species belonging to the Fabaceae family. The comparison of the different plots taken in twos, reveals a rather weak similarity. These result shows that the Reserve is in a good state of conservation and has a good regeneration capacity.

ACKNOWLEDGMENTS

Our thank go to the members of the Office Ivoirienne des Parc et Réserves (OIPR) for their involvement in this work and the field guides for having accepted to accompany us in the field.

REFERENCES

[1] Y.J.C. Kouadio, B.T.A. Vroh B.Z.B. Goné, C.Y. Adou Yao, K.E N'Guessan, Évaluation de la diversité et estimation de la biomasse des arbres d'alignement des communes du Plateau et de Cocody (Abidjan - Côte d'Ivoire). Journal of Applied Biosciences 97: 9141- 9151, 2016.

[2] D.J. Nowak, R.E. Hoehn, D.E. Crane, J.C. Stevens, J.T Walton, Assessing Urban Forest Effects and Values: Minneapolis' Urban Forest. USDA Forest Service, Northeastern Resource Bulletin, NE-166pp, 2006.

[3] H. Jo (2002). Impacts of urban greenspace on offsetting carbon emissions for middle Korea. Journal of Environmental Management 64: 115-126, 2002.

[4] A.Tavin, A. Leseur (2016). Végétaliser la ville Pour quels bénéfices, avec quels financements, suivis et gouvernances des projets ? L'apport d'exemples européens et nord-américains. I4CE, Institute for Climate Economics, 33 p.

[5] A.Ali-Khodja (2010). Aménagement urbain: la problématique de l'espace vert public dans la ville de Constantine. Science et technologie 32: 9-18.

[6] M. Deronzier (2017). Articulation ville/nature en Afrique de l'Ouest. Systèmes de gestion et diversité des rapports liés à la biodiversité végétale dans la ville de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). Mémoire de master, AgroParisTech / Université Paris-Saclay, Université Paris Sorbonne, 104 p.

[7] A.E.Konan, K.A.D. Koffi, K. E.Kouassi, P.A.Silue, A. M.Kouakou, M.Koutouan, K.A Kone, Land Use and Plant Diversity of the Dahliafleur Reserve of Bingerville (South of Côte d'Ivoire). International Journal of Scientific Volume 10: 30-39, 2021.

[8] E.E. Asseh (2019) Etudes floristique, phytogéographique et ethnobotanique des Acanthaceae de Côte d'Ivoire: cas de la Réserve Naturelle Partielle de Dahliafleur, dans le district autonome d'Abidjan et essais de domestication de *Justicia flava* (FORSSK) vahl, pour l'horticulture. Thèse de l'Université Félix Houphouët-Boigny, Spécialité Systématique, Ecologie et Biodiversité Végétale, 245 p.

[9] K.Missa, K.Soro, A.L. Kanga, K.J. Koffi, Floristic and Structural Study of the Dahliafleur Partial Nature Reserve Located in Bingerville (South Côte d'Ivoire). European Scientific Journal, ESJ, 18 (33), pp23, 2022.

[10] A.E.Konan, K.A. D.Koffi, K.E.Kouassi, P.A Silue, A. M.Kouakou, M.Koutouan, K.A. Kone, Land Use and Plant Diversity of the Dahliafleur Reserve of Bingerville (South of Côte d'Ivoire). International Journal of Scientific Volume 10: 30-39, 2021.

[11] O.E.Monssou (2018). Diversité végétale et place du jardin botanique de Bingerville et de la Réserve Naturelle Partielle de Dahliafleur dans la vie des populations du district d'Abidjan (Côte d'Ivoire). Thèse de l'Université Félix Houphouët-Boigny, Spécialité Systématique, Ecologie et Biodiversité Végétales, 191p.

[12] A. Gnangbo (2015). Diversité, distribution et utilisations des épiphytes vasculaires des strates inférieures des forêts côtières de côte d'ivoire: cas du Parc National d'Azagny. Thèse Doctorat, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 208 p.

[13] C.E.Shannon (1949). The mathematic theory of communication.Univ. Illinois Press, Urbana, 117p.

[14] K.A.D.Koffi, C.Y.Adou Yao, B.T.A.Vroh, A. Gnagbo, K.E N'Guessan, Diversités floristique et structurale des espacesanciennementcultivés du Parc National D'azagny (Sud de la Côte d'Ivoire). European journal of Scientific Research 134 (4): 415- 427, 2015.

[15] J.M.Felfili, M.C.Silva Jùnior, A.C.Sevilha, C.W.Fagg, B.M.T.Walter, P.E. Nogueria, A.V Rezende, Diversity, floristic and structural patterns of cerrado vegetation in central Brazil. Plant ecologic 175: p 37-46, 2004.

[16] E.C.Pielou (1966). The measurement of diversity in different types of biological.Collection journal of theoretical biology, 13: 131-144.

[17] G.Cottam, J.T. Curtis (1956). The use of distance measures in phytosociological sampling. Ecology 37, pp. 451–460.

[18] K. Missa, ND Ouattara, A. Bakayoko, Floristic Diversity and Conservation Value of Tanoe-Ehy Forest in South-Eastern (Côte d'Ivoire). European Scientific Journal Vol.14, No.21. P 62-69, 2018.

[19] R. Corthay (1996) Analyse floristique de la forêt sempervirente de Yapo (Côte d'Ivoire) Mémoire. Diplôme, Département de Biologie Végétale, 152 p, 1996.

[20] L. Nusbaumer, L. Gautier, C. Châtelain, R. Spichiger, Structure et composition floristique de la Forêt Classée du Scio (Côte-d'Ivoire). Etude descriptive et comparative. Candollea 60 (2): 393-443, 2005.

[21] J-L K. Kambale, J A. Asimonyio, R E.Shutsha, E W.Katembo, J M.Tsongo, P K.Kavira, E I.Yokana, K K.Bukasa, H S.Nshimba, P T. Mpian, K-Te-N. Ngbolua, Etudes floristique et structurale des forêts dans le domaine de chasse de Rubi-Télé (Province de Bas-Uélé, République Démocratique du Congo) *International Journal of Innovation and Scientific Research* Vol. 24 No. 2 Jun. 2016, pp. 309-321, 2016.

[22] B.T.A. Vroh, (2013) - Evaluation de la dynamique de la végétation dans les zones agricoles d'Azaguié (Sud-est Côte d'Ivoire). Université Félix-Houphouët-Boigny, UFR Biosciences, Thèse Unique de Botanique, Côte d'Ivoire, 131p.

[23] K.H.Assié, K.T.P. Angui, A.J.Tamia, Effets de la mise en culture et des contraintes naturelles sur quelques propriétés physiques d'un sol ferralitique au centre ouest de la Côte d'Ivoire: conséquences sur la dégradation des sols. European Journal of Scientific Research, 23 (1): 149-166, 2008.

[24] N.Myers, R.A.Mittermeier, C.G. Mittermeier G.A.B, Da Fonseca, Biodiversity hotspots for conservation priorities. Nature.403: 853-858, 2000.

[25] E.O.Monssou, B.T.A.Vroh, B.I.Z.B. Goné, C.Y. Adou Yao, K.E. N'Guessan, Evaluation de la diversité et estimation de la biomasse aérienne des arbres du Jardin Botanique de Bingerville (District d'Abidjan, Côte d'Ivoire). European Scientific Journal 12 (6): 168-184, 2016.

[26] D.Konan, A.Bakayoko, F.H.B.Tra, B.G.A.Bitignon, S.D. Piba, Dynamique de la structure diametrique du peuplement ligneux des différents biotopes de la forêt classée de Yapo Abbé, Sud de la Côte d'Ivoire. Journal of Applied Biosciences 94: 8869-8879, 2015.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1171-1176
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Accueil et intégration des nouveaux assistants à l'Université de Kinshasa: Processus, appréciation et conséquences

[Welcome and integration of new assistants at the University of Kinshasa: Process, assessment and consequences]

Roger Nzapakembi Kwando

Diplômé d'Etudes Supérieures en Gestion des Entreprises et Organisation du Travail, Université de Kinshasa, RD Congo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The objective of this work is to examine the way in which newly hired assistants are welcomed, to know the level of appreciation that these assistants have of their welcome and integration and to determine what major psychological effects result from this.
To carry out this study, we used the survey method for data collection. It is supported by questionnaire, interview, observation, documentation techniques for data collection, statistics and content analysis for data processing and analysis.
The study population consists of 384 assistants appointed on April 13, 2018. We extracted an occasional sample of 102 subjects. After analyzing and processing the data; it turned out that there is no reception and integration policy at the University of Kinshasa. The comments reported by the respondents describe a minimal reception and integration system instead of a real reception and integration policy, generally taking place at the level of faculties or departments. It is only through interaction with their colleagues that certain essential knowledge is transmitted to the newly hired assistant.

KEYWORDS: Reception, integration, new assistants, process, assessment, consequences.

RESUME: L'objectif de ce travail est d'examiner la manière dont les assistants nouvellement embauchés sont accueillis, connaître le niveau d'appréciation qu'ont ces assistants de leur accueil et intégration et déterminer quels effets psychologiques majeurs en découlent.
Pour mener à bien cette étude, nous avons fait appel à la méthode d'enquête pour la collecte des données. Elle est appuyée par les techniques du questionnaire, d'entretien, d'observation, de documentation pour la récolte des données, de statistique et d'analyse de contenu pour le traitement et l'analyse des données.
La population d'étude est constituée de 384 assistants nommés le 13 avril 2018. Nous y avons extrait un échantillon occasionnel de 102 sujets.
Après analyse et traitement des données; il s'est avéré qu'il y a absence d'une politique d'accueil et d'intégration à l'Université de Kinshasa. Les propos rapportés par les enquêtés décrivent un dispositif minimal d'accueil et d'intégration en lieu et place d'une véritable politique d'accueil et d'intégration, se faisant généralement au niveau des facultés ou des départements. Ce n'est qu'au travers d'interaction avec leurs collègues que certains savoirs essentiels sont transmis au nouvel assistant embauché.

MOTS-CLEFS: Accueil, intégration, nouveaux assistants, processus, appréciation, conséquences.

Corresponding Author: Roger Nzapakembi Kwando

1 INTRODUCTION

Il est avéré aujourd'hui que parmi les multiples questions concernant la gestion des Ressources Humaines dans l'enseignement supérieur et universitaire, les conditions d'accueil et d'intégration des personnes embauchées sont l'une des plus importantes. Les premières années d'une carrière sont en effet souvent déterminantes tant au niveau du parcours scientifique de l'individu que de sa capacité à évoluer ultérieurement (http://www.andes.asso.fr).

Le constat qui a conduit à la réalisation de ce travail est le déficit du processus d'accueil et d'intégration des nouveaux assistants embauchés à l'Université de Kinshasa, au cours duquel toutes les informations leurs seraient communiquées.

A l'Université de Kinshasa, les assistants embauchés ne se fondent sur aucun document retraçant leurs missions, moins encore un programme d'intégration au cours duquel leurs inquiétudes, leurs préoccupations seraient élucidées. Cela confirme les propos de Louf (2015), disant que si l'intégration de nouveaux collaborateurs semble évidente pour certaines organisations, elle l'est beaucoup moins pour d'autres.

Les nouveaux assistants embauchés à l'Université de Kinshasa devraient prendre connaissance de la mission et des objectifs de l'établissement, des moyens disponibles, de leurs responsabilités et des modèles de comportements cohérents avec les rôles qu'ils sont appelés à jouer. Toutes ces informations, devraient être consignées dans un document à leur remettre lors du processus d'accueil et d'intégration.

Cependant, nos observations ont laissé croire que ce processus n'est pas bien suivi à l'Université de Kinshasa concernant les nouveaux assistants embauchés par la décision rectorale n°0057/UNIKIN/R/2018 du 13 avril 2018.

Une intégration non satisfaisante constitue un risque à la fois pour le nouvel embauché qui aura du mal à s'harmoniser avec son poste de travail et son environnement, et pour l'organisation qui en payerait les frais (faible rendement, départ du nouvel embauché avec toutes les conséquences,...).

C'est ainsi que tout employé nouvellement embauché, même s'il a une expérience avérée dans le domaine, est appelé à être formé pour bien exécuter ses tâches. Chevallier (2004), estime que cette étape du processus de recrutement est d'autant important qu'elle conditionne la réussite de l'opération d'embauche.

Plusieurs travaux ont traité du processus d'intégration du nouvel embauché dans une organisation (l'entreprise). Les résultats de leurs analyses se présentent sous quatre tendances.

La première est celle qui prône la socialisation organisationnelle des employés. Dans cette optique, Maanen et Schein (1979) estiment que la socialisation organisationnelle est un processus double, de transmission et d'acquisition, entre les membres expérimentés de l'organisation et les nouveaux embauchés; elle permet à l'organisation d'influencer et de modeler le salarié, lui apprendre les aspects formels et informels d'un rôle organisationnel.

La deuxième tendance met en exergue la socialisation professionnelle, en tant que processus qui permet de maîtriser un rôle en milieu de travail, elle assure une certaine compréhension de la culture d'une organisation ou qui, définit un rapport identitaire à une organisation (Martineau & Presseau, 2007). Il se traduit par l'acquisition d'une sorte de culture de l'entreprise (ou de l'organisation) vérifiable notamment à travers le rapport à certaines valeurs, la possession de certaines connaissances et la mobilisation de certaines compétences (Allen & Meyer, 1990; Ashford & Saks, 1996; Dixon, 2005). Dit autrement, la socialisation professionnelle se vérifie notamment dans l'attitude et la pratique du travailleur.

La troisième tendance est celle des auteurs comme Tahar (1998), Barbier (2000), Piriou (2004) qui soutiennent l'insertion professionnelle des nouveaux embauchés, et insistent sur les mécanismes d'accès à l'emploi, en particulier la trajectoire individuelle du nouvel embauché en tant que succession d'événements.

La quatrième tendance est celle qui prône l'intégration des nouveaux embauchés, en tant que phase d'appropriation des nouvelles fonctions au cours de laquelle, l'employé acquiert les connaissances, les habiletés, les aptitudes et les valeurs requises pour s'adapter à son nouveau milieu (http://www.interaide.org/pratiques).

Lorsque le nouvel employé entre en poste, il a besoin d'apprendre le fonctionnement de l'organisation et de diminuer son anxiété. C'est à ce moment, plus qu'à n'importe quel autre, qu'il a besoin du soutien pour réussir à s'intégrer et devenir pleinement efficace (Jolly, 2005). Aussi, les salariés nouvellement recrutés se retrouvent souvent confrontés à des obstacles auxquels ils doivent faire face afin de les dépasser et pouvoir prendre place à l'intérieur de l'entreprise. Ils doivent savoir à qui s'adresser s'ils rencontrent des problèmes.

De quatre tendances décrites ci-dessus, notre recherche s'aligne derrière la quatrième.

Certes, les auteurs dans cette tendance ont présenté les différentes procédures pour une intégration réussie dans une organisation.

Cependant, les travaux réalisés dans ce cadre ont tous porté sur les entreprises de production, des entreprises privées et, avec des travailleurs sous contrats; dont l'improductivité et les départs précipités pour non intégration coûtent cher à l'entreprise. Les entreprises seraient ainsi obligées de relancer l'offre pour un nouveau recrutement. Aucun d'entre eux ne s'est préoccupé à traiter de cette problématique au sein d'un établissement public. Pour combler ce vide, notre recherche s'intéresse à analyser la question d'accueil et d'intégration des nouveaux agents d'un établissement public qu'est l'Université de Kinshasa, avec des agents sous statuts que sont les assistants.

Eu égard à tout ce qui précède, notre préoccupation tourne autour de la question principale suivante: Quelle est la politique de l'Université de Kinshasa en matière d'accueil et d'intégration des nouveaux assistants ?

De cette question principale découlent trois questions secondaires ci-après:

- Le processus d'accueil et d'intégration des assistants nouvellement embauchés à l'Université de Kinshasa répond-t-il aux principes scientifiques et aux étapes requises en la matière?
- Quelle appréciation les assistants nouvellement embauchés ont-ils de leur accueil et intégration à l'Université de Kinshasa?
- Quelles conséquences majeures découlent-elles de la manière dont les assistants sont actuellement accueillis et intégrés à l'Université de Kinshasa ?

En guise de réponses provisoires aux questions posées ci-dessus, nous formulons l'hypothèse principale suivante: Il existe une politique d'accueil et d'intégration des nouveaux assistants à l'Université de Kinshasa, qui souffre d'application.

De cette hypothèse principale découlent les hypothèses secondaires ci-après:

- Le processus d'accueil et d'intégration des assistants nouvellement embauchés à l'Université de Kinshasa ne répond pas aux principes scientifiques ni ne suit toutes les étapes requises en la matière;
- Les assistants nouvellement embauchés de l'Université de Kinshasa ont une appréciation négative de leur accueil et intégration;
- Les conséquences majeures qui découlent de la manière dont les assistants sont actuellement accueillis et intégrés à l'Université de Kinshasa sont: la démotivation, le manque d'intérêt pour la profession.

L'objectif général poursuivi dans ce travail est d'examiner la manière dont les assistants embauchés sont accueillis et intégrés. Plus concrètement, de vérifier s'il existe à l'Université de Kinshasa une politique d'accueil et d'intégration du personnel scientifique.

Il ressort de cet objectif général, les objectifs spécifiques suivants:

- Examiner et évaluer la conformité du processus d'accueil et d'intégration des assistants de l'Université de Kinshasa aux principes scientifiques et aux étapes requises, qui sont notamment:
  - La préparation à l'accueil;
  - L'accueil;
  - L'intégration;
  - Le suivi de l'intégration et le maintien en emploi.
- Déterminer le niveau d'appréciation qu'ont les assistants de l'Université de Kinshasa de leur accueil et intégration.
- Déceler les conséquences majeures qui découlent de la manière dont les assistants sont actuellement accueillis et intégrés à l'Université de Kinshasa.

2 MÉTHODOLOGIE

Sur le plan méthodologique, nous avons recouru à l'enquête appuyée par le questionnaire et l'observation qui nous a permis de récolter des informations auprès de 102 assistants nommés par la décision rectorale n°0057/UNIKIN/R/2018 du 13 avril 2018 choisis selon leurs disponibilités. Le traitement des données quantitatives a été effectué en utilisant le pourcentage et le test chi-carré.

3 RÉSULTATS

A l'issue des analyses, les résultats majeurs de notre enquête se présentent comme suit:

La majeure partie des sujets interrogés (72,5%) a été informée (soit officiellement, soit officieusement) de son embauche à l'Université de Kinshasa.

81,1% de façon officieuse; c'est-à-dire par un ami, un proche parent ou un collègue.

La plupart des informations concernant des employés de l'université que sont les assistants circule de bouche à l'oreille et selon les affinités.

La majorité de sujets (71,6%) n'a pas bénéficié d'un accueil. A propos de la pratique d'intégration, 69,6% des enquêtés ne sont pas satisfaits de la pratique d'intégration à l'Université de Kinshasa. Cela peut s'expliquer par le manque d'une politique d'accueil et d'intégration officielle et formelle que toute l'université devrait respecter. S'il existe un accueil selon certains sujets (28,4%) au niveau des facultés ou des départements, il s'agit généralement de l'organisation interne propre à chaque faculté ou département. Ces résultats corroborent ceux de Ledoux et *al*. (2014) qui, ayant mené une recherche sur l'accueil des nouveaux travailleurs découvrent que ceux-ci semblent être rarement conviés à un accueil planifié (1 sur 5) et que l'organisation d'une rencontre d'accueil formelle est également inhabituelle (2 sur 7).

78, 4% de sujets de notre enquête reconnaissent avoir signé un document à leur entrée en fonction. Ce document leur a été imposé par le Secrétariat Général Académique comme condition du retrait de la notification. C'est un acte d'engagement selon lequel le nouvel embauché s'abstient à réclamer la prise en charge par le Trésor Public de même que la prime de partenariat au courant de l'année académique 2017-2018; certains affirment que cet acte d'engagement interdisait cette réclamation jusqu'à leur mécanisation. Or, ces mécanisations sont sélectives et peuvent prendre plusieurs années.

82,4% de sujets de notre enquête n'avaient aucune idée de ce que sera leur rémunération et quand est-ce qu'ils allaient la percevoir. Et pourtant, la rémunération constitue l'une des raisons pour laquelle un individu offre ses services pour un emploi.

77,5% des enquêtés n'ont pas d'informations sur les dispositions à prendre en cas de maladie; 22,5% le savent par l'intermédiaire de quelqu'un de proche.

81,4% des enquêtés n'ont aucune idée du règlement organique, des valeurs et missions de l'université. Par ailleurs, 82,4% des sujets de notre recherche n'ont aucune information en rapport avec le statut du personnel de l'ESU et RS.

En rapport avec leur développement personnel, 74,5% d'enquêtés disent qu'ils n'ont reçu aucune information en ce sens. Pour ceux qui sont informés (25,5%), ils le sont par intermédiaire des chefs de travaux ou collègues assistants inscrits.

Par ailleurs, certains assistants embauchés (61,8%) n'ont pas bénéficié du soutien de leurs collègues (anciens assistants et chefs de travaux). D'autres (38,2%) par contre en ont bénéficié. Ceci confirme les résultats de l'étude de Ledoux et *al*. (2014) qui estiment que c'est par souci de socialisation que certains savoirs et certaines informations essentielles sont transmis au nouveau travailleur par ses collègues.

72,5% des sujets n'ont pas suivi une formation leur permettant d'être à la hauteur de leurs tâches.

92,2% des sujets affirment qu'aucun de leurs problèmes sociaux n'a trouvé solution. Le travail de l'assistant à l'Université de Kinshasa ressemble au bénévolat. A cet effet, ils n'éprouvent aucune fierté à y travailler comme assistant (Ngub'Usim, 2010), car ce travail ne procure pas de la stabilité (92,2%) et les conditions d'exercice ne sont pas acceptables (97,1%). Sur ce, Hulin (2007), croit qu'une bonne intégration se caractérise par des nouveaux collaborateurs ayant un niveau élevé de satisfaction au travail, d'implication organisationnelle, d'engagement au travail, de motivation... et un niveau faible d'intentions de départ, d'absentéisme, de turnover...

La majorité de nos enquêtés (76,4%) ont déjà exercé illégalement comme candidats assistants à l'Université de Kinshasa avant leur embauche.

L'analyse de contingence, à l'aide du test chi-deux renseigne ce qui suit:

- Les variables Faculté ou (centre de recherche) et ancienneté ont montré un lien significatif avec les réponses données par les enquêtés à la question de savoir s'ils étaient accueillis. En d'autres termes, l'appréciation de l'accueil serait fonction de la Faculté ou centre de recherche et ancienneté.
- La variable sexe n'a pas montré un lien significatif avec les réponses données par les enquêtés à la question de savoir s'ils étaient accueillis. Dit autrement, qu'on soit homme ou femme les réponses des enquêtés semblent identiques.
- Les variables sexe, faculté ou (centre de recherche) et ancienneté ont une influence significative sur les réponses données par les sujets à la question de savoir s'ils étaient satisfaits des pratiques d'intégration mises en place par l'Université de Kinshasa. Ainsi, les femmes (73,6%) n'apprécient pas leur intégration par rapport aux hommes. Cela se justifierait par le fait que les femmes s'intéressent plus à ce qui est formel tandis que les hommes fournissent des efforts personnels pour

s'intégrer. Par ailleurs, 25% des enquêtés de la faculté de médecine reconnaissent qu'ils sont intégrés par rapport aux assistants de la faculté des sciences économiques et agronomiques, où personne parmi les enquêtés ne reconnait être intégrée. Cela se justifie par le fait que les assistants de la faculté de médecine ne travailleraient pas seulement à la faculté; ils évoluent aux côtés des professeurs dans d'autres institutions telles que le CNPP ou les Cliniques Universitaires où ils se sentent bien intégrés.

Eu égard à tous ces résultats, notre première hypothèse est rejetée tandis que la deuxième, la troisième et la quatrième sont confirmées.

Partant de toutes ces considérations, nous avons formulé des recommandations à l'Etat congolais et à l'Université de Kinshasa.

- Qu'un package de moyens soit associé à chaque recrutement. En principe, à l'issue de son embauche, un assistant doit rapidement travailler dans l'objectif de publier des articles. Il doit également s'inscrire au programme de troisième cycle. Ainsi, il est extrêmement important de donner à cet assistant nouvellement embauché les moyens financiers pour démarrer ses projets de recherche. A titre d'exemple, beaucoup d'universités américaines mettent à disposition de leurs *assistants professors* nouvellement embauchés des fonds de démarrage appelés *startup funds*. Ces moyens leurs permettent de démarrer leurs activités de recherche sans attendre l'obtention d'un contrat auprès d'agences nationales (http://www.andes.asso.fr/). Ici en RDC, il n'y a pas des bourses de l'Etat pour soutenir les recherches. Il faut que l'Université de Kinshasa, dès le premier mois suivant l'embauche des assistants, leur paye la prime interne, ensuite prenne langue avec le gouvernement pour que ceux-ci soient pris en charge dans un meilleur délai;
- Mettre en place un parcours d'accueil et d'intégration: les entreprises, petites et grandes, ont bien compris l'importance des premières impressions ressenties par un cadre nouvellement embauché. Beaucoup d'entre elles ont mis en place un parcours d'accueil et d'intégration dont l'objectif est double: d'une part, faire connaître la personne nouvellement embauchée au personnel de l'entreprise. D'autre part, faire découvrir l'entreprise et ses personnels au nouveau cadre. Nous suggérons que l'Université de Kinshasa mette en place de tels parcours, pilotés par la Direction des Ressources humaines. Ce qui aurait pour objectif de présenter aux nouveaux embauchés l'établissement, son organisation et les responsables des services importants. Plusieurs questions liées au déroulement de la carrière ainsi que la rémunération pourraient y être discutées. Le parcours d'accueil et d'intégration serait ainsi l'occasion de présenter de manière approfondie le dispositif du plan de formation pratique à l'exécution des tâches attendues d'eux et au programme du troisième cycle au nouvel embauché. Nous pensons que cela peut être fait au niveau de l'université en deux temps: au premier temps, à la Direction des Ressources Humaines et au deuxième temps, dans les facultés;
- Les différentes mesures peuvent aller d'un renforcement du suivi du chercheur et de son environnement à une décision de réaffectation. L'intérêt d'un tel suivi post-embauche est pour l'Université de Kinshasa, d'assurer une meilleure intégration de l'assistant et une appréciation plus fine de son activité. Ces deux aspects sont également importants: d'une part, un meilleur suivi permet d'anticiper les difficultés et de s'assurer que le processus d'intégration du nouveau collaborateur se passe bien. D'autre part, elle fournit une information plus fine aux instances scientifiques concernées qui disposeront ainsi d'informations plus complètes pour décider de la promotion ou d'une éventuelle prolongation de la période probatoire;
- Nous proposons à l'Université de Kinshasa et à l'Etat Congolais qu'au lieu de faire signer aux nouveaux assistants embauchés un document dans lequel ils s'engagent à ne pas réclamer une quelconque rémunération (une pratique qui va à l'encontre de la constitution et des lois du pays en matière d'emploi), que l'on fasse plutôt signer à tous les travailleurs de l'université des contrats de travail assortis de toutes les clauses (droits et obligations). Aux assistants, des contrats à durée déterminée de deux ans renouvelable deux fois après évaluation; aux chefs de travaux et professeurs des contrats à durée indéterminée assortis de toutes les clauses. Tout ceci passe par le changement du mode de gestion des universités.

REFERENCES

[1] Allen, N.J. & Meyer, J.P. (1990). « The measurement and antecedents of affective, continuance and normative commitment to the organization ». In *journal of occupational psychology*. (63) 1. p. 1-18.

[2] Ashforth, B., Saks, A., & Lee, R. (1998). «Socialization and newcomer adjustment: The role of organizational context». *In Human Relations*. (51), 7, p. 897-927.

[3] Barbier, J.-C. (2000), « Le programme de l'objectif 3 du Fonds social européen dans le système des politiques de l'emploi, de l'insertion et de la formation professionnelle en France (1994-2000) ». *In Bilan de la politique de l'emploi en 1999,* Dossiers de la DARES. 5-6, Documentation Française, p. 31-40.

[4] Chevallier, A. (2004). Gestion RH des PME/PMI: Guide pratique du Dirigeant. Paris: Liaisons.

[5] Dixon, J. (2005). « Beyond the optimal contact strategy: a reality check for the contact hypothesis ». *In American psychologist*. (21) 7. p. 697-711.
[6] http://www.andes.asso.fr: Mieux accueillir et intégrer les personnes nouvellement recrutées dans l'enseignement supérieur. Consulté le 14/11/2019.
[7] http://www.interaide.org: pratique d'accueil et d'intégration. Consulté le 12/12/2019.
[8] Hullin, A. (2007). *Le tutorat: un outil d'accueil et d'intégration des nouveaux salariés en entreprise*. https://studylibfr.com/doc/2594007/le-tutorat-un-outil-d-accueil-et-d-intégration-des-nouveaux. Consulté le 15/01/2020.
[9] Jolly, M. (2005). Comment motiver les salariés. https://d1n7cqsz6ob2ad.cloudfront.net/document/pdf/5333se2b60d9ae.pdf. Consulté le 14/01/2020.
[10] Ledoux, E., Fournier, P-S., Ouellet, S., Beaugrand, S. & Jolly, C. (2014). *Les conditions d'une intégration sécuritaire et compétente des nouveaux travailleurs dans le secteur minier.* Rapport de recherche, Commission des partenaires du marché du travail.
[11] Louf, E. (2015). L'intégration des nouveaux collaborateurs, un enjeu de taille et une opportunité pour les entreprises. www.blog-emploi.com. Consulté le 14/01/2020.
[12] Maanen, J.-V. & Schein, E. (1979). « Toward a theory of organizational socialization, research ». *In organizational behavior,* (1), p. 209-264.
[13] Martineau, S. & Presseau, A. (2007). Construire et consolider des savoirs et des compétences en début de carrière. Congrès Actualité de la Recherche en Education et en Formation. 29 août 2007, Strasbourg: http://www.congreintaref.org consulté le 15/06/2020.
[14] Ngub'usim, M. (2010). Pour la refondation de l'UNIKIN et du Congo, faut-il recréer Lovanium ? Paris: l'Harmattan.
[15] Piriou, J-P. (2004). *Lexique des sciences économiques et sociales,* 7ème édition, Paris: La Découverte.
[16] Tahar, G. (1998). « Contribution à la modélisation de l'insertion professionnelle ». In *Formation emploi*. 62, p. 15-31.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1177-1191
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Etudes des toxicités aigüe et subaiguë de *Rhynchospora corymbosa* et de *Olax subscorpioïdea,* plantes médicinales utilisées dans la prise en charge de la drépanocytose dans la région du Poro (Côte d'Ivoire)

[Studies of the acute and subacute toxicities of *Rhynchospora corymbosa* and *Olax subscorpioidea*, medicinal plants used in the treatment of sickle cell anemia in the Poro region (Ivory Coast)]

M'Béfèhê Soro[1], Jacques Auguste Alfred Bognan Ackah[1], OBOUAYEBA Pacome[1], Joël Akakpo-Akue[2], Jean-François Sibri[1], BÉDOU Kouassi Denis[2], and Tatiana Kangah Mireille Kple[2]

[1]Laboratoire d'agro-évaluation et agroforesterie, UFR Agroforesterie, Université Jean Lorougnon Guédé (UJLoG), B.P. Daloa 150, Côte d'Ivoire

[2]Laboratoire de Pharmacodynamie et de Biochimie, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny (UFHB), 22 B.P. 582 Abidjan 01, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study was carried out to evaluate the acute and subacute toxicity of aqueous extracts of Rhynchospora corymbosa (DRC) and Olax subscorpioidea (DOSA) in Wistar rats. For the study of acute toxicity, the rats divided into 3 batches of 6 subjects (3 males and 3 females) and the aqueous extracts DRC and DOSA were administered once, orally at 2000 mg/kg/bw respectively. for batches 2 and 3. The rats were monitored for 14 days. In the subacute toxicity study, DRC and DOSA aqueous extracts were administered orally to rats at doses 400, 800 and 1600 mg/kg/bw daily for 28 days. Their body weight was monitored during the experimental period, while the hematological and biochemical parameters of the blood and the histo-pathological study of the kidney and liver were evaluated at the end of the experiment. Oral administration of DRC and DOSA aqueous extracts at doses of 2000 mg/kg bw did not result in the death of rats in all treated batches. The subacute toxicity study in rats did not show any toxicity of Rhynchospora corymbosa and Olax subscorpioidea extracts at the doses administered. It appears from all of these results that the aqueous extracts of DRC and DOSA at doses 400; 800 and 1600 mg/kg/bw administered orally to rats is well tolerated and its activity does not cause any harm to the organs, biochemical and hematological parameters as well as to the mass of the animals compared to those of normal rats. The study of the toxicity of DRC and DOSA aqueous extracts did not show signs of acute or subacute toxicity at the doses studied.

KEYWORDS: Toxicity; watery; Rhynchospora corymbosa and Olax subscorpioidea.

RESUME: Cette étude a été réalisée dans le but d'évaluer la toxicité aiguë et subaiguë des extraits aqueux de *Rhynchospora corymbosa* (DRC) et de *Olax subscorpioïdea* (DOSA) chez les rats Wistar. Pour l'étude de la toxicité aiguë, les rats répartis en 3 lots de 6 sujets (3 mâles et 3 femelles) et les extraits aqueux DRC et DOSA ont été administrés une seule fois, par voie orale à 2000 mg/kg/pc respectivement pour les lots 2 et 3. Les rats ont été surveillées pendant 14 jours. Dans l'étude de la toxicité subaiguë, les extraits aqueux DRC et DOSA ont été administrés par voie orale aux rats aux doses 400, 800 et 1600 mg/kg/pc quotidiennement pendant 28 jours. Leur poids corporel a été surveillé durant la période expérimentale, alors que les paramètres hématologiques, biochimiques du sang et l'étude histo-pathologique du rein et du foie a été évalués à la fin de l'expérience. L'administration orale des extraits aqueux DRC et DOSA aux doses 2000 mg/kg p.c. n'ont pas entrainé la mort de rats dans tous les lots traités. L'étude de la toxicité subaiguë chez les rats n'a pas montré de toxicité des extraits *Rhynchospora*

Corresponding Author: M'Béfèhê Soro

corymbosa et *Olax subscorpioïdea* aux doses administrées. Il ressort de l'ensemble de ces résultats que les extraits aqueux de DRC et DOSA aux doses 400; 800 et 1600 mg/kg/pc administré par voie orale aux rats est bien toléré et son activité n'entraine aucun préjudice sur les organes, les paramètres biochimiques et hématologiques ainsi que sur la masse des animaux comparativement à ceux des rats normaux. L'étude de la toxicité des extraits aqueux DRC et de DOSA n'a pas montré de signes de toxicité aiguë ou subaiguë aux doses étudiées.

MOTS-CLEFS: Toxicité; aqueux; *Rhynchospora corymbosa* et *Olax subscorpioïdea.*

1 INTRODUCTION

La médecine traditionnelle est une source majeure du patrimoine culturel en Afrique à laquelle la population reste toujours attachée en matière de soins de santé primaire [1]. Selon l'OMS [2] 80 % de la population africaine sont tributaires de la médecine traditionnelle pour leurs besoins de santé. De plus, des études menées dans plusieurs régions de la Côte d'Ivoire ont rapporté que plus de 90 % de la population ont recours à la médecine traditionnelle pour la prise en charge de certaines pathologies [3]. Il convient de souligner que l'utilisation traditionnelle de toute plante à des fins thérapeutiques ne garantit en rien son innocuité [4]. Si les effets pharmacologiques de nombreuses plantes ont été prouvés dans divers laboratoires, leur toxicité est généralement méconnue. Par conséquent, l'évaluation de la toxicité des préparations à base de plantes est importante pour déterminer l'innocuité de ces remèdes [5]. Le *Rhynchospora corymbosa* et *Olax subscorpioïdea* sont deux espèces de plantes utilisées dans la prise en charge traditionnelles de plusieurs maladies. Elles sont utilisées dans la prise en charge traditionnelle de la drépanocytose dans la région du Poro (Côte d'Ivoire) [6]. *Rhynchospora corymbosa* est une grande plante vivace dressée qui peut atteindre 2 m de hauteur de la famille des cyperaceae. Elle ccontient certains composés pharmacologiquement actifs comme les alcaloïdes, tanins catéchiques, stérols, polyterpéniques et saponines [6]. Quant à *Olax subscorpioidea,* elle est un arbuste qui appartient à la famille des Olacaceae. Il est largement distribué dans les pays africains de l'Ouest [7]. La famille des Olacaceae comprend environ 30 genres et environ 200 espèces [8]. Le genre Olax en compte plus de 50 espèces d'arbres ou d'arbustes. *Olax subscorpioïdea* contient certains composés pharmacologiquement actifs comme les polyphénols, poly terpéniques, flavonoïdes, leuco-anthocyanes, alcaloïdes, saponines et stéroïdes [6].

Le but de ce travail est d'étudier la toxicité aiguë et subaiguë des extraits de *Rhynchosopora* corymbosa et de Olax *subscorpioidea* aux doses 400 mg/ Kg, 800 mg/Kg et 1600 mg/Kg/pc chez des rats.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL

Il s'agit du matériel biologique qui est composé de matériel animal et végétal.

Le matériel animal est constitué des rats de laboratoire de souche Wistar (*Rattus norvegicus*) dont l'âge varie entre 8 à 10 semaines avec des poids qui varient entre 70 et 105 g. Les rats ont été acclimatés pendant une semaine avant le début de la manipulation et nourris ad-libitum avec des granulés venant de la société IVOGRAIN®. L'eau de robinet est utilisée pour les abreuver et a été constamment renouvelée. Les cages contenant les animaux étaient nettoyées chaque deux jours par renouvèlement des copeaux de bois. L'animalerie était munie d'un système électrique contrôlant les périodes d'obscurité et de lumière par action (arrêt ou marche) des lampes néons. Quant au matériel végétal, il est composé de deux (2) espèces de plantes dont la plante entière de *Rhynchospora corymbosa* et les feuilles et les tiges de *Olax subscorpioïdea*.

2.2 PRÉPARATION DES EXTRAITS VÉGÉTAUX

La plante entière de *Rhynchospora corymbosa,* les feuilles et les tiges d'*Olax subscorpioïdea* récoltées dans le département de Korhogo (Côte d'Ivoire), et identifiées par le laboratoire d'Agro-valorisation de l'Université Jean Lorougnon Guédé (Daloa).

Après les avoir lavées, découpées puis séchées à l'abri du soleil à la température ambiante (25-30°C) pendant trois semaines au Laboratoire. Les différentes parties de ces plantes ont été réduites en poudre à l'aide d'un broyeur électrique de marque Retschsk 100.

Par la suite une décoction a été préparée selon la méthode de Konkon *et al [9].* Ainsi cent (100) grammes de poudre de chaque espèce de plante ont séparément été mis dans un litre d'eau distillé et portées à l'ébullition pendant 10 minutes. Le

mélange obtenu a été essoré dans un carré de tissu blanc puis filtré trois fois sur du coton hydrophile et une fois sur du papier whatman (3 mm). Le filtrat a été évaporé à 60 °C et la poudre obtenue a été codifiée DRC pour l'espèce *Rhynchospora corymbosa* et DOSA pour *Olax subscorpioïdea.*

2.3 TESTS DE TOXICITÉ

2.3.1 TOXICITÉ AIGUË

Le test de toxicité aiguë a été réalisé selon le protocole décrit par Costa-Silva *et al* [10]. Les rats ont été réparti en 3 lots de 6 sujets (3 mâles et 3 femelles) et acclimatées pendant une semaine. Elles ont été maintenues à jeûn pendant 18 heures avant l'administration des différents extraits. Le lot témoin a reçu de l'eau physiologique tandis que les lots 2 et 3 ont reçu par voie orale en une seule administration respectivement les extraits de DRC et de DOSA à la 2000 mg/kg/pc. Le changement du comportement général ou la mortalité des souris de chaque lot ont été surveillés durant 14 jours.

2.3.2 TOXICITÉ SUBAIGUË

Le test a été réalisé selon le protocole décrit par Silva *et al.* [11] et Musa *et al* [12]. Les rats ont été divisés en 7 lots en raison de 6 rats par lot (3 mâles et 3 femelles) et leurs poids ont été enregistrés avant le début du traitement. Le lot 1 (témoin) a reçu de l'eau distillée à 2 mL /100 g. Les lots 2; 3 et 4 ont reçu par voie orale une solution d'extrait aqueux de DRC aux doses respectives de 400; 800 et 1600 mg/kg. Les lots 5; 6 et 7 ont également reçu une solution d'extrait aqueux de DOSA aux doses respectives de 400; 800 et 1600 mg/kg/PC. Tous les traitements ont été administrés à 2 mL /100 g une fois par jour pendant 28 jours. Les rats étaient observés à la recherche de signes d'anomalies pendant la période du traitement. En outre, leur poids corporel a été enregistré à la fin de chaque semaine jusqu'au dernier jour du traitement. À la fin de l'expérimentation, les rats ont été mis à jeûn pendant 16 h avec un accès libre à l'eau. Par la suite, ils ont été anesthésiés avec de l'éther par inhalation et après décapitation selon les normes. Ainsi, une quantité supérieure ou égale à 1,5 mL de sang a été recueilli dans des tubes EDTA, pour des études hématologiques et quantité supérieure ou égale à 3 mL a été recueilli dans des tubes secs pour des études biochimiques. Ces rats ont ensuite été disséqués et les organes tels que le cœur, le foie, les poumons, les reins et la rate ont été recueillis et pesés. Des observations macroscopiques ont été effectués sur ces différents organes prélevés afin d'identifier des éventuelles lésions. Le poids relatif (P_r) de chaque organe a été calculé par la formule suivante:

$$Pr = \frac{Po}{Pa} x\ 100$$

Pr: Poids relatif; Po: Poids de l'organe en g; Pa: Poids corporel en g.

2.3.2.1 POIDS MOYEN (PM)

Le Poids Moyen a été déterminé en faisant le rapport de la somme des poids des individus d'un même lot par leur effectif selon la formule suivante:

$$PM = \frac{\text{Somme des poids des individus d'un même lot}}{\text{Effectif total du lot}}$$

2.3.2.2 GAIN MOYEN QUOTIDIEN (GMQ)

A l'aide des valeurs des poids des rats après chaque pesée, le gain moyen quotidien a été calculé en faisant le rapport du gain moyen pendant une période sur la durée en jour selon la formule suivante:

$$GMQ = \frac{\text{Gain de poids pendant une période donnée (g)}}{\text{Durée de la période (Jours)}}$$

2.3.2.3 MESURE DES PARAMÈTRES HÉMATOLOGIQUES ET BIOCHIMIQUES

Les paramètres hématologiques dont l'Hématocrite (HCT), Taux d'hémoglobine (Hb), Nombre de Plaquettes (PLT), Numération globulaire (Erythrocytes: GR et Leucocytes: GB), Volume Corpusculaire Moyen (MCV), Teneur Corpusculaire Moyenne en Hémoglobine (MCH), Concentration Corpusculaire Moyenne en Hémoglogine (MCHC), Lymphocytes (LYM), Neutrophiles, Monocytes, Eosinophytes et Basophytes) a été réalisée à l'aide de l'automate (Sysmex KX-21N). Quant à l'analyse biochimique, elle a concerné: le taux de Glucose, le bilan hépatique **(**Aspartate Amino Transferase (ASAT), Alanine amino transferase (ALAT), Phosphatase alcaline (PA), Triglycérides (TG), Cholestérol totale (Chol T), LDL Cholestérol et HDL Cholestérol et le bilan rénal **(**Urée, Créatinine et Proteines Total (Prot)). Cette analyse biochimique a été réalisée après centrifugation à 3000 rpm pendant 10 min du sang recueilli dans les tubes secs. Le sérum a été utilisé pour la réalisation des analyses à l'automate Roche Hitachi 902, Allemagne avec le kit biochimique Spinreact (Espagne).

Le taux de LDL-cholestérol a été calculé selon la formule suivante de Friedewald *et al* [13].

2.3.2.4 EXAMEN HISTOPATHOLOGIQUE DES ORGANES

Les échantillons des cœurs, des foies et des reins des rats traités avec la dose la plus élevée (1800 mg/Kg) ont été fixés dans du formol à 10 %, les organes ont subi une série de déshydration dans des bains d'éthanol, et une inclusion dans de la paraffine. Des coupes de 5µm ont été réalisées au microtome puis colorées par l'hématoxyline et l'éosine (H&E) et observées au microscope optique. Des photos des différentes coupes histologiques ont été prises à l'aide d'une caméra numérique reliée à un logiciel.

2.4 ANALYSE STATISTIQUE

L'analyse statistique des données et la représentation graphique a été effectuée à l'aide du logiciel GraphPad Prism 8.0.2. Les valeurs ont été données sous forme de moyennes suivies de leur erreur standard (M ± SEM).

La différence entre deux valeurs a été donnée par le test t de student lequel a été complété par le test de Turkey-Kramer comme post test. Le seuil de significativité est fixé à $P < 0,05$ pour l'expression des résultats.

La corrélation faite par la régression linéaire est exprimée par le coefficient de détermination (R^2) selon Pearson.

La notation suivante est utilisée pour toute différence significative:

- Non significative (): $p > 0,05$;
- Peu significative (*): $p < 0,05$;
- Significative (**): $p < 0,01$;
- Très significative (***): $p < 0,001$;
- Hautement significative (****): $p < 0,0001$.

3 RÉSULTAT

3.1 TOXICITÉ

3.1.1 TOXICITÉ AIGUË

L'administration orale des extraits de DRC et de DOSA aux doses 2000 mg/kg p.c. n'ont pas entrainé la mort de rats dans tous les lots traités. Les observations n'ont révélé aucun signe de toxicité tels que l'agitation, l'agressivité, la torsion du corps, la convulsion et la diarrhée, l'asthénie, la somnolence, l'anorexie, la perte de poids ou de réduction de la mobilité durant la période expérimentale. La dose létale 50 (DL_{50}) est donc supposée être supérieure aux doses testées.

3.1.1.1 POIDS MOYENS DES RATS

L'évolution du poids moyens des rats traités par rapport au témoin pendant les 14 jours d'observation est illustrée dans la figure13. A la dose de 2000 mg/kg p.c, le comportement général des rats demeure normal en comparaison avec ceux du lot témoin (Figure 1). L'examen de l'évolution pondérale des rats a montré que tous les rats ont progressivement gagné du poids. Cependant, les rats tests ont gagné relativement plus de poids que les témoins (2 mL/100 g), mais sans différence significative

au seuil de 5 % (Figure 15). De façon générale, les animaux traités aux extraits (2000 mg/kg) ont consommé autant d'aliments que ceux qui ont reçu de l'eau distillée (2 mL/100 g) pendant les quatorze jours d'observation (Figure 1).

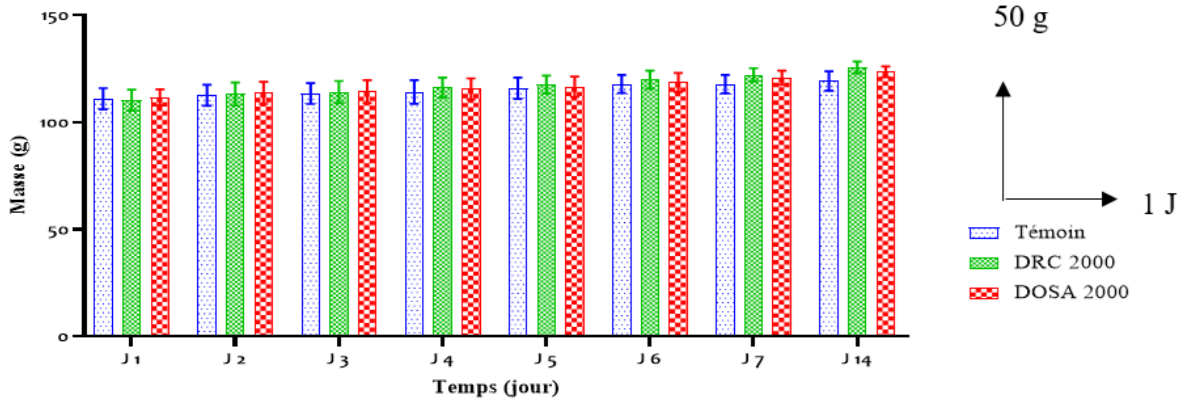


Fig. 1. Effets des extraits DRC et DOSA sur l'évolution des poids moyens des rats

3.1.2 TOXICITÉ SUBAIGUË

3.1.2.1 POIDS MOYENS DES RATS

Les valeurs résumées dans le tableau révèlent que le poids moyen des différents lots d'animaux, au jour (J0), oscille entre 76,00±5,62 g et 103,17±8,14 g. Ces résultats de cette étude n´ont révélé aucune variation significative ($p > 0,05$) de l'évolution des poids moyens des rats des lots durant l'expérience. Du premier au 28 -ème jour de traitement, une augmentation du poids est observée chez tous les lots de rats traités en comparaison au lot des rats témoin sain. Cette variation n'est ps significative par rapport au témoin sain de la première à la quatrième semaine du traitement. L'extrait DRC à la dose 400 mg/kg a donné le meilleur taux d'augmentation du poids moyen avec une valeur de 1,26±0,20 % (Tableau I).

Tableau 1. Evolution des poids moyens des rats

Lots		Poids moyens (g)				
		J0	J7	J14	J21	J28
Témoin		81,5±50,71	89,67±6,73	101,17±6,33	113,83±8,47	122±8,46
DRC	400 mg/kg	96,67±10,55	105,83±12,27	113,6±13,68	114,80±13,14	122,2±14,49
	800 mg/kg	103,17±8,14	109,50±8,14	111,00±8,16	108,00±11,22	112,20±10,36
	1600 mg/kg	87,50±14,25	99,25±18,39	100,00±27,54	101,50±48,50	106,00±51
DOSA	400 mg/kg	76,00±5,62	78,40±6,17	77,80±5,49	87,60±5,41	92,60±7,67
	800 mg/kg	84,83±3,51	87,00±3,41	90,50±5,73	92,33±8,87	95,67±8,85
	1600 mg/kg	86,00±3,49	86,00±2,67	92,50±2,84	100,00±4,35	105,00±4,86

3.1.2.2 GAIN MOYEN QUOTIDIEN

L'évolution du gain moyen quotidien (GMQ) des poids des rats des lots expérimentaux par rapport au lot témoin durant les 28 jours de l'expérience est illustrée dans les figures 3 et 4. Les résultats de cette étude n´ont révélé aucune variation significative ($p > 0,05$) de l'évolution du gain moyen quotidien des poids des rats des lots pendant l'expérience. Du premier au 28 -ème jour de traitement, une augmentation du gain moyen quotidien est observée chez tous les lots de rats traités en comparaison au lot des rats témoin sain. Cette variation n'est significative par rapport au témoin sain de la première à la quatrième semaine du traitement. L'extrait DRC à la dose 400 mg/kg a donné le meilleur taux gain moyen quotidien avec une valeur de 0,18±0,03 % /j (Figures 3 et 4).

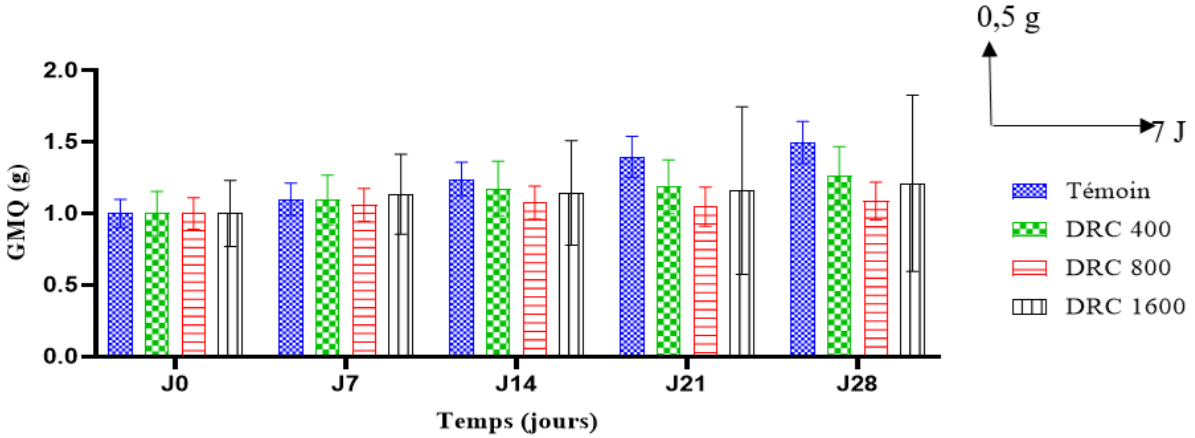


Fig. 2. Effets de l'extrait DRC sur l'évolution du gain moyen quotidien des rats

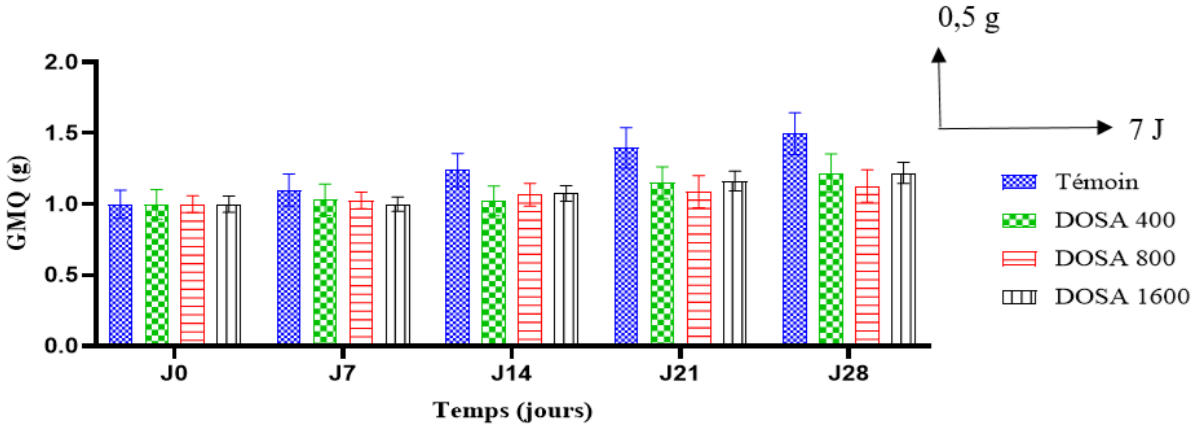


Fig. 3. Effets de l'extrait DOSA sur l'évolution du gain moyen quotidien des rats

3.1.2.3 PARAMÈTRES HÉMATOLOGIQUES

Les les valeurs des paramètres hématologiques de cette étude n´ont révélé aucune variation significative ($p > 0,05$) des différents paramètres hématologiques chez les rats traités par rapport au rat témoin sain (TN) (Tableaux II et III). Les taux des globules blancs (GB), des globules rouges (GR), les taux d'hémoglobine (HGB) et d'hématocrites (HCT), ainsi que le volume globulaire moyen (VGM), la concentration corpusculaire moyenne d'hémoglobine (CCMH), la teneur corpusculaire moyenne en hémoglobine (TCMH), le nombre de plaquettes (PLT), les neutrophiles, les lymphocytes, les monocytes et les éosinophiles n'ont pas subi de variation significative par rapport à ceux du témoin sain (Tableaux II et III).

Tableau 2. Evaluation des paramètres hématologiques des rats traités par l'extrait DRC

Parametres hématologiques	Jours	Lot 1 (témoin)	Doses de l'extrait DRC (mg/kg pc)		
			Lot 2 (400)	Lot 3 (800)	Lot 4 (1600)
GR ($x10^6$ / µL)	J0	6,88±0,41	6,02±0,71	6,96±0,48	7,25±0,46
	J28	6,77±0,27	5,55±0,65	6,65±0,22	6,46±0,56
HGB (g/dL)	J0	12,20±0,40	11,35±0,70	12,02±0,72	12,83±0,62
	J28	12,42±0,38	10,38±1,36	13,23±0,74	12,32±0,91
HCT (%)	J0	39,24±2,42	37,86±4,86	46,65±2,37	45,65±2,68
	J28	42,94±1,92	31,40±4,57	37,29±2,09	33,83±3,09
VGM (FI)	J0	55,80±1,03	55,38±1,24	56,38±1,51	56,30±1,09
	J28	61,42±0,84	57,65±1,94	57,73±2,32	53,78±0,79
TCMH (pg)	J0	18,14±0,80	18,77±0,92	17,24±0,35	17,88±0,45
	J28	17,32±0,18	18,77±0,45	19,93±0,59	19,23±0,41
CCMH (g/dL)	J0	32,42±1,02	34,07±2,46	31,97±0,86	31,68±0,43
	J28	28,17±0,42	32,53±0,48	34,5±0,76	35,70±0,91
PLT ($x10^3$ /µL)	J0	717,67±85,89	847,83±111,14	826,83±119,77	790,17±156,76
	J28	749,80±99,00	816,75±80,77	785,25±124,32	755,39±94,23
GB ($x10^3$ /µL)	J0	6,64±0,19	6,68±0,63	6,63±0,15	5,90±0,90
	J28	4,57±0,59	6,28±0,30	6,85±0,38	5,58±0,86
Neut	J0	19,52±4,15	17,77±3,04	19,24±3,45	13,96±2,06
	J28	25,48±2,82	16,94±2,10	18,48±4,15	23,71±3,77
Lymph (%)	J0	59,99±5,30	63,13±2,82	61,78±3,46	66,64±2,25
	J28	54,66±2,80	60,08±1,92	59,88±5,45	56,06±2,49
Mono	J0	18,89±0,87	19,11±0,84	19,02±0,61	19,28±0,60
	J28	19,86±0,63	21,49±0,57	21,65±1,72	22,22±0,66
Eos	J0	0,14±0,02	0,13±0,02	0,16±0,02	0,12±0,02
	J28	0,17±0,02	0,13±0,02	0,18±0,03	0,14±0,02

Tableau 3. Evaluation des paramètres du sang des rats traités par l'extrait DOSA

Parametres hématologiques	Jours	Lot 1 (témoin)	Doses de l'extrait DOSA (mg/kg pc)		
			Lot 5 (400)	Lot 6 (800)	Lot 7 (1600)
GR ($x10^6$ / µL)	J0	6,88±0,41	5,04±0,66	5,50±0,50	4,84±0,70
	J28	6,77±0,27	5,92±1,24	7,12±0,15	6,38±0,49
HGB (g/dL)	J0	12,20±0,40	10,78±0,34	11,93±0,63	11,87±0,56
	J28	12,42±0,38	11,74±0,27	12,02±0,22	11,06±0,62
HCT (%)	J0	39,24±2,42	31,96±1,42	33,40±2,24	33,28±2,30
	J28	42,94±1,92	45,59±2,41	43,99±1,43	40,02±2,84
VGM (FI)	J0	55,80±1,03	59,78±2,16	58,70±0,63	56,75±1,24
	J28	61,42±0,84	57,26±2,06	59,80±1,01	61,00±1,09
TCMH (pg)	J0	18,14±0,80	20,79±1,60	20,51±0,63	20,33±1,25
	J28	17,32±0,18	19,23±2,44	16,90±0,16	17,57±0,53
CCMH (g/dL)	J0	32,42±1,02	34,50±1,42	34,88±1,08	34,50±0,62
	J28	28,17±0,42	30,52±2,26	28,13±0,61	28,72±0,68
PLT ($x10^3$ /µL)	J0	717,67±85,89	767,67±60,53	661,50±107,52	790,50±57,10
	J28	749,80±99,00	709,80±78,72	849,80±87,36	787,20±73,07
GB ($x10^3$ /µL)	J0	6,64±0,19	5,10±0,58	5,22±0,50	5,40±0,54
	J28	4,57±0,59	4,55±0,50	5,64±0,55	5,28±0,37

Neut	J0	19,52±4,15	19,52±4,15	16,07±3,90	17,25±4,84
	J28	25,48±2,82	25,48±2,82	21,19±2,42	22,25±2,41
Lymph (%)	J0	59,99±5,30	72,14±4,48	68,43±5,49	64,27±5,97
	J28	54,66±2,80	61,15±4,00	60,82±2,47	60,83±2,91
Mono	J0	18,89±0,87	16,95±0,78	16,85±0,98	16,93±0,86
	J28	19,86±0,63	17,02±1,12	17,99±0,33	17,18±0,81
Eos	J0	0,14±0,02	0,15±0,02	0,15±0,02	0,18±0,02
	J28	0,17±0,02	0,16±0,02	0,16±0,02	0,21±0,01

3.1.2.4 PARAMÈTRES BIOCHIMIQUES

3.1.2.4.1 PARAMÈTRES LIÉS AU FOIE

Les valeurs des paramètres biochimiques liés au foie sont résumés dans le tableau IV. Avant l'administration des extraits de DRC (400; 800 et 1600 mg/kg pc) et DOSA (400; 800 et 1600 mg/kg pc), la valeur moyenne de la TGO ou ALAT chez les rats de tous les lots était comprise entre 142,25±23,93 et 242,25±49,41; la valeur moyenne de la TGP ou ASAT était comprise entre 7,33±1,23 et 24,00±8,05; la valeur moyenne de la Phosphatase alcaline lots était comprise entre 106,50±3,50 et 122,70±9,08; du cholestérol totale était comprise entre 0,76±0,19 et 6,08±0,18; HDL cholestérol était comprise entre 0,10±0,00et 0,15±0,04; LDL cholestérol était comprise entre 0,43±0,18 et 0,81±0,13 et la triglycéride était comprise entre 0,63±0,05 et 1,48±0,37 et la glycémie était comprise entre 0,88±0,10 et 1,15±0,08. Au 28ème jour après l'administration des extraits de DRC et DOSA, les valeurs moyennes de la Aspartate Amino Transferase (ASAT ou TGO), (ASAT) Alanine amino transferase (ALAT), Phosphatase alcaline (PA), Triglycérides (TG), Cholestérol totale (Chol), HDL Cholestérol, LDL Cholestérol et la glycémie n'ont subi aucune variation significative.

Tableau 4. Evaluation des paramètres biochimiques liés au foie des rats traités par les extraits DRC et DOSA

	Paramètres biochimiques	**Jours**	**Lot 1 (témoin)**	**Doses de l'extrait DRC (mg/kg pc)**		
				Lot 2 (400)	**Lot 3 (800)**	**Lot 4 (1600)**
DRC	TGO (UI/L)	J0	197,76±36,67	142,25±23,93	242,25±49,41	134,75±12,48
		J28	289,20±17,02	153,07±38,95	156,08±46,64	218,70±13,21
	TGP (UI/L)	J0	7,33±1,23	18,30±4,35	18,95±4,37	6,58±0,76
		J28	13,65±1,77	10,50±0,19	10,73±0,18	8,82±2,17
	PAL (UI/L)	J0	121,97±7,06	117,50±7,50	106,50±3,50	114,50±15,50
		J28	119,87±18,5	123,11±3,33	121,97±7,06	127,70±8,11
	TG (g/L)	J0	0,69±0,06	1,48±0,37	1,08±0,18	1,05±0,26
		J28	0,56±0,03	0,69±0,05	1,10±0,19	0,77±0,08
	Chol (g/L)	J0	1,77±0,31	0,88±0,13	0,76±0,19	1,22±0,22
		J28	2,10±0,18	0,64±0,12	1,01±0,07	0,75±0,10
	HDL (g/L)	J0	0,12±0,01	0,14±0,02	0,12±0,02	0,12±0,02
		J28	0,64±0,07	0,64±0,05	0,57±0,09	0,42±0,05
	LDL (g/L)	J0	0,81±0,13	0,48±0,18	0,43±0,18	0,46±0,08
		J28	1,35±0,19	0,49±0,15	0,21±0,04	0,26±0,16
	Glycémie	J0	1,15±0,08	1,10±0,11	1,10±0,13	0,93±0,08
		J28	1,07±0,04	1,13±0,28	1,03±0,05	1,10±0,11
DOSA	TGO (UI/L)	J0	197,76±36,67	151,62±42,18	162,85±35,16	193,72±40,49
		J28	289,20±17,02	355,26±19,79	346,76±10,86	346,54±29,97
	TGP (UI/L)	J0	7,33±1,23	24,00±8,05	15,25±5,05	19,28±6,20
		J28	13,65±1,77	10,54±1,58	13,38±1,31	8,88±0,61
	PAL (UI/L)	J0	121,97±7,06	122,70±9,08	120,43±5,94	110,13±11,69
		J28	119,87±18,5	112,80±13,13	111,95±23,18	119,49±13,71

	TG (g/L)	J0	0,69±0,06	1,08±0,16	0,67±0,08	0,63±0,05
		J28	0,56±0,03	0,96±0,12	0,65±0,11	0,89±0,21
	Chol (g/L)	J0	1,77±0,31	6,08±0,18	5,50±0,25	6,05±0,42
		J28	2,10±0,18	5,58±0,37	5,28±0,18	5,22±0,18
	HDL (g/L)	J0	0,12±0,01	0,15±0,04	0,11±0,01	0,10±0,00
		J28	0,64±0,07	0,81±0,05	0,64±0,07	0,66±0,05
	LDL (g/L)	J0	0,81±0,13	0,54±0,03	0,50±0,04	0,71±0,23
		J28	1,35±0,19	0,93±0,12	1,17±0,28	1,24±0,16
	Glycémie	J0	1,15±0,08	0,88±0,10	0,86±0,10	0,94±0,02
		J28	1,07±0,04	1,05±0,10	1,00±0,02	1,09±0,05

3.1.2.4.2 PARAMÈTRES LIÉS AU REIN

Les valeurs des paramètres biochimiques liés aux reins sont résumés dans le tableau V. Avant l'administration des extraits de DRC (aux 400; 800 et 1600 mg/kg pc) et DOSA (aux 400; 800 et 1600 mg/kg pc), la valeur moyenne de l'Urée chez les rats de tous les lots était comprise entre 0,12±0,02 et 0,15±0,01; la valeur moyenne de la créatinine était comprise entre 4,97±0,82 et 5,50±0,25 et la valeur moyenne de la Protéine totale était comprise entre 6,49±0,33 et 8,17±0,73. Au 28ème après l'administration des extraits de DRC et DOSA, les valeurs moyennes de l'Urée, la créatinine et la Protéine totale n'ont subi aucune variation significative.

Tableau 5. Evolution des paramètres biochimiques liés aux reins des rats traités par les extraits DRC et DOSA

	Paramètres biochimiques	**Jours**	**Lot 1 (témoin)**	**Doses de l'extrait DRC (mg/kg pc)**		
				Lot 2 (400)	**Lot 3 (800)**	**Lot 4 (1600)**
DRC	Urée (mg/L)	J0	0,12±0,02	0,14±0,01	0,14±0,01	0,15±0,01
		J28	0,11±0,00	0,22±0,01	0,19±0,01	0,18±0,01
	Créat (mg/L)	J0	4,97±0,82	5,52±0,56	5,65±0,28	6,24±0,43
		J28	4,55±0,17	8,30±0,48	7,58±0,53	7,32±0,25
	Prot (g/L)	J0	6,49±0,33	7,25±1,75	8,00±2,00	8,17±0,73
		J28	6,33±0,21	7,00±3,44	8,25±3,01	7,40±0,51
DOSA	Urée (mg/L)	J0	0,12±0,02	0,15±0,01	0,14±0,01	0,15±0,01
		J28	0,11±0,00	0,14±0,01	0,13±0,00	0,13±0,00
	Créat (mg/L)	J0	4,97±0,82	6,08±0,18	5,50±0,25	6,05±0,42
		J28	4,55±0,17	5,58±0,37	5,28±0,18	5,22±0,18
	Prot (g/L)	J0	6,49±0,33	7,50±0,76	7,83±0,48	6,67±0,56
		J28	6,33±0,21	6,80±0,58	6,40±0,51	6,80±0,37

3.1.2.5 POIDS RELATIFS DES ORGANES

L'examen macroscopique des différents organes après 4 semaines de gavage avec le DRC (1600 mg/kg pc) et DOSA (1600 mg/kg pc) n'a montré aucun changement morphologique des organes des rats traités en comparaison avec les organes des rats du lot témoin que ce soit pour la couleur ou la texture. Aucune différence significative n'a été observée entre le poids des différents organes des rats traités et celui des organes des rats du lot témoin (Tableaux VI).

Tableau 6. Poids relatif des organes des rats traités par les extraits DRC et DOSA

Extraits	Organes	Lot 1 (témoin)	Poids relatif (g)		
			Lot 2 (400)	Lot 3 (800)	Lot 4 (1600)
DRC	Cœur	0,36±0,01	0,32±0,02	0,36±0,01	0,41±0,03
	Foie	3,43±0,10	3,22±0,22	3,33±0,15	3,99±0,07
	Rein	0,73±0,03	0,68±0,04	0,70±0,03	0,79±0,02
	Poumon	0,75±0,07	0,80±0,16	0,73±0,12	0,86±0,06
	Rate	0,29±0,04	0,33±0,10	0,28±0,02	0,30±0,02
DOSA	Cœur	0,36±0,01	0,35±0,04	0,36±0,01	0,40±0,02
	Foie	3,43±0,10	3,56±0,38	3,33±0,15	4,04±0,09
	Rein	0,73±0,03	0,71±0,04	0,70±0,03	0,78±0,01
	Poumon	0,75±0,07	0,95±0,12	1,04±0,12	0,94±0,04
	Rate	0,29±0,04	0,36±0,08	0,27±0,02	0,35±0,04

3.1.2.6 COUPES HISTOLOGIQUES DES ORGANES

Les coupes histologiques du foie et du rein des rats traités à la dose 1600 mg/Kg et ceux du témoin sain montre une architecture hépatique et rénale conservée, sans signe de cytolyse inhérente à une éventuelle toxicité des extraits de DRC et de DOSA, il n'a pas été constaté de lésion organique ni de fibrose au niveau rénal ou hépatique. Des signes de congestions probablement dus au sacrifice ont été observés à la fois dans les lots traités et le lot témoin.

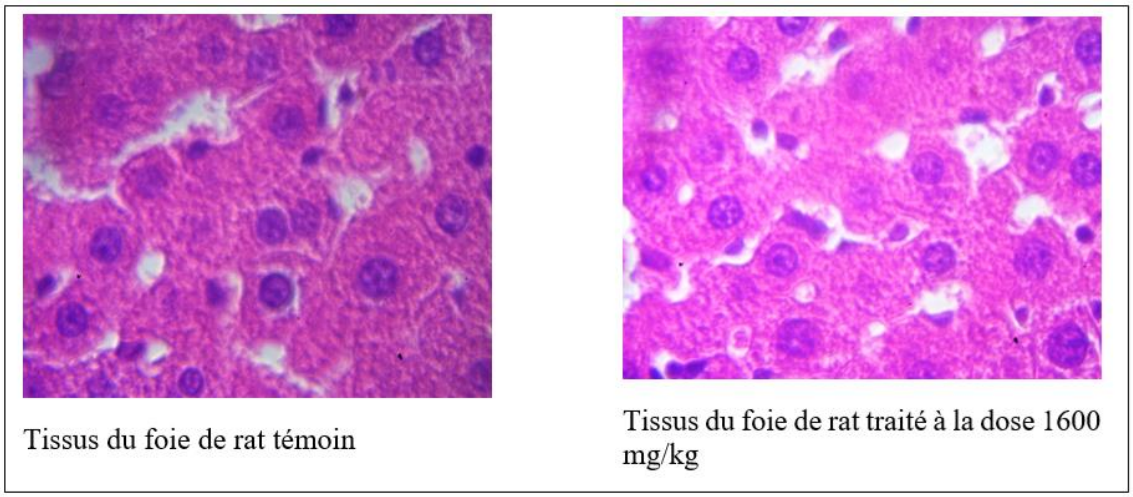


Fig. 4. Micro photographie d'une coupe de tissus du foie de rat témoin et de rat traité à la dose 1600

Coloration: hématoxyline – éosine; Grossissement x 1000

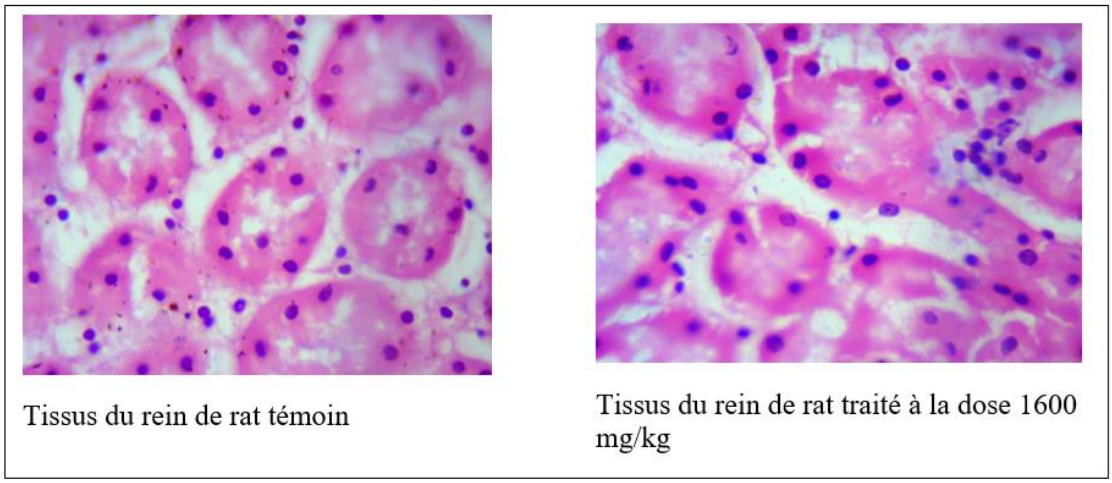


Fig. 5. Micro photographie d'une coupe de tissus du rein de rat témoin et de rat traité à la dose 1600 mg/kg

Coloration : hématoxyline – éosine G x 1000

4 DISCUSSION

La présente étude réalisée sur le *Rhynchospora corymbosa* et *Olax subscorpioïdea* avait pour objectif d'évaluer la toxicité, l'activité anti drépanocytaire et à déterminer quelques paramètres zootechniques chez le rat wistar de ces deux espèces de plantes. La décoction a été choisie comme mode d'extraction en raison de son fort usage dans la préparation des médicaments à base de plante dans le milieu traditionnel selon Bla *et al* [14]. En effet, ces auteurs ont montré que plus de 65 % de la population ivoirienne enquêtée utilisent cette méthode. Il est de même des travaux de Gnagne *et al* [15]. qui ont prouvé que la décoction est utilisée à 88,2 % dans la préparation des médicaments à base de plantes.

S'agissant des compositions chimiques, plusieurs facteurs pourraient influencer les différents composants chimiques des extraits de plantes. En effet, selon Sofowora [16], la composition d'une plante en métabolites secondaires varie en fonction de la situation géographique, de l'organe prélevé, de la période, du moment de prélèvement et des conditions de stockage. En plus, il faut retenir que ces métabolites secondaires sont responsables des propriétés bioactives des plantes.

Le triphytochimique a révélé la présence d'alcaloïdes, de tanins catéchiques, de stérols, de poly terpéniques et de saponines dans le décocté de *Rhynchospora corymbosa* (DRC) par contre, les polyphénols, les flavonoïdes, les leuco-anthocyanes, les alcaloïdes, les saponines et les stéroïdes ont été présents dans le décocté de *Olax subscorpioïdea* (DOSA). Ces résultats confirment les travaux de Soro *et al.* [6] et ceux de certains auteurs comme [17, 18, 19, 20, 21]. Ces derniers ont signalé la présence de ces mêmes composés dans les fractions d'extrait (aqueuse, butanolique, hexanique et acétate d'éthylique et hydro éthanolique) de *Olax subscorpioïdea*. Par contre, ces résultats ne sont pas similaires à ceux de Fankam *et al [*22*].* et de Ishola *et al* [23]. Ces auteurs ont trouvé en plus des tanins, des saponines, des stéroïdes, des polyphénols et des flavonoïdes, la présence des anthraquinones (dérivé des quinones) dans l'extrait aqueux de feuilles de *Olax subscorpioïdea.* Il faut noter que les quinones sont absentes dans nos extraits aqueux de DRC et DOSA.

Il y a eu une recrudescence de l'utilisation de médicaments à base de plantes pour traiter de nombreuses maladies. Cependant, certaines substances chimiques naturelles ont des effets toxiques potentiels et leur sécurité est un point essentiel de préoccupation pour la santé [24]. Dans le processus de développement de médicaments, diverses études de toxicité précliniques sont nécessaires y compris une étude de toxicité aiguë et une étude de toxicité à doses répétées [25].

L'information sur l'innocuité des médicaments traditionnels à base de plantes consommés est essentielle dans le cadre d'une réponse aux préoccupations de santé publique [26]. Yuet -Ping *et al.* [27], ont suggéré la nécessité de documenter l'information expérimentale sur le profil d'innocuité des plantes médicinales et leurs extraits utilisés dans le développement de médicaments. Par conséquent, les rapports et les données sur les effets potentiellement toxiques des plantes médicinales sont essentiels à leur développement à des fins thérapeutiques [26].

L'évaluation de la toxicité aiguë des extraits aqueux (DRC et DOSA) a consisté à mesurer et enregistrer les différents effets adverses qui sont apparus après l'administration des substances testées. Les extraits aqueux (DRC et DOSA) n'ont créé aucun

préjutice sur le comportément et le poids des rats avec la dose unique de 2000 mg/kg. Ces résultats concordent avec les travaux de Leblanc [28] qui a montré que à la dose de 2000 mg/kg, les animaux traités avec l'extrait de *Olax subscorpioïdea* n'ont montré aucun changement de comportements et de signes d'intoxication. A l'issue de l'évaluation de la toxicité aiguë, la DL_{50} est estimée supérieur à 2000 mg/kg par voie orale. Ces résultats confirment aussi les travaux de d'autres auteurs comme le cas des extraits méthanolique et éthanolique de feuilles de *Olax subscorpioidea* dont la DL_{50} a été estimée à 3800 mg/kg [29]. Cependant la DL_{50} orale de l'extrait méthanolique de feuilles de *Olax subscorpioïdea* a été quant à elle est estimée supérieure à 5000 mg/kg [17]. Quant aux travaux de Victoria *et al*. (2016) sur l'extrait méthanolique de racine de *Olax subscorpioïdea,* la DL_{50} est de 2154 mg/kg. La DL_{50} orale de Hepacare (une formulation à base de plantes composée de *Olax subscorpioïdea* et de *Capsicum frutescens*) a été de 3807,89 mg/kg [30].

Selon le Système de Classification Globalement Harmonisé de l'OCDE [31], les extraits DRC et DOSA peuvent être classé dans la catégorie 5 et considéré comme une substance non toxique par voie orale.

La valeur de DL_{50} obtenue pour chaque extrait d'organe de plante est supérieure à 0,1 mg/mL sur à l'échelle de Mousseux [32]. Ceci signifie qu'aucune des deux drogues végétales n'est toxique pour les rats.

Le changement du poids est utilisé comme un indicateur général des effets indésirables des composés chimiques (El-hilaly *et al*., 2004). Ainsi, la perte du poids est corrélée à l'état physiologique de l'animal et peut être expliquée, non seulement par l'anorexie [33], mais aussi par l'altération du métabolisme des animaux [34]. Dans le cas présent, les animaux traités n'ont subi aucune déshydratation par les matières fécales humides.

Le suivi de l'évolution pondérale des rats pendant les 28 jours de traitement avec les extraits de *Rhynchospora corymbosa* et de *Olax subscorpioidea* n'a pas montré de perte significative en poids ($p < 0,05$). Cependant, d'autres auteurs ont montré l'effet deletère de l'administration orale de l'extrait *d*e *Olax subscorpioidea* sur le poids corporel des animaux [35, 36]. Ces résultats sont similaires aux travaux de Adebayo *et al.* [30] qui ont ont révélé que l'extrait hydrohétanolique de *Olax subscorpioidea* à 1000 mg/kg n'a aucun effet sur le poids corporel. Aussi l'administration orale subaiguë de l'extrait hydrohétanolique de *Olax subscorpioidea* aux différentes doses (250, 500, 750 et 1000 mg/kg) n'a également aucun effet sur le poids corporel des rats. Ces résultats ne confirment pas les travaux de Manda *et al*. [3] car ils ont montré des changements de comportements et des signes d'intoxication plus ou moins graves (apathie, somnolence, déplacement difficile des animaux pendant les 3 premières heures et émission de matières fécales humides) chez les animaux qui ont reçu les doses supérieures à 2000 mg/Kg mais aucun cas de mortalité n'a été enregistré à la maximale utilisée de 5000 mg / Kg par voie orale. Cette difference de résultat pourrait montrer que la dose 2000 mg / Kg/ PC est la dose tolorable.

S'agissant du système hématopoïétique, il est l'un des cibles les plus sensibles aux substances toxiques. Il représente un ensemble de marqueur important de l'état physiologique et pathologique de l'homme et de l'animal [34, 37]. Tout changement de l'un de ces paramètres hématologiques à une valeur prédictive pour l'intoxication humaine [35, 38].

Les extraits aqueux (DRC et DOSA) n'ont entrainé aucune modification significative sur le taux des globules blancs, des globules rouges, d'hémoglobine et d'hématocrites, ainsi que le volume globulaire moyen, la concentration corpusculaire moyenne d'hémoglobine, la teneur corpusculaire moyenne en hémoglobine, le nombre de plaquettes, les neutrophiles, les lymphocytes, les monocytes et les éosinophiles à toutes les concentrations chez les rats traités par rapport aux rats témoins. Ces résultats sont en accord avec ceux de Adebayo *et al.* [30], qui n'ont pas enrégistrés des modifiés de manière significative les niveaux de globules rouges, le volume de cellules emballées, le volume corpusculaire moyen, les plaquettes et la concentration moyenne d'hémoglobine corpusculaire aux doses 250, 500 et 750 mg/kg. Cependant, ces résultats ne confirment pas les travaux de Adebayo *et al.* [30] à la dose 1000 mg/kg, qui ont observé une réduction significative de l'hémoglobine corpusculaire moyenne, des lymphocytes, des globules blancs et de l'hémoglobine et une augmenté de manière significative des neutrophiles ont été observé par extrait hydroéthanolique de *Olax subscorpioïdea*. Cette difference pourrait s'expliquer par le moment ou le lieu de la récolte de la plante ou par la nature du réactif utilisé pour la realisation de l'extraction.

Par ailleurs, le foie étant le siège principal de la détoxification des substances naturelles [39]. L'étude de la fonction hépatique peut est utile dans l'évaluation des effets toxiques des plantes étudiées sur le foie. Les transaminases (ALAT et ASAT) sont les principaux enzymes pour évaluer l'état de la fonction hépatique.

Ces enzymes sont d'origine mitochondriale et cytoplasmique. En effet, toute nécrose cellulaire, destruction du parenchyme hépatique ou une augmentation de la perméabilité membranaire des hépatocytes entraine l'écoulement de ces enzymes dans la circulation sanguine et donc l'augmentation de leurs taux sériques.

Ainsi dans la présente étude, le traitement subaigu des rats à différentes doses (400; 800 et 1600 mg/mL) des deux extraits aqueux (DRC et DOSA) n'a entrainé aucune différence significative des taux sériques des Aspartate Amino Transferase (ASAT

ou TGO), des Alanine Amino Transferase (ALAT ou TGP) et la glycémie chez les rats traités par rapport aux rats témoins. Ces résultats ne confirment pas des travaux de Abiodun *et al* [40]. Ces derniers ont observé une diminution significative des taux sériques d'alanine aminotransférase (ALAT) aux doses 250 et 500 mg/kg. Une augmentation significative de l'ALP aux doses 500, 750 et 1000 mg / kg. Une augmentation de ALAT, ASAT, ALP et protéines totales à la dose de 2500 mg/kg par extrait hydroéthanolique *de Olax subscorpioïdea*. Cette difference pourrait s'expliquer par le moment ou le lieu de la récolte ou par la nature du réactif utilisé pour la realisation de l'extraction.

Quant aux bilans rénaux, il sert à dépister un éventuel dysfonctionnement du rein. Il comprend en première approche quelques examens biochimiques dont l'urée, la créatinine, la protéines totales et les électrolytes [41].

En effet, ces paramètres ont des valeurs élevées en cas d'altération du mécanisme de la filtration rénale [42, 43]. Les extraits aqueux (DRC et DOSA) aux doses (400; 800 et 1600 mg/mL) ont été sans effet sur les taux moyens d'urée, de créatinine et de glucose et la protéine totale. Ces paramètres biochimiques sont restés dans les intervalles de normalités et n'ont pas subi de variations significative par rapport aux témoins. Les résultats de nos travaux ne concordent pas avec les travaux de Abiodun *et al* [40]. Leurs résultats ont montré une augmentation significative de la protéine totale à la dose de 2500 mg/kg par l'extrait hydrohétanolique de *Olax subscorpioïdea*. Cette difference pourrait s'expliquer par une augmentation de la dose et par le moment ou le lieu de la récolte ou par la nature du réactif utilisé pour la realisation de l'extraction.

Les extraits aqueux (DRC et DOSA) aux doses (400; 800 et 1600 mg/mL) ont été sans effet sur le poids relatif des organes (cœur, du foie, des reins, de la rate et des poumons) des rats traités. Les résultats de nos travaux sont similaires aux travaux de Adebayo *et al.* [30] et Abiodun *et al [*40*].* Ces auteurs ont révélé que l'administration orale subaiguë de l'extrait hydrohétanolique de *Olax subscorpioidea* aux différentes doses (250, 500, 750 et 1000 mg/kg) n'a aucun effet sur le poids relatif des organes [30]. De même, Abiodun *et al.* [40] n'ont révélé aucun effet sur le poids relatif des organes de rats par l'extrait hydrohétanolique de *Olax subscorpioidea* aux différentes doses (250; 500; 500; 750; 1000 et 2500 mg).

Les extraits aqueux (DRC et DOSA) aux doses (400; 800 et 1600 mg/mL) ont été sans effet sur la texture du foie et des reins. Les résultats des travaux de Abiodun *et al.* [40] confirment les résultats de nos travaux. Pour eux, l'extrait hydrohétanolique de *Olax subscorpioidea* n'a révélé aucun changement histopathologique dans le foie et les reins par à toutes les doses (250; 500; 500; 750; 1000 et 2500 mg/kg). Les résultes de ces travaux confirment aussi les travaux de Adebayo *et al*. [30] car ils ont signalé un manque d'hépatotoxicité et de toxicité rénale de l'extrait éthanolique de *Olax subscorpioïdea*.

5 CONCLUSION

Rhynchospora corymbosa et *Olax subscorpioïdea* sont deux espèces de plantes utilisées dans la prise en charge traditionnelle de plusieurs pathologies dont la drépanocytose. L'administration par voie orale des extraits aqueux de *Rhynchospora corymbosa* et *Olax subscorpioïdea* n'a pas montré de toxicité aiguë chez les rats aux doses 2000 mg/kg. L'étude de la toxicité subaiguë chez les rats n'a pas montré de toxicité des extraits *Rhynchospora corymbosa* et *Olax subscorpioïdea* aux doses administrées. Il ressort de l'ensemble de ces résultats que les extraits aqueux de DRC et DOSA aux doses 400; 800 et 1600 mg/kg pc administré par voie orale aux rats est bien toléré et son activité n'entraine aucun préjudice sur les organes, les paramètres biochimiques et hématologiques ainsi que sur la masse des animaux comparativement à ceux des rats normaux. Toutefois il serait judicieux d'étudier les toxicités chronique et cellulaire de ces extraits aux mêmes doses ou à des doses plus élevées.

REFERENCES

[1] Union Africaine. Plan d'action de la décennie de la médecine traditionnelle (2001 - 2010). *164 ème Conférence des chefs d'état et de gouvernement sur la médecine traditionnelle,* 8-10 Décembre 2010, Lusaka, Zambie. 2010. 37 p.

[2] OMS. Principes méthodologiques généraux pour la recherche et l'évaluation relatives à la médecine traditionnelle. Genève (Suisse). 2000. 79 p.

[3] Manda P., Manda O., Vangah-manda M.O., Kroa E. & Dano S.D. Etude des toxicités aigue et subaiguë du remède nature utilise dans le traitement du paludisme. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*.2017. 29 (2017) 145 – 158.

[4] Ukwuani, A. N., Abubakar, M. G., Hassan, S.W. & Agaie, B.M. Toxicological studies of hydromethanolic leaves extract of Grewia crenata. International Journal of Pharmaceutical Science and Drug Research. 2012. 4: 245–249.

[5] Atsamo A. D., Nguelefack T. B., Datté J. Y. & Kamanyi A. Acute and subchronic oral toxicity assessment of the aqueous extract from the stem bark of *Erythrina senegalensis* DC (Fabaceae) in rodents. *Journal of Ethnopharmacology*. 2011. 697-702.

[6] Soro M., Akakpo-Akue J., Ackah J.A.A.B., Sibri J.F., Yapi Y.G. & Kple T.K.M. Effect of *Rhynchospora corymbosa* and *Olax subscorpioïdea* two plants used in the management of Korhogo sickle cell disease. *Journal of Phytopharmacology*.2021. 10 (1): 1-6.

[7] Ayandele A. & Adebiyi A. The phytochemical analysis and antimicrobial screening of extracts of *Olax subscorpioidea,* Department of Pure and Applied Biology, LAUTECH, P.M.B 4000 Ogbomoso, Oyo State Nigeria. *African Journal of Biotechnology.* 2006. 6 (7): 868-870.

[8] Rogers, Z. S. A synoptic revision of Olax L. (Olacaceae) in Madagascar and the Comoro Islands. Adansonia, sér. 2006. 3, 28 (1), 71-100.

[9] Konkon N., Simaga D., Adjoungova A., N'guessan., Zirihi G. & Kone B. (2006). Etude phytochimique de *mitragyna inermis* (willd.) *o*. *ktze* (rubiaceae), plante à feuille antidiabetique, *Pharmacy and Médecine Traditional in Africa*. 2006. 14: 73-80.

[10] Costa-Silva J.H., Lima C.R., Silva E.J.R., Araujo A.V., Fraga M.C.C.A., Ribeiro A., Arruda A.C., Lafayette S.S.L. & Wanderley A.G. Acute and subacute toxicity of the *Carapa guianensis* Aublet (Meliceae) seed oil. *Journal of Ethnopharmacology*. 2008. 116: 495-500.

[11] Silva, E.J.R., Gonçalves, E.S., Aguiar, F., Evencio, L.B., Lyra, M.M.A., Coelho, M.C.O.C., Fraga, M.C.C.A. & Wanderley, A.G. Toxicological studies on hydroalcohol extract *of Calendula officinalis* L. *Phytotherapy Research*. 2007. 21: 332-336.

[12] Musa, A.H., Kumar Vata, P., Gebru, G., Mekonnen, Y., Debella, A., Makonnen. Biochemical and hematological study on butanol fraction of leaves of *Moringa Stenopetala* in Experimental rats. *IOSR Journal of Pharmacy*. 2016. 6 (5): 2319-4219.

[13] Friewald W.T., Levy R.I. & Fredrickson D.S. Estimation of the Concentration of Low Density Lipoprotein Cholesterol in Plasma without the use of Preparative Ultracentrifuge. *Clinical Chemistry*. 1972. 18: 499-502.

[14] Bla K., Trebissou J. et Bidie A. Étude ethnopharmacologique des plantes antipaludiques utilisées chez les Baoulé- N'Gban de Toumodi dans le Centre de la Côte d'Ivoire*. Journal of Applied Biosciences.* 2015*.* 85: 7775-7783.

[15] Gnagne A.S., Camara D., Fofié N.B.Y., Béné K. & Zirihi G.N. Étude ethnobotanique des plantes médicinales utilisées dans le traitement du diabète dans le Département de Zouénoula (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences*. 2017. 113: 11257-11266.

[16] Sofowora A. Plantes médicinales et médecine traditionnelle d'Afrique. 2ème édition, Editions Karthala: Paris, France. 1996. 378 p.

[17] Odoma S., Zezi A.U., Danjuma N.M. & Ahmed A. Analgesic and antiinflammatory properties of methanol leaf extract of *Olax suscorpioidea* Oliv (Olacaceae) in mice and rats. *Journal of Pharmacology and Tropical Therapeutics.* 2014. 4 (1): 29-37.

[18] Adegbite O.S., Akinsanya Y.I., Kukoyi A.J., Iyanda-Joel W.O., Daniel O.O. & Adebayo A.H. Induction of rat hepatic mitochondrial membrane permeability transition pore opening by leaf extract of *Olax subscorpioidea*. *Pharmacognosy Research*. 2015. 7 (1): 63-68.

[19] Kazeem M.I., Ayeleso A.O. & Mukwevho E. *Olax subscorpioidea* Oliv. leaf alleviates postprandial hyperglycaemia by inhibition of α-amylase and αglucosidase*. International Journal of Pharmacology*. 2015. 11 (5): 484-489.

[20] Odoma S. Analgesic, anti-inflammatory and other pharmacological activities of methanol leaf extract of *Olax subscorpioidea* Oliv (Olacaceae) in laboratory animals. Thèse de Doctorat, UFR Pharmacologie et Therapeutique, Specialité: sciences pharmaceutiques, Université Ahmadu Bello, Zaria, Nigeria. 2016. 147 p.

[21] Popoola T.D., Awodele O., Omisanya A., Obi N., Umezinwa C. & Fatokun A.A. Three indigenous plants used in anticancer remedies, *Garcinia kola* Heckel (stem bark), *Uvaria chamae* P. Beauv. (root) and *Olax subscorpioidea* Oliv. (root) show analgesic and anti-inflammatory activities in animal models. *Journol of Ethnopharmacological*. 2016. 194: 440-449.

[22] Fankam J.M., Kuete A.G., Voukeng V. & Pages I.K. Antibacterial activities of selected cameroonian plants and their synergistic effects with antibiotics against bacteria expressing MDR phenotypes. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medecine*. 2011. 11 (104): 1-11.

[23] Ishola I.O., Akinyede A., Lawal S.M. & Popoola T.D. Antinociceptive and anti-inflammatory effects of *Olax subscorpioidea* Oliv. (Olacaceae) leaf extract in rodents: possible mechanisms of antinociceptive action. *West African Journal of Pharmacy*.2015. 26 (1): 99-112.

[24] Han C.T., Kim D.Y., Nam C., Moon S.H., Park S.H., Han K.G., Lee H.Y., Bae H.M., Park C.B., So J.H., Kang S. & Kang J.K. Acute and 13-week subchronic toxicity studies of hot-water extract of *Cynanchi wilfordii* Radix in Sprague-Dawley rats. *Toxicology Research*. 2020. 36 (1): 89-98.

[25] Sharma V. & Sarkar I.N. Bioinformatics opportunities for identification and study of medicinal plants. *Briefings in Bioinformatics.* 2013. 14 (2): 238-250.

[26] El-Kabbaoui M., Chda A., El-Akhal J., Azdad O., Mejrhit N., Aarab L., Bencheikh R. & Tazi A. Acute and sub-chronic toxicity studies of the aqueous extract from leaves of *Cistus ladaniferus* L. in mice and rats. *Journal of Ethnopharmacology*. 2017. 209: 147-156.

[27] Yuet-Ping K., Darah I., Chen Y., Sreeramanan S. & Sasidharan S. Acute and subchronic toxicity study of *Euphorbia hirta* L. methanol extract in rats. *BioMed Research International*. 2013. 18: 2014-2064.
[28] Leblanc G. A. Acute toxicity. *In*: A Textbook of Modern Toxicology. 4th edition, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey. 2010. 125-236.
[29] Nazifi A.B., Saidi O. & Ismail H.F. Evaluation of anticonvulsant effects of methanolic extract of *Olax subscorpioidea* Oliv. leaves in chicks and mice. *Journal of Pharmacy & Bioresources*. 2015. 12 (2): 165-171.
[30] Adebayo A.H., Ashano E.E., Yakubu O.F. & Okubena O. Pro-inflammatory and toxicological evaluation of Hepacare Ò in mice. *Journal Taibah University Medical Sciences*. 2017. 12 (4): 313-323.
[31] OCDE. Toxicité orale aigue-Méthode par classe de toxicité aiguë. Ligne directrice de l'OCDE pour les essais de produits chimiques, OCDE. 2001. 423: 14 p.
[32] Mousseux M. Test de toxicité sur les larves d'*Artemia salina* et d'entretien d'un élevage de balanes, Rapport de stage de deuxième année. DEUST Aquaculture; Centre Universitaire de Nouvelle Calédonie, France. 1995. 75 p.
[33] Righetti A., Koua A. and Adiossan L. Etiology of anemia among infants, school-aged children, and young non-pregnant women in different settings of South-Central Cote d'Ivoire. *Tropical Medicine and Hygiène*. 2012. 87: 425-434.
[34] Mukinda J.T. & Syce J.A. Acute and chronic toxicity of the aqueous extract of *Artemisia afra* in rodents. *Journal of Ethnopharmacology*. 2007. 112: 138 -144.
[35] Rhiouani H., El-hilaly J., Israili Z. H., & Lyoussi B. Acute and sub-chronic toxicity of an aqueous extract of the leaves of *Herniaria glabra* in rodents. *Journal of Ethnopharmacology*. 2008. 118: 378-386.
[36] Lakmichi H., Bakhtaoui F. Z., Gadhi C. A., Ezoubeiri A., El-jahiri Y., El-mansouri A., Zrara I. & Loutfi K. Toxicity Profile of the Aqueous Ethanol Root Extract of *Corrigiola telephiifolia* Pourr. (Caryophyllaceae) in Rodents. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2011. 1-10.
[37] Li X., Luo Y., Wang L., Li Y., Shi Y., Cui Y. & Xue M. Acute and subacute toxicity of ethanol extracts from *Salvia przewalskii* Maxim in rodents. *Journal of Ethnopharmacology*. 2010. 131: 110-115.
[38] Olson H., G., Betton D., Robinson K., Thomas A., Monro G., Kolaja P., Lilly J., Sanders G., Sipes W., Bracken M., Dorato K., Van Deun P., Smith B., Berger A. & Heller. Concordance of the Toxicity of Pharmaceuticals in Humans and in Animals. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 2000. 32: 56-67.
[39] Reichl F. X. Guide pratique de toxicologie. 2^{éme} Edition. *DeBoeck & Larcier,* Bruxelles (Belgique). 2004. 4 - 16.
[40] Abiodun H.A., Oluwatobi S.A., Joseph A.O.O., Oyetomiwa O.F. & Kenechukwu B.O. Toxicological evaluation of extract of *Olax subsorpioidea* on albino Wistar rats. *African Journal Pharm Pharmacol.* 2014. 8 (21): 570-578.
[41] Timbrell J. Principles of biochemical toxicology. 3rd edition, *Taylor & Francis,* London. 2000. 1-390.
[42] Wassan K.M., Najati S., Wong J. & Kwong M. Assessing plasma lipid levels, body weight and renal toxicity following chronic oral administration of a water soluble phytostanol compound FM-VP4, to gerbits. *Journal of Pharmceutical Sciences*. 2001. 4 (3) 228-234.
[43] Mohsen T., Seyed N.O. & Zatollah A. Sub-chronic oral toxicity of *Cuminum cyminum* L.'s essential oil in female Wistar rats. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 2017. 88: 138 -143.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1192-1199
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Are symbolic wounds linked to intellectual disability? A case study of the father of a child with an intellectual disability

Choupo Tamwa Julio Trésor

Department of Psychology, University of Yaoundé 1, Yaoundé, Cameroon

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In reference to the psychoanalytical theory on the drives, the birth of a child in poor health leads to drive dissatisfaction preventing the support of the ego in the father which could inflict symbolic wounds on the latter. Research on intellectual disability has focused more on analyzing the experiences of mothers of children with intellectual disabilities and the experiences of siblings. However, the experiences of fathers of children with intellectual disabilities and their symbolic wounds are not documented. However, fathers and mothers of children with disabilities experience it differently. The study aims to fill this gap by linking this handicap to the symbolic wounds of fathers. A semi-structured clinical interview was carried out in the city of Douala with the father (aged 37) of an 11-year-old male child. The results of the thematic content analysis highlight a painful transmission, a depreciation of the ego, a narcissistic attack, a feeling of humiliation and a feeling of injustice in the latter. It can be concluded that these observed symbolic injuries are related to intellectual disability.

KEYWORDS: Intellectual deficiency, intellectually deficient child, Symbolic injury, Handicap, Narcissistic attack.

1 INTRODUCTION

According to Laplanche and Pontalis (1967) the desire for a child derives these sources from the resolution of the Oedipus complex and is well observed in both girls and boys. This is manifested in the boy by the threat of castration that the father imposes on the young boy who, for the latter, for fear of losing an object that is very dear to him (the phallus) will renounce his incestuous desires which leads to the mother. for the oriented towards external objects (Freud, 1914). This desire for a child in the systemic family theory makes it possible to settle the debt of transmission, to remain loyal (Boszormeny-nagy, 1959), to access parenthood (Bydlowski, 1989) and in a psychoanalytical context of being able to identify with his father, to have a child like his father (Freud, 1914). Thus, according to Bydlowski (1989), this debt will later result in attraction to the opposite sex and will materialize in childbirth.

This gravid period is generally characterized in the father by a narcissistic investment in the ideal child, one who "will fulfill the dreams of desire that the parents have not put into execution, he will be a great man, a hero, in place of the father" (Korff-Sausse, 2006, p. 23). In this sense, the desire for a child is a means for the young person to verify that his father has not hated or even castrated him, if the right of inheritance has been bequeathed in turn, which allows him to settle his debt. towards his father, a debt that he will also entrust to his son in the same way (Freud, 1940). Thus, the birth of a child is generally a source of joy, as it validates the alliance between the two families (Radclife-Brown, 1950). This birth contributes to the continuity of the life of the couple. This shows the importance given to the child within the couple.

Merucci (2006) shows that the specificity of the parental role, particularly that of the father as much as that of the mother, is to ensure the continuity of the family by generating and promoting the progressive autonomy of the child and by ensuring his affiliation. This means that one of the roles of parents is to consolidate the feeling of belonging to a family by giving the child the feeling of having roots firmly established in a family history. In fact, the parental function consists in helping the child to build a representation of the world, to be aware of his multiple identities and to become a socially fulfilled autonomous adult who is part of a story of filiation. However, when the child presents imperfections or a handicap at birth, he is perceived as a child carrying disappointed or unfulfilled desires, jeopardizing the future projections of the parents and the continuity of the family (André-Fustier, 2002). Because the child was an object of desire initially pre-invested then invested and idealized by the parents and their families (André-Fustier, 2002). This rupture

that is created between the idealized child and the resulting child taints the father-child and mother-child relationship differently. In this sense, the literature indicates that the father-child relationship is constructed differently from the mother-child relationship with a pre-eminence of play activities for fathers and care activities for mothers (Le Camus et al., 2000; Pierrehumbert, 2003). The interaction between father and child is different from that between mother and child. Indeed, unlike the mother who is more involved in didactic and playful activities (using toys) in order to capture the child's interest, the father is more involved in physical activities that would encourage the child to regulate the exchanges with the others and would constitute a stimulus for the sociability of the child. The birth of a child with a disability pushes the father to ensure the differentiation and individuation of the child in order to ensure his autonomy.

In light of psychoanalytic drive theory (Freud, 1987), the birth of a child in poor health can lead to drive dissatisfaction. This is relative to a normal procreation which prevents the shoring up of the ego in the father which could be a source of symbolic wounds in the latter. This can provide justification for the fact that if the father is not directly involved, he would not be spared from psychological suffering. The birth of a child with an intellectual disability is presented as a faulty procreation or even a dangerous transmission process (Korff-Sausse, 2010).

The fact of having become a father would lead to a transfer by authorizing the father to ensure the continuity of filiation. Thus, when his ability to engender a child who presents all his faculties is undermined, the father will feel lacking in his virility as a man. In this sense, the father finds himself overwhelmed by an overflow of excitement, his ego is overwhelmed, disorganized by creating a break in his ego (Crocq, 1999). It is a question here of an excess of stimulation, of image, of an absence of positive self-representation, of meaning, of an excess of anguish, of an overflow of capacities of containment, of a defect or lack of protection. It all boils down to the father's trauma (Marty, 2001), creating a state of unease in him.

Research indicates that the stories of fathers of children with disabilities attest to their suffering and disorganizations in the structuring of their family and professional lives (Garner, 2015; Griffith & Hastings, 2014). The disability of the child changes beyond all foreseeability their roles as fathers, the organization of the couple, their relationship with the disabled child and their relationship with the extended family and their professional situation. The birth of a disabled child therefore constitutes a disruption within the family and a moment of change, readjustment and reorganization of family functioning. However, the birth of a child with an intellectual disability which, according to its characteristics, does not guarantee the perpetuation of filiation can generate a symbolic wound in the father. In this sense, the present study notes that until today, the literature does not take into account the symbolic wounds of the fathers of children with intellectual disabilities. Luca (2006) emphasizes that the birth of a child can constitute in itself a psychic trauma leading to decompensations in reaction to archaic conflicts marked by identity disorders. For the father, unlike the mother, the fact of being convinced of the proper functioning of his sex effectively militates to ensure his narcissistic completeness, but the birth of the child in a situation of intellectual disability places him in a situation of discomfort. psychological. For the present study, access to fatherhood with an intellectually disabled child can generate symbolic wounds.

A limited number of studies generally include fathers of children with disabilities in their sample (Cairns et al., 2013; Dunn et al., 2019; Rowbotham et al., 2011). These studies exclude fathers from their analysis due to their low representativeness (Thomson et al., 2017). Dunn et al. (2019) report that a meta-synthesis of research examining the experience of loved ones (caregivers) of individuals with intellectual disabilities found that most studies did not report the outcomes of the experiences of mothers and fathers separately (Griffith & Hastings, 2014). Yet, research indicates that when it comes to caregiving, fathers and mothers of individuals with intellectual disabilities have different experiences (Hastings et al., 2005; Olsson & Hwang, 2006; Saloviita et al., 2003; Taunt & Hastings, 2002). However, research on intellectual disability and the experience of caregivers of people with this disability does not report results observed mainly with fathers. Thus, they provide incomplete data on the narcissistic and even symbolic wounds of these fathers. Given that mothers and fathers do not live the same experiences (Dunn et al., 2019), the present study is part of this perspective by analyzing in these fathers of children with intellectual disabilities the symbolic injuries emanating from this disability. It aims to provide a deeper understanding of the symbolic wounds of a father having a son with intellectual disability. From this perspective, disability has colorings of an image of castration, which can inflict wounds that would specifically affect the father. This study suggests that in the face of a child's intellectual disability, the father experiences symbolic wounds. Its objective is to highlight these symbolic wounds. This study may help practitioners and services provide more targeted support to fathers with symbolic injuries stemming from their child's intellectual disability. To achieve this, recourse to the clinical method through semi-structured interviews.

2 METHOD

2.1 PARTICIPANT

This research aims to analyze the symbolic wounds in a father of an intellectually disabled child. It took place in the city of Douala in Cameroon. For reasons of confidentiality, we have assigned him a pseudonym Michel. Michel is the father of three (03) children, one (01) boy two (02) girls, the eldest at 14 years old and the youngest 3 years old. The child with intellectual disabilities is 11 years old and has been attending the Douala Childhood Clinical Educational Center since the 2022/2023 school year. The meeting with Michel, the

father of the child with intellectual disabilities, who is a 37-year-old Catholic Christian businessman, took place at his home. To do this and according to ethical principles, we presented him with a free and informed consent form which he read and gave his agreement by signing at the end. So before starting the actual clinical interview, we explained to him the purpose of the research while specifying to him that there are no rights or wrong answers.

2.2 MEASUREMENT AND DATA COLLECTION PROCEDURE

To collect the data, we use the semi-directive clinical interview through an interview grid which is the investigative tool par excellence allowing access to the singular and total experience of an individual. It is very important and essential in psychology, whether from a diagnostic, therapeutic or research point of view, allowing access to the representations and emotions of the subject, but also to collect anamnestic data (Alexandre, 1998). The semi-directive clinical interview brings into play a number of essential themes allowing the collection of precise data related to the participant's experience. The interview with Michel is done in two sessions. The first lasted 35 minutes and the second lasted 15 minutes. The interviews were recorded using a Dictaphone. We have informed the participant beforehand about its use in order to avoid confusion. Subsequently, we transcribed these interviews using a computer on Word and then we drew inspiration from the content analysis to analyze the data from the semi-structured clinical interview.

3 RESULTS

The analysis of the data from the clinical interview with Mr. Michel allowed us to identify a few themes that could address the issue of symbolic wounds in the latter. The experience of the father's subjective experience in relation to the intellectual deficiency of his son in the background suggests the narcissistic wounds in connection with the process of transmission, an experience animated by a weakening (depreciation) of his ego a feeling of humiliation added to a feeling of injustice. Several clues from the father's verbatim, grouped into themes, allow us to elucidate symbolic wounds in the latter. These symbolic Wounds observed are the following:

A PAINFUL TRANSMISSION THAT DOES NOT ENSURE

The birth of a child in a couple is an essential event which, for the latter, refers to a transmission process whose main ambition is to strengthen intrasubjective ties and ensure intergenerational continuity (Kaes, 2009). For Korff-Sausse (2009) the psychic processes that are woven around birth are constructed in connection with previous generations, thus allowing the present to update the past and ensure the future. At the time of birth, the father experiences significant psychic reorganizations. A new psychic organization reappears allowing the father to be able to read himself in his son through a process of identification which will allow him to become a father. When this transmission process is mortgaged by the discovery of an intellectual disability in its offspring, the latter freezes the transmission process which becomes incomplete. The verbatim collected from Mr. Michel sufficiently testify that the discovery of his son's intellectual disability is mainly experienced for him as a failure when he affirms:

> *L'accouchement c'est très bien passé, sans problème, l'accouchement s'est très bien passé lui aussi il est né sans problème, au bout de deux jours nous sommes sortis de l'hôpital. Bon moi je commence à m'inquiéter pour X à partir deeee euf fffff ! Trois ans. Humm! Je me suis posé tellement de questions (…) sa mère avait fait tous les examens pendant la grossesse et tout était OK, mais voilà aujourd'hui je me* regarde *je cherche des réponses je n'en trouve pas. Moi j'étais toujours brave à l'école ainsi que sa mère donc pour ça, lui seul connait ou il a pris ça. Excusez-moi du terme, car (…), mais c'est vraiment déplorable*[1]

This corpus actually shows that the father has a bad experience of the situation and is unable to identify with his son in a situation of intellectual disability; which inflicts a certain suffering on him, as his words emphasize: « *je suis debout, mais je ne sais pas si je vis lorsqu'on travaille comme moi c'est pour assurer l'avenir de son enfant, mais voilà… pour qu'il puisse prendre la relève quand on sera déjà vieux, mais voilà* »[2]. This corpus actually shows that the father has a bad experience of the situation and is unable to identify with his son in a

[1] The delivery went very well, without any problem, the delivery went very well too, he was born without any problem, after two days we were discharged from the hospital. Well I'm starting to worry about X from eeee euf fffff! Three years. Hmmm! I asked myself so many questions (…) his mother had done all the exams during the pregnancy and everything was OK, but here today I look at myself I am looking for answers I can't find any. I was always brave at school as well as his mother so for that, only he knows where he took it. Excuse me for the term, because (…), but it is really deplorable.

[2] "I'm up, but I don't know if I live when you work like me, it's to ensure your child's future, but there you go... so that he can take over when you're already old, but there you go »

situation of intellectual disability; which inflicts a certain suffering on him, as underlined by his remarks: "I'm up, but I don't know if I live when people work like me, it's to ensure the future of their child, but here... so that they can take over when you're already old, but that's it". The words of Mr. Michel reveal a thorny and distraught experience for the intellectually disabled child and a failure in the process of maintaining the continuity of his siblings. For him, this child with an intellectual disability is not the child he has long thought or even desired.

SYMBOLIC WOUNDS BY THE DEPRECIATION OF THE SELF

The psychic apparatus of each subject, with regard to the second Freudian topic, is made up of the id of the ego and the superego, and each level has a specific and well-determined functioning. Indeed, the ego is the authority that ensures the balance of the psychic apparatus between the pressures coming from the id and those of the superego. In doing so, it protects the superego from violent excitations coming from outside that can be harmful to an individual. Indeed, this "me" can be undermined when it is subjected to external events. In fact, the representations or even the preconceived ideas that one and the other can develop with regard to the individual in relation to a situation or a life event can weaken his "ego", this can take place in a context where he can no longer regulate the flow of information coming from the outside or from his environment. All this was observed in Mr. Michel's speech after analysis. It reveals that:

> « *je me sens parfois désintéressé, parfois je peux être en train de prendre un pot avec les amis, après je sens un désintérêt; je me lève; je dis au revoir; je rentre seulement; pour vous dire vrais, ce n'est pas facile. En plus, tu ne sais même pas ce que tes propres amis se disent de toi quand tu n'es pas là. C'est ça le plus difficile dans tout.* » [3]

These propositions of the subject show that the intellectual deficiency of the child is the main factor which creates from time to time a lack of interest in Mr. Michel by a depreciation of the self, he adds: "It is as if I am useless (...) guys see you he laughs with you from behind he mocks saying is that even a man over there you kinda see what that means. The mere fact of realizing that others are watching us in our singularity that we would not like exposed does not create a reassuring framework for the "me" which feels devalued, devalued, denigrated and degraded. This causes Mr. Michel a suffering whose central core is the attack on the "symbolic self" as opposed to the "physical or corporeal self". This "symbolic self" undermined through the feeling of depreciation or stigmatization is the symbolism of an identity threat. This affects the narcissistic side of the individual causing a symbolic wound. This "me" symbolizing the self or the self-esteem of Mr. Michel undermined is built around representations, perceptual biases including stereotypes, preconceptions in terms of prejudices, stigmas and discrimination against him and towards her intellectually disabled son and his family.

3.1 NARCISSISTIC EXPECTATION

The discovery of the child's deficiency creates a narcissistic wound that indirectly affects the imaginary child and the extension of parental narcissism (Korff-Sausse, 2007). The idealized child, who must ensure continuity, when he has a disability, becomes a strange child, even a stranger to the family. Indeed, during a birth, if the child allows the parents, through a process of reciprocal identification, to project themselves and to find a certain narcissistic reassurance, the unexpected child, constitutes at this moment rather a mirror of identity broken (Korff-Sausse, 1996) at the origin of narcissistic fragility and psychological vulnerability. Mr. Michel is therefore not immune, especially when he argues that: « *Plus que c'est mon seul fils qui va donc assurer ma succession (...) il ne pourra pas certainement être capable si oui comment va il gérer les calculs si déjà à cet âge avancé s'il est comme ça c'est inquiétant* ». L'enfant aimé, l'enfant idéal doit être pour lui un enfant sans maladie. »[4]

The presence of intellectual disability in her son will intrude on his parental narcissism. This intrusion contributes to the accentuation of a negative narcissism shattering his identity and his self-esteem. Narcissistic attack in a form of biopsychological break-in is a traumatic situation (shock) which plunges Monsieur Michel into a state reminiscent of that of mourning, of the loss of an object: mourning for the ideal child, loss of the child ideal when he declares: « *Personne ne souhaiterait ça personne l'enfant ne devrait pas être une punition*.»[5]

---

[3] "I sometimes feel disinterested, sometimes I can be having a drink with friends, then I feel disinterested; I'm getting up ; I say goodbye ; I'm just going home; To tell you the truth, it's not easy. Besides, you don't even know what your own friends are saying about you when you're not around. That's the hardest part of everything. »

[4] "More than it is my only son who will therefore ensure my succession (…) he certainly will not be able to be able if so how will he manage the calculations if already at this advanced age if he is like that it is worrying" . The loved child, the ideal child must be for him a child without disease. »

[5] "Nobody would want that nobody the child should not be a punishment."

Thus, the narcissistic wounds that the child inflicts on him weaken the image he has of himself and, in turn, do not allow him to find narcissistic reassurance when he says: « *Je ne sais comment lui donner mon amour, comment l'aimer.* »[6]

A FEELING OF HUMILIATION

The internalization of the narcissistic attacks generated by the child in a situation of intellectual disability will reinforce the feeling of humiliation or even lower him in the eyes of those around him. Mr. Michel is convinced that he has no place in his living environment because of the loss of the role of paternal countenance which positions him within the group as a parent, thus fearing to lose all ties with the group when he declares:

> *« je me sens parfois de plus en plus perdu, parfois quand il était encore à l'école publique il avait 8 ans à la sil et jusque-là ça ne donnait pas tu vois on dit qu'il a réunion des parents tu es obligé de partir quand tu arrives dès qu'on dit le père de X c'est comme si c'est toute la salle qui se retourne pour te regarder (…) et vrais c'est gênant imagine toi tu viens par exemple prendre l'enfant à l'école dès que tu es la avec l'enfant les gens te regardent comme si tu pouvais faire quelque chose pour changer la situation surtout des regards méprisants comme si on te dépouillait (…) bon maintenant la majorité de fois c'est le chauffeur qui l'accompagne. »*[7]

In such circumstances, Mr. Michel is bored with the shame of third parties. This often leads to a distancing, a refusal to hear what is disturbing and the rejection of the child affected by the disease. These wounds of humiliation observed in Mr. Michel are referred more to his own fathers who, according to the circumstances of his past experience buried in his unconscious, are proof of a humiliation that his father inflicted on him. And according to Freudian logic, this raises a problem of castration which finds its origin in a stage of infantile development referring to the all-powerful father, to the castrating father. To punish him for these incestuous desires towards his mother, castrated him to prevent him from accessing normal paternity. On this subject, Mr. Michel declares: *« Avec mon père (…) humm celui-là il ne m'a jamais aimé il est très difficile moi je ne sais pas tout pour lui se sont les ordres on grandit même il ne voit pas (…) ce n'est que ma mère qui compte beaucoup pour moi*.»[8]

A FEELING OF INJUSTICE

We can perceive that certain things that happen to us should not happen, or that they should not take place. Thus, one can perceive that he is unfairly treated and that he does not benefit from his natural rights. The treatment he undergoes or to which he is subjected is unjust. For this is contrary to what is acceptable, just and expected; hence the emergence of the feeling of injustice. As far as Mr. Michel is concerned, the feeling of injustice is apprehended by the violent emotions he feels deep within him, following the discovery of his son's intellectual disability. For him, it is "a curse", the loss of a son who was initially an ideally expected child. This generates psychic wounds that can be detected in his proposals, because he says: « *Voilà que pour un accouchement toute ma vie a basculé (…) est-ce que moi je mérite ça ? Pourquoi le sors à guetter son dévolu sur moi parfois les choses de la nature sont compliquées à expliquer de manière simple.*»[9]

What emerges from Mr. Michel's remarks are mental ruminations that plunge him into a feeling of injustice. He declares: « *C'est pour des raisons du handicap de X qu'on est obligé de faire tout en fonction de lui on ne peut pas aussi faire les choses normalement comme tout le monde. En effet, on ne vit pas ce que vous vivez chez vous. C'est plus compliqué; Et il faut en tenir compte de tout ça (…) si par exemple les autres partent à l'école seuls, celui-ci il faut plutôt l'accompagner au risque qu'il ne s'égare.* »[10] Thus, by these fragments of

[6] "I don't know how to give him my love, how to love him."

[7] I sometimes feel more and more lost, sometimes when he was still in public school he was 8 years old at the time and until then it didn't work you see they say he has a parents' meeting you have to leave when you arrive as soon as we say the father of X it's as if the whole room turns around to look at you (…) and true it's embarrassing imagine you come for example to take the child to school as soon as you are there with the child people look at you as if you could do something to change the situation especially contemptuous looks as if you were robbed (…) well now most of the time it's the driver who accompanies him

[8] "With my father (…) humm that one he never loved me it is very difficult me I do not know everything for him are the orders we grow up even he does not see (. . .) it is only my mother who means a lot to me."

[9] "Now that for a childbirth my whole life has changed (…) do I deserve this? Why go out to watch his destiny on me sometimes the things of nature are complicated to explain in a simple way. »

[10] "It is for reasons of X's handicap that we are obliged to do everything according to him, we cannot also do things normally like everyone else. Indeed, we do not live what you live at home. It's more complicated ; And you have to take all that into account (…) if, for example, the others go to school alone, you should rather accompany them at the risk of them getting lost."

verbatim, we note in the depths of Mr. Michel that everything he saw is completely at odds with what he expected of this child. This affects him significantly and as a result, it is impossible for him to escape even if all this destroys him.

4 DISCUSSION

The present study aimed to analyze the relationship between symbolic injuries and intellectual disability. She was therefore interested in the symbolic wounds present in the father of a child with an intellectual disability. After conducting interviews with a father of a child with this disability, and analyzing qualitative data collected through thematic content analysis, this study identified symbolic wounds related to intellectual disability that can be summed up in a painful transmission, self-depreciation, narcissistic injury, feelings of humiliation and feelings of injustice. It can be concluded that these observed symbolic injuries are related to intellectual disability. These results are supported by the literature.

Korff-Sausse (1996) in his research comes to the conclusion that the birth of a child with a disability leads to a situation of mourning, but except that it is generally an impossible mourning. The impossibility of mourning is based on the fact that disinvesting in the child amounts to disinvesting a part of themselves, because "on the one hand, the disabled child destroys the hopes of immortality present in filiation and breaks the narcissistic system of the parents, on the other, by remaining alive, it is incorporated inside the psyche of the parent to give its narcissistic instances a way of retreat. This characterizes, for the author, the immobilization of time, characteristic of the relationship of parents with their disabled child" (Korff-Sausse, 1996 cited by Grasso, 2012, p. 403). The results addressed by the present study confirm this order of idea in the sense that, upon discovery of the child's intellectual disability, the experience of the father who participated in this study suggests a mode of psychic functioning with pertaining to the order of symbolic wounds inflicted by the situation of the child.

As Freud (1917) points out, it is a matter of time. This time is defeated in this situation, it solves nothing, because the child's disability leaves traces on which time does not operate, forgetting is impossible and events remain in their raw state (Scelles et al., 2016). "On the one hand, the object is not lost, and on the other hand the traumatic event is persecuting by its omnipresence: the handicap is always there, visible, constantly recalling the original catastrophe" (Ciccone, p.137). It is then in this sense difficult to realize the passage from this imaginary child strongly invested in this real child with an intellectual deficiency. The intellectually deficient child here is unable to be the vector of this parental narcissistic resource. Instead of plugging the breach that reality imposes on narcissism, parents are on the contrary constantly confronted with powerlessness, with suffering, with the imperious laws of nature and biology, with a dark future that they do not could not even have imagined (Boissel, 2008).

All these worries combined with the feeling of guilt will lead within the family, more precisely among the parents, to confusion, doubts about parenthood. Thus, in the family of the child with a disability, questions emerge immediately after becoming aware of the state of health of their child, which is that of the ability to take care of a "damaged" child.", unknown and mysterious, which frightens and disturbs everything, that it provokes so many comments, and with which it will be necessary to invest so much time and love (Wahl, 1992 quoted by Driessche, 2010).

The child is intellectually retarded in the eyes of others, the anxiety increases and the parents are part of a pattern of uncertainty. They cannot calmly imagine what the next day will be like. This alters the deep identity of the family, opening the way to the establishment of a feeling of shame, a weakening of the usual benchmarks vis-à-vis otherness. In this cottage, the family is torn by contradictory tensions between the attempt to safeguard his unity and the impossibility of achieving this without rejecting a part of himself. She is confronted with a denial of what constitutes all or part of her deep being (De Gaulejac, 1996). The analysis of Mr. Michel's case gives a significant glimpse of symbolic wounds in the latter which go beyond the above-mentioned studies which translate into experiences and emotions which furnish the experience of the fathers of intellectually handicapped children who come to put harming the father's ego through inhibition that hinders the work of making sense of it. Indeed Mr. Michel is confronted with a weakening of his ego which creates in him an inability to be able to adapt to the prevailing situation which awakens in him problems of castration relating to the oedipal stage as already mentioned by Korff-Sausse (2012) that the handicap always evokes an image of castration, one can think that the fathers are more wounded in their narcissistic image. Thus, the wound inflicted on fathers by the handicap of his child is symbolic, which is capable of being felt both in the parent who did not physically carry the child and in the mother. The announcement of a disease or a diagnosis mobilizes transmission fantasies in a massive and brutal way (Korff-Sausse, 2013). Indeed, the unconscious representations that are mobilized by the existence of a disability are those of a painful transmission.

5 CONCLUSION

The objective of this study was to analyze in the context of intellectual disability, the experience of a father of an intellectually disabled child in terms of symbolic injuries to the latter. To achieve this, the semi-structured clinical interview was convened with a father living in Douala, which allowed us to collect the data. The analysis of data from the interview allowed us to identify themes such as the faulty

transmission that does not reassure, a depreciation of the self, a narcissistic attack, a feeling of humiliation and a feeling of injustice. In view of these results, the present study testifies to the fact that the birth and the discovery of the intellectual disability of the child comes to compromise the process of transmission and affects the narcissism of the father thus undermining the functioning of the paternal psyche in his world. of initial functioning by inflicting symbolic wounds on him which weaken his ego while creating in him a feeling of humiliation and injustice.

ACKNOWLEDGMENT

This article has received no funding from any organization or laboratory. We thank the subject with whom the interviews were conducted.

REFERENCES

[1] Alexandre, A. (1998). L'observation et l'entretien: Bases de la méthode clinique. In R. R. Samacher (dir.), Psychologie clinique et psychopathologie (p. 382-392). Bréal.
[2] André-Fustier, F. (2002). Les adaptations familiales défensives face au handicap. *Le Divan familial, 8,* 11-24.
[3] Boissel, A. (2008). Parentalité et handicap. *La lettre de l'enfance et de l'adolescence* 73, (3) 63-70.
[4] Bourdieu, P., & Passeron, J-C. (1970). La reproduction. Éléments pour une théorie du système d'enseignement. Minuit.
[5] Bydlowski, M. (1989). Désir d'enfant, désir de grossesse. In Lebovici, S., et Weil-Halpern, F.
[6] Cairns, D., Tolson, D., Brown, J., & Darbyshire, C. (2013). The need for future alternatives: An investigation of the experiences and future of older parents caring for offspring with learning disabilities over a prolonged period of time. *British Journal of Learning Disabilities, 41* (1), 73-82. https://doi.org/10.1111/j.1468-3156.2012.00729.x.
[7] Ciccone, A. & Ferrant. (2009). *Honte, culpabilité et traumatisme*. Dunod.
[8] Ciccone, A. (1999). La transmission psychique inconsciente. Dunod.
[9] Coy, M., Wakeling, J., & Gadner, M. (2011). Representations of prostitution and the sex industry in sexualised popular culture as symbolic violence. *WOmens studies international forum, 34* (5), 441-448. DOI: 10.1016/j.wsif.2011.05.008
[10] Crocq, L. (1999). Les Traumatismes psychiques de guerre. Odile Jacob.
[11] Driessche, L. V. (2010), le narcissisme parental face au handicap de l'enfant. *La psychiatrie de l'enfant,* 2 (53), 547- 608.
[12] Dunn, K., Jahoda, A., & Kinnear, D. (2019). The experience of being a father of a son or daughter with an intellectual disability: Older fathers' perspectives. *Journal of Applied Research in Intellectual Disabilities* published, *34,* 118–128. DOI: 10.1111/jar.12791.
[13] Freud S. (1985). *Abrégé de psychanalyse.* Presse universitaire de France.
[14] Freud, S. (1987). *Trois essais sur la théorie de la sexuelle* (P. Koeppel, Trad.). Gallimard.
[15] Garner, P. (2015). Les effets de l'équilibre travail/famille sur la satisfaction au travail et l'intention de départ des cadres: une investigation du rôle modérateur du sentiment d'efficacité personnelle. Thèse de doctorat en sciences de gestion. Université de Lorraine.
[16] Grasso, F. (2012). Effets post-traumatiques du handicap sur le système perceptif vet sur le psychisme des parents psychanalyse de l'enfant, 2, 397 – 484.
[17] Griffith, G. M., & Hastings, R. P. (2014). He's hard work, but he's worth it. The experience of caregivers of individuals with intellectual disabilities and challenging behaviour: A meta-synthesis of qualitative research. *Journal of Applied Research in Intellectual Disabilities, 27* (5), 401–419.
[18] Hastings, R. P., Kovshoff, H., Ward, N. J., Degli, E. F., Brown, T., & Remington, B. (2005). Systems analysis of stress and positive per ceptions in mothers and fathers of pre-school children with autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders, 35* (5), 635–644. https://doi.org/10.1007/s10803-005-0007-8.
[19] Kaës, R. (2009). La réalité psychique du lien. Le Divan familial, 22, (1), 107-125. doi: 10.3917/difa.022.0648.
[20] Korff Sausse, S. (1996). *Le miroir brisé: L'enfant handicapé, sa famille et le psychanalyste*. Calmann-Lévy. (Dir.), Psychopathologie du bébé (pp.57-65). Presse universitaire de France.
[21] Korff-Sausse, S. (2006). Un double étrange. « Handicap et relation fraternelle«, dans C. Bert (sous la direction de), La fratrie à l'épreuve du handicap. Toulouse: Eres.
[22] Korff-Sausse, S. (2003) Les grands-parents face au handicap. *Contraste, 18,* 51-69.
[23] Korff-Sausse, S. (2009). Éloge des pères. Hachette-Littérature.
[24] Korff-Sausse, S. (2009). Le miroir brisé. L'enfant handicapé, sa famille et le psychanalyste. Mesnil sur l'Estrée: Calmann-Lévy. Korff-Sausse, S. (2010). Filiation fautive, transmission dangereuse, procréation interdite. L'identité sexuée de la personne handicapée: une pièce en trois actes. Dans A. Ciconne (Dir.) Handicap, identité sexuée et vie sexuelle (p. 43-60). Erès.
[25] Korff-Sausse, S. (2013). Quelle place pour les pères ? *Contraste* 1 (37) 173 -184.
[26] Laplanche, J., Pontalis, J.-B. (1981). Vocabulaire de la psychanalyse. Presse universitaire de France.

[27] Marty F (2001) Introduction: Traumatisme, une clinique renouvelée. In: Marty F. (Eds.), Figures et traitements du traumatisme (dir) Dunod, pp.1-13.

[28] Olsson, M. B., & Hwang, C. P. (2006). Well-being, involved in paid work and division of child-care in parents of children with intellectual disabilities in Sweden. *Journal of Intellectual Disability Research, 50* (12), 963–969.

[29] Pelchat, D., Lefebvre, H., & Levert, M-G. (2005). L'expérience des pères et mères ayant un enfant atteint d'un problème de santé: état actuel des connaissances. *Enfances, familles, Générations,* 3 https://doi.org/10.7202/012536ar.

[30] Rowbotham, M., Carroll, A., & Cuskelly, M. (2011). Mothers' and fathers' roles in caring for an adult child with an intellectual disability. *International Journal of Disability, Development and Education, 58* (3), 223-240. https://doi.org/10.1080/1034912X.2011.598396.

[31] Saloviita, T., Itälinna, M., & Leinonen, E. (2003). Explaining the parental stress of fathers and mothers caring for a child with intellectual disability: A double ABCX model. *Journal of Intellectual Disability Research, 47* (4–5), 300–312. https://doi.org/10.1046/j.1365-2788.2003.00492.x.

[32] Taunt, H. M., & Hastings, R. P. (2002). Positive impact of children with developmental disabilities on their families: A preliminary study. *Education and Training in Mental Retardation and Developmental Disabilities, 37* (4), 410–420.

[33] Thomson, A., Glasson, E., Roberts, P., & Bittles, A. (2017). «Over time it just becomes easier»: Parents of people with Angleman syndrome and Prader-Willi syndrome speak about their carer role. *Disability and Rehabilitation, 39* (8), 763–770.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1200-1213
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Diversité et distribution spatiales des Macroinvertébrés Aquatiques du cours moyen du fleuve Comoé (Côte d'Ivoire, Afrique de l'Ouest)

[Spatial diversity and distribution of Aquatic Macroinvertebrates in the middle course of the Comoé River (Ivory Coast, West Africa)]

Youssouf BAMBA, Mamadou KAMAGATÉ, Siaka BERTÉ, and Koffi KOMOÉ

Laboratoire des milieux Naturels et Conservation de la Biodiversité, Université Felix Houphouët-Boigny, UFR Biosciences, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The aim of this study was to determine the diversity and structure of aquatic macroinvertebrates in the middle course of the Comoé River. Sampling of macroinvertebrates was carried out at four stations in this course. A total of 3921 individuals of aquatic macroinvertebrates were identified in this part of the river. These macroinvertebrates are divided into 137 taxa, 72 families, 17 orders and 6 classes. Insects with 64% numerically dominate this population of aquatic invertebrates. They are followed by gastropods (21%). Ephemeroptera (27%), Mesogastropoda (21%) and Coleoptera (13%) are the most abundant orders. The most diverse orders are Coleoptera (27 taxa) followed by Ephemeroptera (19 taxa). The Dytiscidae (8 taxa) constitute the most diversified family in this part of the river. According to the number of individuals per species, Melanoides tuberculata (8%) dominates in the middle course. In the middle course, the Shannon-Weaver index varies from 2.85 to 3.56 and the fairness from 0.83 to 0.95. The abundance coupled with the various indices of diversity studied reveal that the waters of the stations of the middle course are well populated in aquatic macroinvertebrates and well diversified.

KEYWORDS: Diversity, Aquatic Macroinvertebrate, Middle course, Comoé River, Ivory Coast.

RESUME: La présente étude avait pour but de déterminer la diversité et la structure des macroinvertébrés aquatiques du cours moyen du fleuve Comoé. L'échantillonnage des macroinvertébrés a été effectué dans quatre stations de ce cours: Sérébou, Yabrasso, Kokonou et Anékouadiokro. Au total 3921 individus de macroinvertébrés aquatiques ont été identifiés dans cette partie du fleuve. Ces macroinvertébrés sont repartis en 137 taxons, 72 familles, 17 ordres et 6 classes. Les Insectes avec 64 % dominent numériquement ce peuplement d'invertébrés aquatiques. Ils sont suivis des Gastéropodes (21%). Les Ephéméroptères (27 %), les Mesogastropodes (21 %) et les Coléoptères (13 %) constituent les ordres les plus abondants. Les ordres plus diversifiés sont les Coléoptères (27 taxons) suivis des Ephéméroptères (19 taxons). Les Dytiscidae (8 taxons) constituent la famille la plus diversifiée de cette partie du fleuve. Selon le nombre d'individus par espèce, *Melanoides tuberculata* (8 %) domine dans le cours moyen. Dans le cours moyen, l'indice de Shannon-Weaver varie de 2,85 à 3,56 et l'équitabilité de 0,83 à 0,95. L'abondance couplée aux différents indices de diversités étudiés révèlent que les eaux des stations du cours moyen sont bien peuplées en macroinvertébrés aquatiques et bien diversifiées.

MOTS-CLEFS: Diversité, Macroinvertébré Aquatique, Cours moyen, Fleuve Comoé, Côte d'Ivoire.

Corresponding Author: Youssouf BAMBA

1 INTRODUCTION

La biodiversité est à l'origine de nombreux services dans la vie quotidienne des population humaines: régulation du climat, production de récoltes, épuration des eaux, amélioration de la qualité de vie et la santé etc. L'état de cette biodiversité et son évolution sont ainsi au cœur des préoccupations économiques et environnementales des sociétés humaines. Dans les dernières années, de nombreuses initiatives pour sa conservation ont vu le jour, aussi bien à l'échelle nationale et internationale. Cette préservation de la biodiversité à l'échelle mondiale, régionale et locale fait partie des principaux défis du 21e siècle **[1].**

Alors qu'elles n'occupent que 1 à 2 % des terres émergées, les eaux douces abritent une biodiversité importante; il est généralement admis que la richesse relative en espèces végétales et animales est plus élevée dans les milieux dulçaquicoles que dans les écosystèmes terrestres et marins **[2].** En effet, les eaux continentales hébergent non seulement un nombre important de micro-organismes, d'algues et d'invertébrés, mais également une forte quantité de vertébrés. Une proportion importante de vertébrés environ 1/3 vit dans les eaux continentales ou en dépendent étroitement pour réaliser leurs cycles biologiques. On estime qu'il y a au moins 10 500 espèces de poissons d'eau douce sur les quelques 24 600 espèces de poissons décrites **[3].**

Cependant, les cours d'eau font partis des milieux aquatiques les plus menacées par le développement des activités humaines. Ces pressions anthropiques sont susceptibles d'affecter de manière significative la biodiversité aquatique **[4].**

En Côte d'Ivoire, le fleuve Comoé avec 900 km de long, traverse les principales végétations ivoiriennes dans la direction Nord-Sud ainsi que huit (8) régions administratives avant de se jeter dans l'océan atlantique au niveau du grau de la ville de Grand-Bassam **[5]; [6].** De ce fait, plusieurs activités humaines telles que l'agriculture, la pêche, l'orpaillage clandestin, la déforestation ont été identifiées au niveau de son bassin versant **[6]; [7]; [8].**

Le fleuve Comoé en Côte d'Ivoire est subdivisé en cours supérieur, moyen et inférieur selon les trois grands ensembles bioclimatiques qu'il traverse. L'objectif de ce travail est d'inventorier les macroinvertébrés aquatiques du cours moyen du fleuve Comoé.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 LE MILIEU D'ÉTUDE

Le fleuve Comoé prend sa source au Burkina Faso à partir de deux principaux affluents que sont la Comoé dans la région de Banfora et la Léraba à Sindou et se jette en suite dans l'océan Atlantique au niveau de la commune de Grand-Bassam en Côte d'Ivoire. La partie ivoirienne traverse le pays dans la sens Nord-Sud sur une longueur d'environ 900 Km. Le fleuve Comoé est situé entre 05°35' et 11°05' de latitude Nord et 03°30' et 05°30' de longitude Ouest. Son bassin versant couvre une superficie de 78 000 km^2 **[9].**

Le fleuve Comoé traverse trois grandes zones bioclimatiques. Le cours moyen objet de ce présent travail, est couvert par le climat équatorial de transition atténué (climat baouléen) avec des températures comprises entre 24,2°C et 29,33°C et des précipitations qui varient entre de 0,25 à 235,36 mm/an. La végétation se compose d'une mosaïque forêt-savane bordant la forêt galerie, avec par endroits une végétation de savane arborée humide **[10].** Dans le cadre de cette étude, quatre stations ont été identifiées: les stations de Sérébou, Yabrasso, Kokonou et Anékouadiokro **(Figure 1).** Généralement, les stations du cours moyen sont localisées en zone rurale. Ces stations ont été choisies sur la base de l'accessibilité, de la diversité des substrats et de leur position par rapport à des activités anthropiques (activités agricoles, extraction de sable ou rejets domestiques) **[11].**

2.2 ECHANTILLONNAGE, LAVAGE, TRI, CONSERVATION ET IDENTIFICATION DES MACROINVERTÉBRÉS AQUATIQUES

Deux engins ont été utilisés pour l'échantillonnage des macroinvertébrés à savoir: un filet troubleau et une benne Van Veen, chacun de dimension 25 cm x 20 cm. Au niveau de chaque station, les prélèvements ont été réalisés à la berge entre 0,5 m et 1 m de profondeur. A chaque station, quatre (4) coups de filet troubleau ont été effectués. Cette opération consiste à traîner le filet contre le courant sur les substrats du fond sur une distance de 0,20 m. La surface ainsi prélevée après les quatre coups de filet correspond à 0,20 m^2 (20 cm x 25 cm x 4). Pour le prélèvement avec la benne Van Veen d'ouverture 0,05 m^{2,} quatre (4) coups donnés dans le substrat ont été réalisés soit une surface aussi de 0,20 m^2. Au total par station, c'est une surface d'environ 0,40 m^2 qui a été prélevée telle que préconisé par le protocole IBGN **[12] (AFNOR, 2004).** A la sortie de l'eau, les sédiments contenus dans les deux engins de prélèvement ont été lavés sur un tamis de 1 mm de vide de maille, puis triés. Les espèces de macroinvertébrés benthiques ainsi triées ont été fixées au formol à 10 % et conservées dans des flacons

étiquetés. L'identification et le comptage ont été effectués sous une loupe binoculaire de marque MOTIC. Les clés d'identification et ouvrages taxonomiques utilisés sont ceux de **[13]; [14]; [15]; [16]** et **[17].**

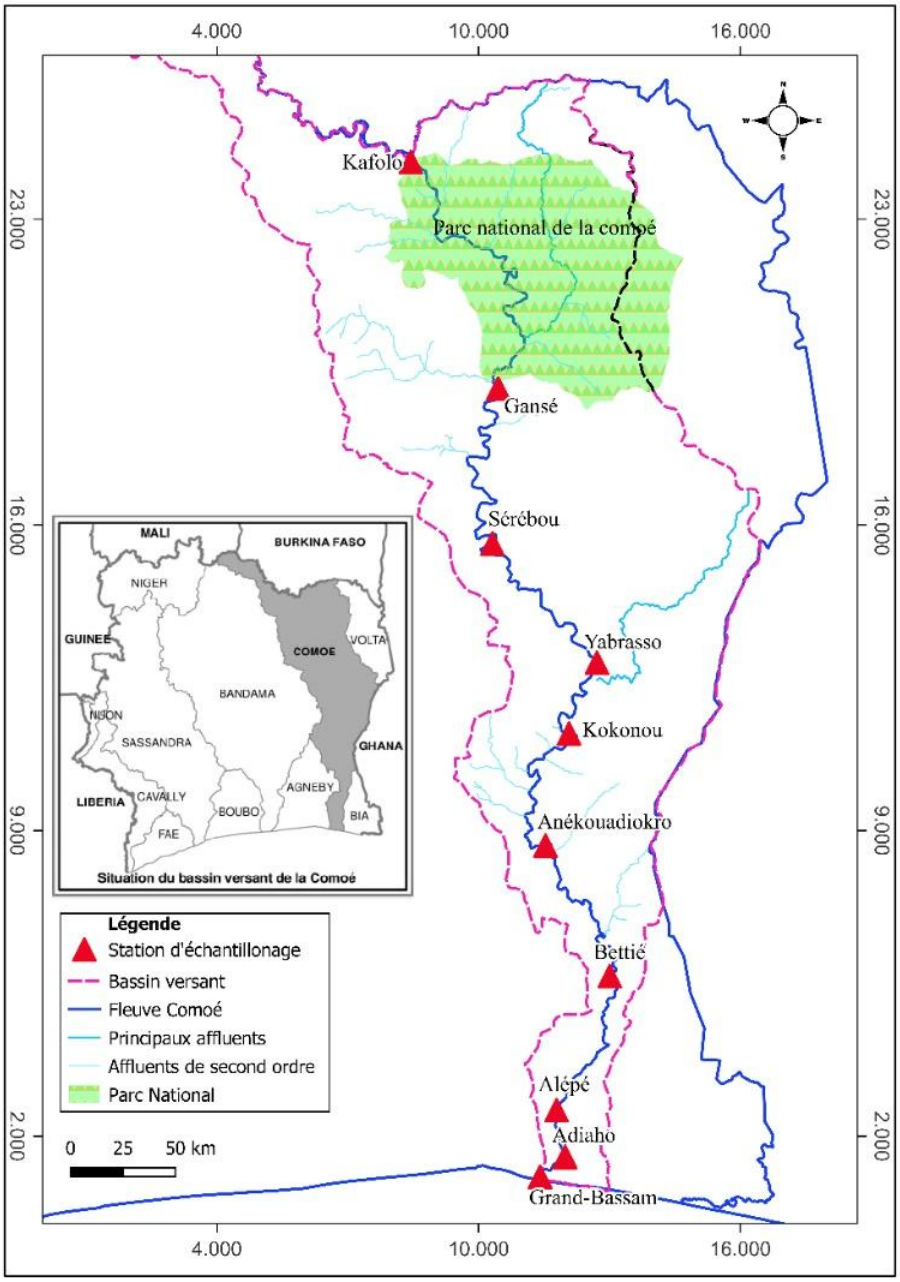


Fig. 1. Localisation des stations d'échantillonnage sur le fleuve Comoé.

2.3 TRAITEMENT DES DONNÉES

Pour l'étude de la diversité des macroinvertébrés aquatiques du cours moyen, plusieurs indices écologiques ont été calculés. Il s'agit de:

ABONDANCE

L'abondance est un paramètre important pour la description d'un peuplement. C'est le nombre d'individus d'une espèce ou d'un groupe taxonomique dans un prélèvement donné.

RICHESSE TAXONOMIQUE

La richesse taxonomique est le nombre total de taxons collectés dans un milieu. Selon **[18],** la richesse taxonomique est un bon indicateur de la capacité d'accueil d'un milieu.

INDICE DE DIVERSITÉ DE SHANNON-WEAVER (H)

Cet indice a été calculé à partir de la formule suivante:

$$H=-\sum \left(\frac{ni}{N}\right) \times \log_2 \left(\frac{ni}{N}\right)$$

Où: ni = nombre d'individus de l'espèce i dans l'échantillon; N = nombre total d'individus de toutes les espèces dans l'échantillon. Selon **[19],** H est compris entre 0,5 (très faible diversité) et 4,5 (très forte diversité).

INDICE D'ÉQUITABILITÉ (E)

Cet indice a été déterminé selon la formule:

$$E=\frac{H}{\log_{2\,S}}$$

Où H = indice de Shannon; S = nombre total de taxon. Cet indice informe sur la distribution du nombre d'individus par espèces, il varie entre 0 et 1. Il tend vers 0 quand la quasi-totalité des effectifs correspond à un seul taxon, et tend vers 1 lorsque les taxons sont équitablement répartis.

INDICE DE SORENSEN (IS)

L'indice de Sorensen est une mesure de la diversité bêta, variant de 0 (quand il n'y a pas d'espèces communes entre deux milieux) à la valeur 100 (lorsque les mêmes espèces existent dans les deux milieux). Selon **[20],** la diversité bêta est une mesure de la biodiversité qui consiste à comparer la diversité des espèces entre écosystèmes ou le long de gradients environnementaux. Sa formule est la suivante:

$$Is=\frac{2C}{A+B}$$

A = nombre total d'espèces enregistrées dans la première communauté;
B = nombre total d'espèces enregistrées dans la deuxième communauté;
C= nombre total d'espèces communes aux deux communautés.

FRÉQUENCE D'OCCURRENCE

L'occurrence (F) renseigne sur la constance d'une espèce dans un habitat donné sans aucune indication sur son importance quantitative **[21].**

Elle est exprimée selon la formule:

$$F = \frac{Si}{St} \times 100$$

Où F = fréquence d'occurrence de l'espèce; Si = nombre de stations où l'espèce i a été capturée; St = nombre total de stations prospectées. Selon la valeur de F, trois groupes sont ainsi définis:

- les taxons "très fréquents" avec F ≥ 50%;
- les taxons "fréquents" avec 50% > F ≥ 25%;
- les taxons "rares" avec F < 25% **[21].**

2.4 ANALYSE DES DONNÉES

Le tableur Microsoft Excel 2016 a permis de faire des histogrammes illustrant les pourcentages des différents taxons. Les boîtes à moustache « Box-plot » des indices de diversité ont été réalisées avec le logiciel STATISTICA 7.1.

3 RÉSULTATS

3.1 ANALYSES QUALITATIVES DES MACROINVERTÉBRÉS AQUATIQUES

Dans le cours moyen, 134 taxons de macroinvertébrés ont été identifiés **(Tableau I).** Ces taxons se répartissent en 71 familles, 17 ordres et 6 classes. La classe des Insectes est la plus diversifiée dans le cours moyen avec 105 taxons. Elle est suivie celle des Gastéropodes avec 16 taxons dans le cours moyen.

Dans cette communauté d'invertébrés, les Coléoptères (27 taxons) suivis des Ephéméroptères (19 taxons) et les Dytiscidae (8 taxons) sont les ordres et les familles les plus diversifiés dans le cours moyen.

Tableau 1. Liste taxonomique des macroinvertébrés aquatiques récoltés aux différentes stations du cours moyen du fleuve Comoé

Classes	Ordres	Familles	Taxons	Séré	Yabr	Koko	Anék
Achètes	Rhynchobdelliformes	Glossiphoniidae	*Glossiphonia* sp.	+	+	+	
			Haementeria costata	+			
Oligochètes	Haplotaxida	Haplotaxidae	*Haplotaxis* sp.	+	+		
	Lumbricinas	Lumbricidae	*Lumbricus* sp.	+			+
		Lumbriculidae	*Lumbriculus* sp.			+	
Crustacés	Amphipodes	Gammaridae	*Gammarus* sp.				+
	Décapodes	Atyidae	*Atya Africana*		+		
			Caridina Africana				+
		Palaemonidae	*Macrobrachium* sp.	+		+	
		Potamidae	*Liberonautes* sp.		+	+	+
			Potamonautes sp.	+	+	+	
		Sesarmidae	*Sesarma elegans*				+
	Isopodes	Asellidae	*Asellus* sp.				+
Insectes	Coléoptères	Curculionidae	*Bagous americanus*				+
			Bagous sp.	+	+		
		Dryopidae	*Dryops* sp.			+	
		Dytiscidae	*Copelatus erichsoni*	+			
			Guignatus sp.	+		+	
			Hydaticus pagamus	+		+	
			Hydrocophus simplex		+		
			Laccophilus evanescens			+	+
			Laccophilus vermiculosus	+	+	+	
			Uvarus sp.	+			
		Elmidae	*Limnius* sp.		+	+	
			Normandia sp.	+		+	
			Riolus sp.		+		
		Eubriidae	*Eubrianax* sp.				+
		Gyrinidae	*Dineutus* sp.			+	
			Orectochilus sp.			+	+
			Orectogyrus sp.		+	+	
		Haliplidae	*Haliplus natalensis*		+		+
			Haliplus sp.	+			
		Hydraenidae	*Limnebius* sp.	+	+		
		Hydrophilidae	*Amphiops* sp.			+	
			Enochrus sp.	+	+		

		Hydrochara sp.		+		+
		Hydrophilus sp.	+	+	+	
	Hygrobiidae	*Hygrobia* sp.		+		
	Scirtidae	*Microcara* sp.			+	
Collemboles	Entomobryidae	*Entomobrya* sp.			+	
	Isotomidae	*Isotoma* sp.		+		
Diptères	Ceratopogonidae	*Ceratopogon* sp.	+	+	+	
		Dasyhelea sp.			+	
	Chaoboridae	*Chaoborus* sp.			+	
	Chironomidae	*Ablabesmya* sp.	+	+	+	
		Chironomus sp.	+	+		+
		Polypedilum sp.		+	+	
		Stenochironomus sp.		+		
		Tanypus sp.		+	+	
		Tanytarsus sp.		+		
	Culicidae	*Anopheles* sp.		+		
		Culex sp.		+	+	+
	Dolichopodidae	*Condylostylus* sp.				+
	Limoniidae	*Hexatoma* sp.		+		
		Pilaria sp.		+		
		Scleroprocta sp.	+			
	Syrphidae	*Eristalis* sp.				+
Ephéméroptères	Baetidae	*Baetis* sp.	+		+	+
		Centroptilum sp.	+	+	+	+
		Cloeon sp.	+		+	+
		Pseudocloeon sp.	+	+		
	Caenidae	*Caenis* sp.		+	+	+
	Ephemerellidae	*Ephemerella* sp.	+			+
		Torleya major			+	
	Ephemeridae	*Afromera* sp.			+	
	Heptageniidae	*Afronurus* sp.	+		+	+
		Epeorus sp.				+
		Heptagenia sp.	+	+		+
		Notonurus sp.	+	+	+	+
	Leptophlebiidae	*Adenophlebiodes* sp.	+	+	+	+
		Choroterpes sp.		+	+	+
		Thraulus bellus		+	+	+
		Thraulus sp.	+	+	+	
	Polymitarcyidae	*Ephoron* sp.		+	+	+
	Potamanthidae	*Potamanthus luteus*	+			
	Tricorythidae	*Dicercomyzon* sp.		+	+	
Hétéroptères	Aphelocheiridae	*Aphelocheirus* sp.		+		
	Belostomatidae	*Diplonychus* sp.	+		+	
	Corixidae	*Micronecta* sp.			+	
	Gerridae	*Eurymetra* sp.	+	+	+	
		Gerris sp.		+		
		Gerrisella sp.			+	
		Limnogonus chopardi	+	+		+
		Rhagadotarsus sp.		+	+	+
	Hydrometridae	*Hydrometra grassei*				
	Mesoveliidae	*Mesovelia* sp.	+			
	Naucoridae	*Laccocoris* sp.		+		
		Macrocoris flavicolis	+			
		Naucoris maculatus		+		
	Nepidae	*Laccotrephes ater*	+	+		+
	Notonectidae	*Anisops* sp.		+		

			Noconecta sp.		+		
		Veliidae	*Microvelia* sp.	+	+	+	+
			Rhagovelia reitteri	+	+	+	+
			Velia sp.		+		
	Odonates	Coenagrionidae	*Coenagrion* sp.		+		
		Cordulegasteridae	*Cordulegaster* sp.			+	
		Corduliidae	*Cordulia aenea*			+	
			Phyllomacromia sp.				+
		Gomphidae	*Gomphus* sp.	+	+	+	
			Ictinogomphus sp.	+			+
			Paragomphus hageni			+	
			Phyllogomphus aethiops	+	+	+	+
		Libellulidae	*Libellula* sp.	+			
		Platycnemididae	*Platycnemis* sp.				+
	Plécoptères	Capniidae	*Capnia* sp.				+
		Perlidae	*Perla* sp.	+		+	
	Trichoptères	Ecnomidae	*Ecnomus* sp.				+
		Hydropsychidae	*Cheumatopsyche* sp.		+		
			Diplectrona felix			+	
		Hydroptilidae	*Hydroptila* sp.		+	+	
Bivalves	Eulamellibranches	Dreissenidae	*Dreissena africana*				+
		Margaritiferidae	*Margaritifera* sp.			+	+
		Mutelidae	*Aspatharia rochebrunei*				+
			Mutela sp.	+	+	+	+
		Unionidae	*Caelatura* sp.			+	+
			Unio sp.		+		
Gastéropodes	Basommatophores	Lymnaeidae	*Galba truncatula*		+		
			Terebralia sp.		+		
		Planorbidae	*Bulinus troncatus*	+			
	Mesogastropodes	Bithyniidae	*Bithynia* sp.			+	
			Gabbiella africana			+	
		Hydrobiidae	*Bythinella* sp.				+
			Hydrobia sp.			+	
		Melaniidae	*Potadoma vogelii*			+	
		Pilidae	*Afropomus balanoidae*	+	+	+	+
			Lanistes libycus		+	+	+
			Lanistes varicus	+	+	+	+
		Thiaridae	*Cleopatra bulimoides*		+		
			Melanoides tuberculata		+	+	+
			Potadoma bicarinata		+	+	
			Potadoma vogelii		+	+	
		Viviparidae	*Bellamya unicolor*	+			+
			Viviparus viviparus			+	+

+ = présence du taxon; Sérébou = Séré; Yabrasso = Yabr; Kokonou = Koko; Anékouadiokro = Anék.

RICHESSE TAXONOMIQUE

Au total, 137 taxons de macroinvertébrés aquatiques ont été identifiés dans le cours moyen. La richesse taxonomique oscille entre 20 et 39 au niveau de Sérébou. A Yabrasso, cet indice évolue de 41 à 42. Quant à Kokonou et Anékouadiokro, les valeurs de la richesse taxonomique varient respectivement de 32 à 46 et de 25 à 35 **(Figure 2).** Les stations de Sérébou et d'Anékouadiokro ont les valeurs de richesse taxonomique les plus basses avec les valeurs médianes inférieures à 30.

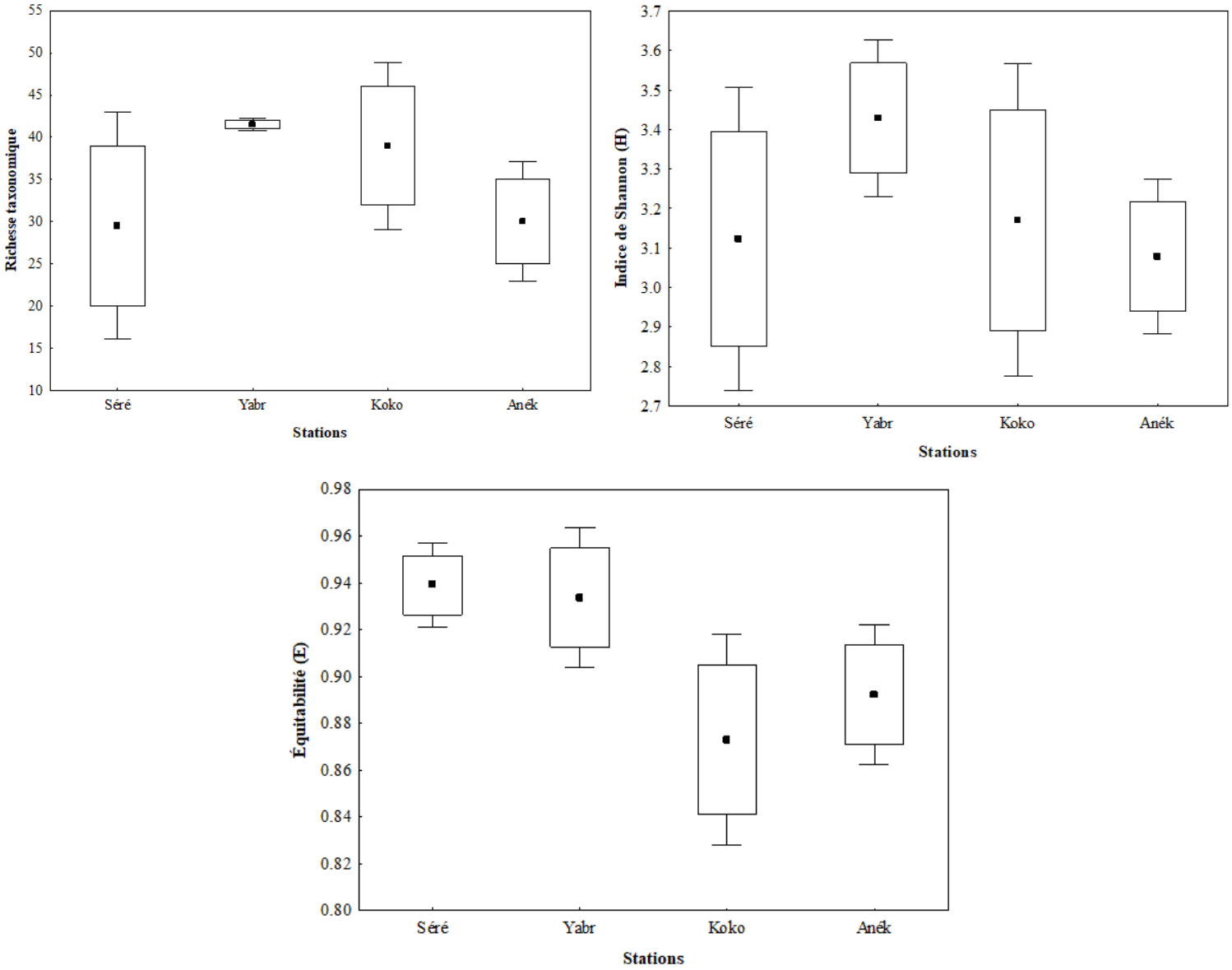


Fig. 2. Variations spatiales de la richesse taxonomique, de l'indice de diversité de Shannon (H) et de l'indice de l'Équitabilité des stations du cours moyen du fleuve Comoé.

INDICE DE DIVERSITÉ DE SHANNON-WEAVER (H)

Les variations de l'indice de diversité de Shannon se situent entre 2,851 et 3,394 à Sérébou et entre 3,289 et 3,569 à Yabrasso. Par contre, les valeurs de cet indice à Kokonou sont comprises entre 2,891 et 3,41. A Anékouadiokro, les valeurs d'indice de Shannon oscille entre 2,94 et 3,218 **(Figure 2).** Les stations du cours moyen avec des valeurs médianes toutes supérieures à 3 indiquent que le cours moyen a une bonne diversité biologique.

INDICE D'ÉQUITABILITÉ (E)

Dans le cours moyen, l'indice de l'Équitabilité fluctue de 0,9264 à 0,9517 à Sérébou et de 0,9126 à 0,9549 à Yabrasso. Cet indice oscille entre 0,841 et 0,905 et entre 0,871 et 0,9134 respectivement à Kokonou et Anékouadiokro. Les plus faibles valeurs médianes ont été obtenues à Kokonou et Anékouadiokro **(Figure 2).**

INDICE DE SORENSEN

L'indice de Sorensen a été calculé indique une similarité plus importante (51 %) entre les stations de Yabrasso et de Kokonou. Toutefois, il ressort de l'analyse de cet indice, que les valeurs calculées montrent une similarité relativement importante entre les stations du cours moyen. En effet, sur les 137 taxons de macroinvertébrés aquatiques recensées, plus de 40 % taxons sont communs entre les stations de cette partie du fleuve Comoé **(Tableau II).**

Tableau 2. II: Indice de similarité de Sorensen des communautés de macroinvertébrés des différentes stations du cours moyen du fleuve Comoé.

	Sérébou	Yabrasso	Kokonou	Anékouadiokro
Sérébou	100	42	45	41
Yabrasso		100	51	43
Kokonou			100	45
Anékouadiokro				100

FRÉQUENCE D'OCCURRENCE

Le **tableau III** donne les pourcentages des taxons constants, accessoires et accidentels rencontrés dans les stations du cours moyen de la Comoé. Le plus faible pourcentage de taxons très fréquents a été obtenu à Kokonou (21 %) et le plus forte à Sérébou (34 %). La proportion la plus faible de taxons fréquents a été notée à Anékouadiokro (31 %) et celle la plus forte de taxons fréquents à Sérébou (42 %). Quant aux taxons rares, leur plus faible proportion a enregistré à Sérébou (24 %) alors que leur plus forte proportion a été obtenu à Kokonou (43 %).

Les taxons très fréquents rencontrés au niveau des stations du cours moyen sont constitués de: *Adenophlebiodes* sp*., Centroptilum* sp*., Ceratopogon* sp*., Laccophilus vermiculosus, Lanistes varicus, Microvelia* sp., *Notonurus* sp., *Phyllogomphus aethiops, Rhagovelia reitteri* **(Tableau IV).**

Quant aux taxons fréquents de cette même portion du de la Comoé, ils sont composés de: *Afronurus* sp., *Afropomus balanoidae, Baetis* sp., *Bagous* sp., *Ephoron* sp*., Glossiphonia* sp*., Gomphus* sp*., Hydrophilus* sp*., Potamonautes* sp., *Rhagadotarsus* sp., *Thraulus* sp. **(Tableau IV).**

Tableau 3. Répartition des proportions de macroinvertébrés aquatiques "très fréquents", "fréquents" et "rares" aux différentes stations du cours moyen du fleuve Comoé.

Stations	Taxons très fréquents (%)	Taxons fréquents (%)	Taxons rares (%)
Sérébou	34	42	24
Yabrasso	26	34	40
Kokonou	21	36	43
Anékouadiokro	29	31	40

Tableau 4. Inventaire des taxons de macroinvertébrés aquatiques "très fréquents" et "fréquents" aux différentes stations du cours moyen du fleuve Comoé.

Taxons très fréquents	Taxons fréquents
Adenophlebiodes sp.	*Afronurus* sp.
Centroptilum sp.	*Afropomus balanoidae*
Ceratopogon sp.	*Baetis* sp.
Laccophilus vermiculosus	*Bagous* sp.
Lanistes varicus	*Ephoron* sp.
Microvelia sp.	*Glossiphonia* sp.
Notonurus sp.	*Gomphus* sp.
Phyllogomphus aethiops	*Hydrophilus* sp.
Rhagovelia reitteri	*Potamonautes* sp.
	Rhagadotarsus sp.
	Thraulus sp.

3.2 Analyses quantitatives des Macroinvertébrés Aquatiques

Dans cette étude, on a dénombré 3921 individus de macroinvertébrés aquatiques au niveau du cours moyen. La valeur minimale de l'abondance a été notée à Anékouadiokro (397 individus) alors que la valeur maximale de l'abondance a été observée à Kokonou (1536 individus) **(Tableau V).**

Tableau 5. Variations spatiales des abondances des macroinvertébrés aquatiques récoltés aux différentes stations des cours moyen du fleuve Comoé entre février 2020 et janvier 2021.

Zones	Cours moyen			
Stations	**Sérébou**	**Yabrasso**	**Kokonou**	**Anékouadiokro**
Abondance (Individus)	920	1068	1536	397
Pourcentage (%)	23,46 %	27,24 %	39,17 %	10,13 %

Les classes les plus importantes numériquement dans le cours moyen sont les Insectes (64 %), les Gastéropodes (21%) **(Figure 3).**

Au niveau des ordres, dans le cours moyen, les Ephéméroptères (27 %) domine le peuplement des macroinvertébrés de cette portion du fleuve **(Figure 4).** Ils sont suivis des Mesogastropodes (21 %), des Coléoptères (13 %), des Hétéroptères (11 %) et des Odonates (7 %). Les Diptères et les Décapodes suivent avec 6 % chacun. Les autres ordres (n = 10) représentent 12 % de l'effectif total des invertébrés aquatiques du cours moyen du fleuve.

Dans le cours moyen du fleuve, la famille des Thiaridae est la plus importante avec 10 % de l'effectif. Viennent ensuite les familles des Leptophlebiidae (9 %), des Baetidae et des Heptageniidae avec chacune 7 %. Les Gomphidae et des Pilidae suivent avec 6 % chacune. Les Dytiscidae arrivent enfin avec 5 %. Les familles les moins abondants (n = 65) totalisent 50 % de l'effectif **(Figure 5).**

Concernant le cours moyen, l'espèce *Melanoides tuberculata* avec 8 % a le nombre d'individu d'invertébrés aquatiques le plus élevé. Elle est suivie de *Cloeon sp.* et *Lanistes varicus* avec 6 % chacune. Viennent ensuite *Viviparus viviparus, Potadoma vogelii, Potamonautes sp., Notonurus sp.* et *Afronurus sp*. (5 % chacun). Les 129 autres espèces de la macrofaune benthique constituent 55 % de l'effectif **(Figure 6).**

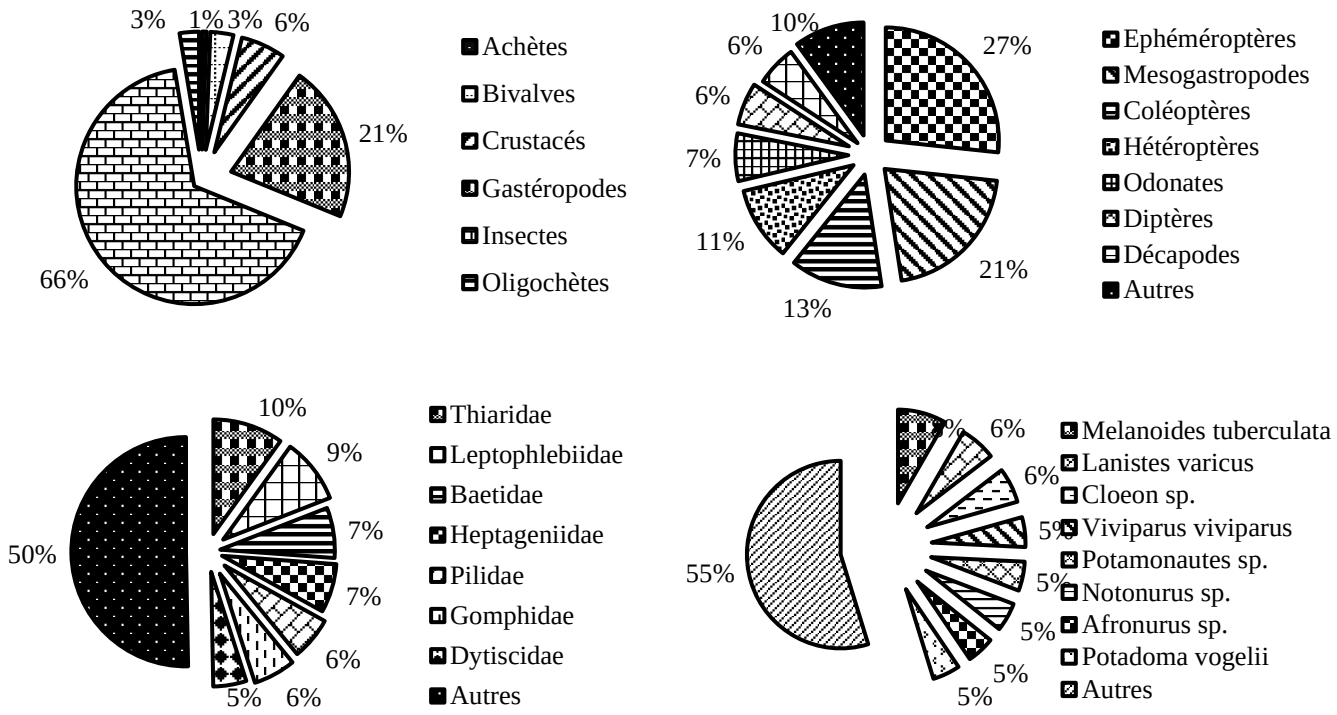


Fig. 3. Pourcentage des principaux taxons de macroinvertébrés échantillonnés au niveau des stations du cours moyen du fleuve Comoé entre février 2020 et janvier 2021.

4 DISCUSSION

L'importance numérique et taxonomique des classes des Insectes suivie de celle des Gastéropodes ont été constatées dans cette étude. Cette prédominance des Insectes en termes de richesse taxonomique et d'abondance observée au niveau des plans d'eau serait due, selon **[22],** à la diversité d'espèces que cette classe renferme et également à leurs larves qui sont pour la plupart exclusivement aquatiques. Nos résultats concordent avec les résultats des travaux réalisés par **[23]; [24]; [25]** et **[26].**

L'ordre des Coléoptères est la plus &[2]diversifiés dans ce travail. Cette diversité des Coléoptères s'expliquerait par le fait qu'ils constituent un groupe écologiquement hétérogène pouvant s'adapter à tout type de biotope et d'habitat **[27].** Concernant les Diptères, leur forte variété taxonomique serait liée au pouvoir de colonisation des Chironomidae, qui regroupe un grand nombre de sous-familles, tribus, genres et espèces vivant dans des habitats très variés **[28]; [29].** Nos résultats concordent avec ceux obtenus dans les rivières Soumié, Eholié, Ehania et Noé par **[30].**

Au niveau du cours moyen, la forte densité de *Melanoides tuberculata* et de *Lanistes varicus* serait plutôt liée au substrat sablo-vaseux comportant d'important débris végétaux à Kokonou et Anékouadiokro. Pour **[31],** le sable avec débris végétaux non encore décomposés (feuilles mortes, miettes de bois...) fait partir des substrats favorisant le développement des Mollusques. **[32]** souligne également que ces Mollusque pulmonés sont fréquents sur tous les débris végétaux flottant près des berges.

L'analyse montre que les stations du cours moyen sont caractérisées par des valeurs élevées des indices de diversité (richesse taxonomique, indice de Shannon, Équitabilité). Le cours moyen est la portion du fleuve qui se trouvent juste en aval du Parc National de la Comoé, de ce fait, ce cours bénéficie de la bonne qualité des eaux en provenance de ce parc mais également de la forte diversité en espèces aquatiques liée à cette bonne santé hydrique. Selon **[33],** la bonne qualité et les grands volumes d'eau du fleuve sortant du parc impactent positivement les localités situées à plus de 200 km au sud du PNC. Ces localités correspondent à celles du cours moyen. Cependant, on observe une diminution de ces indices au niveau de la station d'Anékouadiokro. Cette baisse des valeurs de ces indices serait liée aux travaux de construction du nouveau pont qui était en cours dans cette localité lors de l'échantillonnage de présent travail. En effet lors de la construction des ponts, les travaux de décapage du sol, de fouille pour les ouvrages de drainage et de forage pour les fondations des ponts causent d'énormes dégâts sur l'environnement tels que la fragmentation et la destruction de nombreux habitats aquatiques. Celles-ci

entrainent ainsi la disparition divers animaux et végétaux aquatiques et même les végétaux bordant les cours d'eau. **[34]** soulignent que la réalisation des fondations du pont dans le lit du fleuve, le creusement du chenal, les déversements accidentels de produits chimiques tels les huiles usagées, les laitances de ciment au cours de la fabrication de béton et des travaux de construction des pieux causeraient une forte pollution de l'eau et la perte de la diversité biologique lors des travaux de construction du pont Bassawa sur le fleuve Comoé. **[35] et [36]** soutiennent cette assertion, pour eux, l'altération physique de l'habitat (chenalisation, barrages, drainages, etc) et les pollutions d'origine diverse (pesticides, métaux lourds, décharges organiques domestiques et industrielles, eutrophisation, etc) font partis des causes immédiates de la perte de la biodiversité dans les écosystèmes aquatiques.

Les valeurs relativement élevées de l'indice de similarité et la fréquence d'occurrence calculées dans cette étude s'expliqueraient par le fait que ces stations appartiennent à la même portion du fleuve donc subissent l'effet de turnover, c'est-à-dire le taux d'échange des taxons entre les stations. Selon **[37]** estime que le turnover élevé entre les sites situés sur un même cours d'eau est dû à l'effet de dérive facilité par le courant des rivières qui entraîne certains taxons des cours supérieurs vers les cours inférieurs.

La relative diversité des Ephéméroptères et la présence de quelques taxons des Plécoptères et Trichoptères au niveau des stations du cours moyen traduiraient une bonne qualité des eaux de ces stations. En effet **[38]** soutient que ces organismes sont réputés vivre dans des milieux bien oxygénés et de bonne qualité.

5 CONCLUSION

Cette présente étude a permis d'inventorier dans le cours moyen du fleuve Comoé, 137 taxons de macroinvertébrés aquatiques**.** Ces taxons se répartissent en 71 familles, 17 ordres et 6 classes. L'abondance couplée aux différents indices de diversités étudiés révèlent que les eaux des stations du cours moyen sont bien peuplées et bien diversifiées. Toutefois, la station d'Anékouadiokro enregistre une baisse de ces indices. Ce fait serait imputable à la construction du nouveau pont de la localité. Dans de cette partie du fleuve, les stations présentent, beaucoup de similitude dans le peuplement de macroinvertébrés aquatiques.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier le CRO (Centre de Recherches en Océanographie) pour l'analyse des sels nutritifs.

REFERENCES

[1] Greulich S., 2014.- Mise en place d'un réseau d'Observation de la Biodiversité de la Loire et de ses Affluents. Université de Tours – CNRS, 144p.

[2] Barnaud G. & Hervio J.-M., 2002.- La faune des zones humides, un bestiaire incomplet*. Zones Humides Infos,* 38: 2-5.

[3] Lévêque C., 1998.- Biodiversité et gestion des systèmes aquatiques continentaux. Revue des sciences de l'eau, n° spécial: 211-221.

[4] Moreau S., 2018.- Biodiversité, les chiffres clés – Édition 2018. 92p.

[5] Affian K., Kadio B., Djagoua E., Digbehi Z. B., Monde S., Wognin A. V., Adonis K. D. & Mobio A., 2008.- Flux de la matière en suspension du fleuve Comoé dans la zone littorale ivoirienne. *Sciences et Médecine,* 6: 88-93.

[6] Coulibaly L., Coulibaly S., Kamagate B., Sekongo N., Savane I. & Gourene G., 2012.- Distribution des pesticides d'origine agricole et évaluation de la vulnérabilité desressources en eaux dans un bassin versant transfrontalier: Cas du Comoé, Côte d'Ivoire, *European Journal of Scientific Research,* 76 (4): 601-613.

[7] Aka K. S., 2012.- Le fleuve Comoé et l'organisation de l'espace halieutique. Thèse de Doctorat de l'Université Félix Houphouët–Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 292 p.

[8] Yao S. S., 2006.- Contribution à l'étude de la diversité biologique et de l'écologie alimentaire de l'ichtyofaune d'un hydrosystème ouest africain: Cas du bassin de la Comoé (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat. Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 280 p.

[9] JICA., 2001.- Plan directeur de gestion intégrée des ressources en eau en République de Côte d'Ivoire, rapport principal. JICA, 446 p.

[10] Djohan V., Kaba D., Rayaissé J.-B., Salou E., Coulibaly B., Dofini F., Kouadio K. A.M., Solano P. & Menan H., 2015.- Diversité spatio-temporelle des glossines le long du fleuve Comoé en Côte d'Ivoire. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux,* 68 (1): 39-44.

[11] MDDEP, 2008.- Guide de surveillance biologique basée sur les macroinvertébrés benthiques d'eau douce du QUEBEC, Ministère du Développement Durable, de l'Environnement, et des Parcs. Québec, ISBN 978-2-550- 66035-4, 86 p.
[12] AFNOR., 1997.- Qualité de l'eau: terminologie, échantillonnage et évaluation des méthodes (Tome 1). Paris, France, 376 p.
[13] Dejoux C., Elouard J.M., Forge P. & Justin J.M., 1981.- Catalogue iconographique des insectes aquatiques de Côte d'Ivoire. Rapport ORSTOM, 42: 179 p.
[14] Tachet H., Richoux P., Bournaud P. & Usseglio-Polatera P., 2010.- Invertébrés d'eau douce. Systématique, biologie, écologie. CNRS Editions, Paris, France, 607p.
[15] Bony Y. K., Kouassi N. C., Diomandé D., Gourène G., Verdoit-Jarraya M. & Pointier J. P., 2008.- Ecological conditions for the spread of the invasive snail *Physa marmorata* (Pulmonata: Physidae) in Ivory Coast. *African Zoology,* 43 (1): 53-60.
[16] Lamand F. & Prié V., 2017.- Détermination des mollusques bivalves de France: Naïades et les petits bivalves d'eau douce. Guides et protocoles, clé d'identification des espèces, Agence française pour la biodiversité, 44p. http://www.afbiodiversite.fr.
[17] Lévêque C., 1980.- Mollusques. In: *Flore et faune aquatiques de l'Afrique sahélo-soudanienne*. Tome 1. Initiations-Documentations Techniques, *ORSTOM,* Paris, 44: pp 283-305.
[18] Aliaume C., Lasserre G. & Louis M., 1990.- Organisation spatiale des peuplements ichtyologiques des herbiers à Thalassia du Grand Cul-de-sac Marin en Guadeloupe. *Revue d'Hydrobiologie Tropicale,* 23: 231-250.
[19] Frontier S. & Pichod-Viale D., 1998.- Ecosystèmes: structure, fonctionnement, évolution. Dunod, Paris, France, 447 p.
[20] Sorensen T., 1948.- A method of establishing groups of equaly amplitude in plant society based on similarity of species content. K. Danske Vidensk. Selsk., 5: 1-34.
[21] Dajoz R., 2000.- Précis d'Ecologie. 7ème édition, Dunod, Paris, 615p.
[22] Tachet H., Richoux P., Bournaud P. & Usseglio-Polatera P., 2010.- Invertébrés d'eau douce. Systématique, biologie, écologie. *CNRS Editions,* Paris, France, 607p.
[23] Guenda W., 1996.- Etude faunistique écologique et de la distribution des insectes d'm réseau hydrographique de l'Ouest africain: Mouhoun (Burkina Faso). Thèse Doctorat d'Etat ès sciences, Université de Droit, d'Economie et des Sciences D'Aix-Marseille III. France. 260 p.
[24] Kabré André T., Diguingué D. & Bouda S., 2002.- Effet du rétrécissement de la superficie d'eau sur les macroinvertébrés benthiques du lac de barrage de la Comoé, Sud-Ouest du Burkina Faso Science et technique. *Sciences naturelles et agronomie,* 26 (1; 2): 39-51.
[25] Alhou B., Issiaka Y., Awaiss A. & Micha J.-C., 2014.- Premier inventaire des macroinvertébrés du fleuve Niger à Niamey comme bioindicateurs de la pollution urbaine et industrielle. *Hydroécologie Application,* 18: 139–163.
[26] Kouamé K. M., 2014.- Diversité, structure et réponse fonctionnelle des macroinvertébrés à l'invasion du lac de Taabo (Côte d'Ivoire) par la jacinthe d'eau, *Eichhornia crassipes* (Mort.) Solms-Laubach, 1883. Thèse de Doctorat de l'Université NANGUI ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire, 197 p.
[27] Forge P., 1981.- Coléoptères. In: *Faune et Flore de l'Afrique Sahélo-Soudanienne*. Durand et Lévêque (Ed). Tome II. ORSTOM, Paris, pp 487-516.
[28] Mathuriau, C., 2002.- Les macroinvertébrés des cours d'eau andins du Sud-est de la Colombie: écologie et bioindication. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, France, 309 p.
[29] Arimoro O. F., Ikomi B. R. & Iwegbue A. M., 2007.- Water quality changes in relation to Diptera community patterns and diversity measured at an organic effluent impacted stream in the Niger Delta, Nigeria. *Ecological Indicators,* 7: 541-552.
[30] Edia O. E., Brosse S., Ouattara A., Gourène G., Winterton P. & Lek-Ang S., 2007.- Aquatic insect assemblage patterns in four West-African coastal rivers. *Journal of Biological Sciences,* 7 (7): 1130-1138.
[31] Binder E., 1968.- Répartition des Mollusques dans la lagune ÉBRIÉ (Côte d'Ivoire). *Cahier O.R.S.T.O.M*., *série Hydrobiologie,* 2 (3-4): 32 p.
[32] Lévêque C., 1972. - Mollusques benthiques du lac Tchad: Ecologie, Etude des peuplements et estimations des biomasses. *Cahier O.R.S.T.O.M., Série Hydrobiologie,* 5 (1): 3-45.
[33] Berghöfer A., Koné N. A. & Tröger U., 2017.- Contribution du Parc national de la Comoé au développement de sa région. *Étude de cadrage,* Bouna, Côte d'Ivoire, 30p.
[34] Yapi E. P. & Kouassi J. C., 2013.- Études de faisabilité technico-économique et environnementale du pont de bassawa sur la Comoé. Rapport EIES, Abidjan, 180 p.
[35] Lévêque C., 1994.- Introduction générale: biodiversité des poissons africains. In: Diversité biologique des poissons des eaux douces et saumâtres d'Afrique (Teugels, G.G., Guégan, J.F. & Albaret, J.J., eds.), Annales du Musée Royal de l'Afrique Centrale 275, pp. 7-16.

[36] Moyle P. B. & Leidy R. A., 1992.- Loss of Biodiversity in Aquatic Ecosystems: Evidence from Fish Fauna. In Conservation Biology: the theory and pratice of Nature Conservation, Preservation and Management (Fielder, P. L. & Jain, S. K., eds.), pp. 127-169. Chapman & Hall, London and New York.

[37] Soderstrom O., 1987.- Upstream movements of invertebrates in running watera review. Archivfür Hydrobiologie, 111: 197-208.

[38] Demoulin, G., 1981.- Ephéméroptères. In: *Flore et faune Aquatiques de l'Afrique Sahelo-soudanienne*. Tome II. ORSTOM, Paris, 407-443.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1214-1222
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Relation poids-longueur et facteur de condition de *Trematocara unimaculatum* Boulenger 1901 et *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), deux espèces de poissons - cichlidés de la zone littorale du Nord du Lac Tanganyika: Cas des stations Kumase et Estuaire de la Rusizi de la côte burundaise

[Weight-length relationship and condition factor of *Trematocara unimaculatum* Boulenger 1901 and *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758), two cichlid fish species from the northern littoral zone of Lake Tanganyika: Case of the Kumase and Rusizi Estuary stations on the coast Burundian]

Mbonimpa Gordien[1], Niyonkuru Charles[2], and Nibona Emile[2]

[1]Centre de Recherche en Sciences Naturelles et Environnement, Faculté des Sciences, Université du Burundi. BP: 2700 Bujumbura, Burundi

[2]Centre Universitaire de Recherche et de Pédagogie Appliqués aux Sciences, laboratoire de Nutrition-Phytochimie, Environnement et Ecologie Appliqués aux Sciences, Institut de Pédagogie Appliqué, Université du Burundi, BP: 5223 Bujumbura, Burundi

Copyright © 2023 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: Parameters of the weight-length relationship and the condition factor are very important in the knowledge of several aspects of biology and in the management of fisheries. Unfortunately, there are few studies relating to the ichthyofauna of Lake Tanganyika in general and cichlids in particular. This study was conducted with the aim of contributing to enrich the existing database and the rational management of the lake. Total lengths and weights were obtained based on *T. unimaculatum* and *O. niloticus* fish samples collected over 8 months (January to August 2021). The correlations between the length and the weight of the specimens are very strong with coefficients of determination ranging from 0.95 to 0.99. In both stations, positive allometry was recorded in *T. unimaculatum* (b>3) while isometric growth was recorded in *O. niloticus*. Mean K is greater than 1 in *O. niloticus* while mean K <1 in T. *unimaculatum*. In the latter species, the average K varies significantly depending on the sites (p<0.5) whereas the variation in the average K is not significant in the two sites in *O. niloiticus* (p>0.). This shows that the two species of cichlid fish adapt differently to the two stations with different environmental characteristics: *O. niloticus* seems indifferent to the degree of pollution while *T. unimaculatum* displays an average K in a station known to be less polluted compared to the 'other.

KEYWORDS: Cichlid -fishes, Lake Tanganyika, biological parameters, fisheries management.

RESUME: Les paramètres de la relation poids-longueur et le facteur de condition sont très importants dans la connaissance de plusieurs aspects de la biologie et dans la gestion des pêcheries. Malheureusement les études s'y rapportant sont peu nombreuses pour l'ichtyofaune du Lac Tanganyika en général et des cichlidés en particulier. La présente étude a été menée dans le but de contribuer à enrichir la base de données existantes et la gestion rationnelle du lac. Les longueurs et poids totaux ont été obtenus sur base des échantillons de poissons de *T. unimaculatum* et *O. niloticus* collectés pendant 8 mois (de janvier à août 2021). Les corrélations entre la longueur et le poids des spécimens sont très fortes avec des coefficients de détermination qui vont de 0,95 à 0,99. Dans les deux stations, une allométrie positive a été enregistrée chez *T. unimaculatum*

Corresponding Author: Niyonkuru Charles

(b>3) alors qu'une croissance isométrique l'a été chez *O. niloticus*. K moyen est supérieur à 1 chez *O. niloticus* alors que K moyen <1 chez *T. unimaculatum*. Chez cette dernière espèce, K moyen varie significativement suivant les sites (p<0,5) alors que la variation du K moyen n'est pas significative dans les deux sites chez *O. niloiticus* (p>0,). Cela montre que les deux espèces de poissons-cichlidés s'adaptent différemment aux deux stations aux caractéristiques environnementales différentes: *O. niloticus* semblant indifférente au degré de pollution alors que *T. unimaculatum* affichant un K moyen dans une station réputée moins polluée par rapport à l'autre.

MOTS-CLEFS: Poissons-cichlidés, lac Tanganyika, paramètres biologiques, gestion de la pêche.

1 INTRODUCTION

D'après Allisson et al. (2000), le lac Tanganyika est l'écosystème d'eaux douces le plus riche du monde et près de 1500 espèces animales (vertébrés et invertébrés) ont été déjà inventoriées. Parmi les poissons, Devos et Snoeks (1994) ont déjà inventorié 337 espèces de poissons réparties en 101 genres et 22 familles. Plus de 70% de ces espèces sont endémiques et près 90% d'entre elles appartiennent à la famille des cichlidés. Ce sont ces derniers qui ont retenu le plus d'attention au cours de la présente étude. Parmi les deux espèces étudiées, l'une d'entre elles est endémique. Il s'agit de ***Trematocara unimaculatum*** **Boulenger 1901, l'autre étant *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758).** Ntakimazi et al. (2000) indiquent que le plus grand nombre d'espèces de poissons surtout les cichlidés habitent dans la zone littorale du lac Tanganyika. Elle est, en effet, le milieu propice pour la reproduction, le lieu d'abri contre les prédateurs et le lieu de croissance pour certaines espèces y compris les espèces pélagiques. Malheureusement, on constate que la zone littorale est menacée par diverses formes de dégradation telles qu'évoquées par West et al. (2001), Hassan (2006), Buhungu et al. (2017), etc. D'après ces derniers, les différentes formes de dégradation (pollution, pêche intensive avec des engins de pêche inappropriés, destruction des berges qui sont des lieux privilégiés pour la reproduction des poissons, etc.) observées dans la zone littorale sont dues notamment à la présence de la ville de Bujumbura (capitale économique du Burundi) et celle d'Uvira en RDC implantées à proximité du lac Tanganyika. Ces formes dégradation ont une incidence négative sur les aspects de la biologie des poissons parmi lesquels on peut citer la croissance, l'alimentation, la reproduction, etc. Malheureusement, certaines informations comme la relation poids-longueur et le facteur de condition manquent pour beaucoup de poissons de ce lac. Or, d'après Sidibé (2002), l'étude des relations longueur-poids (RLP) permet de déterminer le poids des poissons dont on connaît la longueur ou inversement et de décrire la forme, l'embonpoint des poissons et ses variations au cours de sa croissance. Khallaf et al. (2003) soulignent que ces données peuvent varier en fonctions de multiples facteurs tels que le sexe, le stade de maturité sexuelle, les conditions alimentaires, la pression due à la pêche. Non seulement les paramètres de la RLP fournissent des informations sur l'habitat des poissons mais aussi, ils sont des outils de comparaison entre diverses populations d'une même espèce vivant dans des écosystèmes similaires ou différents (Stergiou et Moutopoulos, 2001; Thomas et al., 2003; Odat, 2003).

L'objet de la présente étude de contribuer à combler le déficit d'informations sur les aspects de la biologie des poissons du lac Tanganyika en général et des cichlidés de la zone littorale nord du lac en particulier en fournissant les informations en rapport avec les RLP et en proposant des mesures de gestion rationnelle des stocks de poissons des espèces de poissons étudiés.

2 MATERIEL ET MESTHODES

2.1 MILIEU D'ÉTUDE

L'étude a été menée dans les eaux littorales du nord du lac Tanganyika situées sur la côte burundaise. Deux stations ont été retenues: station Kumase et station estuaire de la Rusizi (figure 1).

Le site de débarquement de pêche de Kumase est une plage de la partie Nord du lac Tanganyika. Il est localisé dans le secteur industriel et à 3,5 km du centre de la ville de Bujumbura et à 773 m d'altitude. D'après Nzigidahera et al. (2011), la végétation y est composée *Typha domingensis, Eichhornia crassipes.* On y remarque une dominance nette de *Vossia cuspidata,* entrecoupée par des touffes de *Phragmites mauritianus* dans l'eau peu profonde. La transparence de l'eau est réduite à cause des déchets y compris les matériaux plastiques provenant de diverses localités de la ville.

Cette station, localisée à l'embouchure de la Rusizi, est une zone de mélange des eaux de la rivière et du lac est située à l'extrême nord du lac Tanganyika et est située à environ 6 km de la ville de Bujumbura sur la route Bujumbura-Gatumba-RDC (Nibona, 2010; Sibomana, 2008). C'est une zone où le substrat est sablonneux et vaseux dont la végétation environnante est

dominée par des *Cyperus papyrus* et *Phragmites mauritianus* Kunth partiellement inondées dans les parties les plus proches du lac.

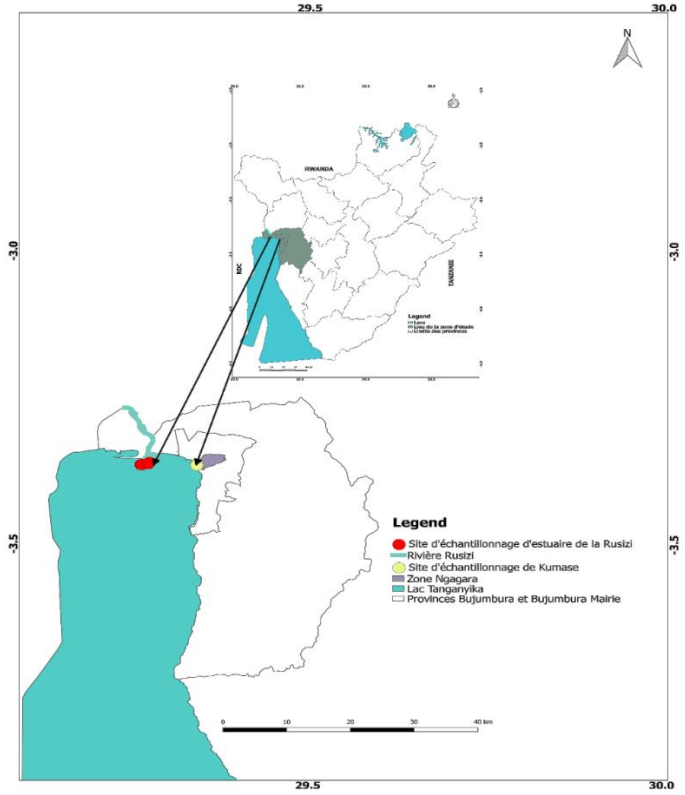


Fig. 1. Localisation des sites d'échantillonnage (Auteurs)

2.2 MÉTHODOLOGIE

Les échantillons de poissons ont été collectés auprès des pêcheurs artisanaux, ayant pêché en notre présence dans la zone d'étude afin de nous rassurer que les poissons proviennent exactement du milieu d'étude. La collecte mensuelle des données au niveau de chacune des stations s'est étalée sur une période de 8 mois (de janvier à août 2021) couvrant 3 saisons à savoir: une petite saison sèche (janvier à février); une grande saison pluvieuse (mars à début juin) et une grande saison sèche (mi- juin à août). L'échantillonnage se faisait les matins, à partir de 6 heures 30min, au moment où les pêcheurs traditionnels débarquent sur la plage avec leurs engins de pêche et leurs captures.

Les longueurs totales en cm et les poids totaux en gramme ont été mesurés respectivement au moyen de l'ichtyomètre et d'une balance électronique (SF-400).

2.2.1 DÉTERMINATION DE LA RELATION-POIDS-LONGUEUR

Partant de l'équation de Le Cren (1951), $P = a * L^b$ où L, est la longueur totale du poisson en cm et P, le poids total du poisson en g, les paramètres a et b, représentant respectivement l'intercepte et le coefficient d'allométrie ont été déduits par linéarisation logarithmique. Le Facteur de condition de Fulton (K) a été calculé afin d'apprécier l'état d'embonpoint des poissons, suivant la formule: $K = 100 * (P) / (L)^b$ (Bagenal et Tesch, 1978) cités par Lévêque et Paugy (2006). Les constantes a et b sont respectivement des facteurs caractéristiques du milieu et de l'espèce. Lorsque la valeur de b est égale à 3, la croissance est isométrique. Pour b supérieur à 3, la croissance est dite allométrique positive. Par contre une valeur de b inférieure à 3 indique une croissance allométrique négative. Le test t de Student au seuil de 5% a été effectué pour vérifier si la valeur de b déduite des courbes de régression est différente de 3.

2.2.2 DÉTERMINATION DU FACTEUR DE CONDITION

Le facteur de condition a été déterminé selon la formule suivante: $\boldsymbol{K}$=**Pt / Lt** $\boldsymbol{b} * \mathbf{100}$ (Kone et Teugels, 2003), avec Pt et Lt respectivement le poids total en gramme et longueur total en centimètre et b étant déduit de la relation poids-taille

Les figures de la relation poids-longueurs et celles montrant l'évolution du facteur de condition suivant les mois ont été tracées à l'aide du logiciel Excel. Un test t de Student au seuil de 5% a été calculé avec le logiciel R pour vérifier s'il y'avait ou non une différence significative de K suivant les stations étudiées.

3 RESULTATS

3.1 RELATIONS POIDS-LONGUEURS

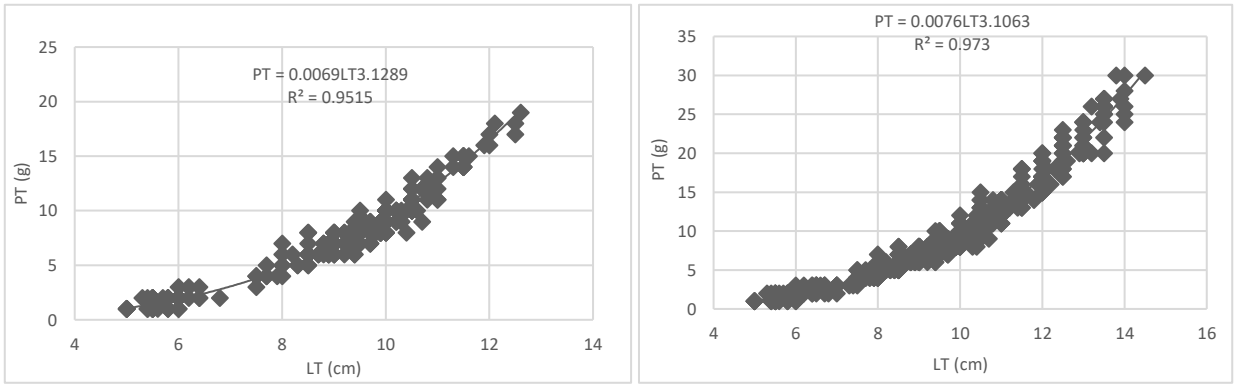
Au total, 960 poissons des deux espèces ont été échantillonnés dans les deux stations à raison de 240 individus par chacune des deux espèces et par station. Les longueurs totales de *T. unimaculatum* sont comprises entre 5 et 12,5 cm dans la station de Kumase et entre 5,5 cm et 13,5 cm dans l'estuaire de la Rusizi. Chez *O. niloticus,* elles varient de 6 à 22 cm dans la station Kumase et de 6 à 48,5 cm dans l'estuaire de la Rusizi.

Les relations poids-longueurs, les paramètres a et b des relations poids-longueurs et les coefficients de détermination sont présentés dans le tableau 1 et aux figures 2 et 3 suivants. Les corrélations entre la longueur et le poids des spécimens sont très fortes avec des coefficients de détermination qui vont de 0,95 à 0,99.

Les coefficients d'allométrie b de *T. unimaculatum* pour toutes les stations sont supérieur à 3, (b= 3,12 à Kumase et b=3,10 à l'estuaire de la Rusizi). Il s'agit d'une allométrie positive. Ces résultats montrent que l'espèce croit plus en poids qu'en longueur. Chez *O. niloticus,* on remarque une croissance presqu'isométrique dans les deux stations avec des coefficients d'allométrie b de 3,04 et 3,06 respectivement à l'estuaire de la Rusizi et à Kumase. On remarque que pour chacune des deux espèces, les valeurs de b sont très voisines dans les deux stations quoique celles de la station Kumase soient légèrement supérieures à celles de l'estuaire de la Rusizi.

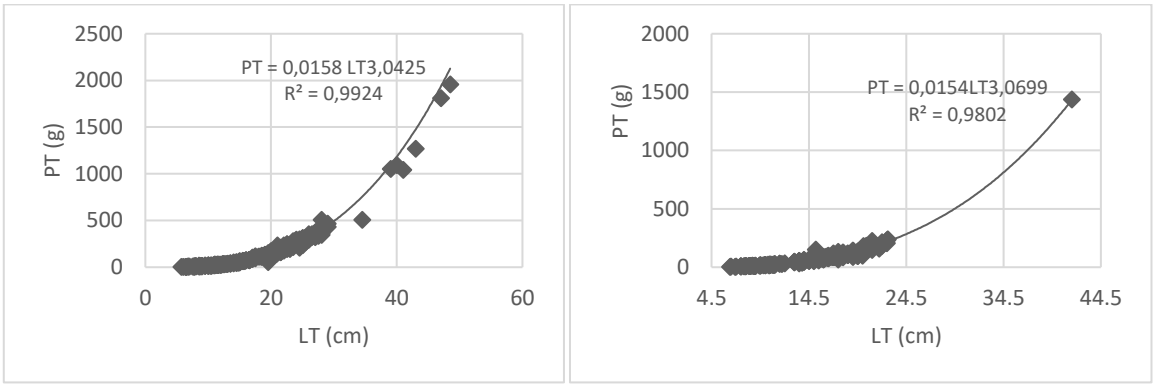
Tableau 1. Paramètres de la relation poids-longueurs des deux espèces

Paramètres	*O. niloticus*		*T. unimaculatum*	
	Estuaire de la Rusizi	Station Kumase	Estuaire de la Rusizi	Station Kumase
a	0,0158	0,0154	0,0076	0,0069
b	3,0425	3,0699	3,1063	3,1289
Coéfficient de détermination R^2	0,9924	0,9802	0,973	0,9515
Type de croissance	I	I	A+	A+



(a1) ***(a2)***

Fig. 2. Courbes de la relation poids-longueur chez T. unimaculatum à Kumase (a1) et à l'estuaire de la Rusizi (a2).



(b1) ***(b2)***

Fig. 3. Courbes de la relation poids-longueur pour O. niloticus à l'estuaire de la Rusizi (b1) et à Kumase (b2)

3.2 FACTEUR DE CONDITION

Les valeurs du facteur de condition, les équations de régression et le coefficient de détermination R^2 sont présentés dans le tableau 2. Des faibles variations du facteur de condition ont été enregistrées dans les deux stations pour chacune des deux espèces, de 1,57 à 1,59 (coefficients de variation de 27,42 et 10,9 %) chez *O. niloticus* puis de 0,73 à 0,81 (coefficients de variation de 13,9 et 10,3%) chez *T. unimaculatum* respectivement à la station Kumase et à l'estuaire de la Rusizi. Pour toutes les deux espèces, les valeurs élevées de K ont été enregistrées dans l'estuaire de la Rusizi. Cela signifierait que les conditions de l'habitat et de l'alimentation y sont meilleures par rapport à celles de la station Kumase.

Tableau 2. Equations de la relation poids-longueur et facteur de condition moyen K.

Paramètres	***O. niloticus***		***T. unimaculatum***	
	Estuaire de la Rusizi	**Station Kumase**	**Estuaire de la Rusizi**	**Station Kumase**
Equation	PT= 0,0158 $LT^{3.0425}$	Pt= 0, 0154 $LT^{3.0699}$	PT= 0,0076 $LT^{3.106}$	PT= 0,0069 $LT^{3.1289}$
R^2	0,9924	0,9802	0,973	0,9515
K moyen	1,59	1,57	0,81	0,73
Ecart-type	0,1746	0,4321	0,08471	0,102
CV (%)	10,97	27,42	10,3	13,9

Concernant l'évolution mensuelle du facteur de condition chez *T. unimaculatum, l*'analyse de la figure 4 montre que:

- Les deux courbes de l'évolution de K dans la station Kumase et l'estuaire de la Rusizi ont la même allure avec la courbe de K de l'estuaire de la Rusizi superposée au-dessus de celle de la station Kumase. Cela montre clairement que les valeurs de K obtenues à Kumase sont toujours inférieures à celles de l'estuaire de la Rusizi.
- Les valeurs de K les plus élevées sont observées dans les deux cas aux mois de février et avril (correspondant à la saison de pluies, le mois de mars ayant fait exception dans les deux cas). Cela voudrait dire que les espèces étudiées se trouveraient en bonnes conditions écologiques au cours de cette période.
- Le test statistique t de Student confirme qu'il existe une différence très significative entre les deux sites avec df = 12,976; p-value = 0,003028 ($p<0,05$) et l'intervalle de confiance à 95% est de (-009964631; -0,02535369). Cette différence significative observée dans les deux milieux d'étude pourrait attribuable aux conditions écologiques différentes des deux milieux. En effet, la station Kumase est réputée être très polluée car recevant les eaux résiduaires des usines environnantes ainsi que les apports de déchets et eaux boueuses charriés par les rivières Kinyankonge et Ntahangwa.

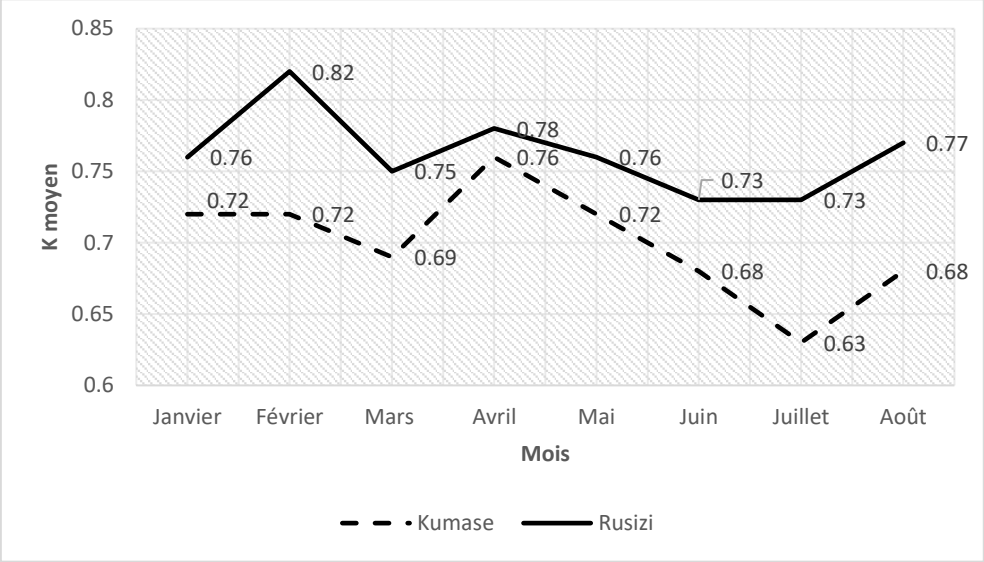


Fig. 4. Evaluation mensuelle du facteur de condition chez T. unimaculatum

En ce qui concerne l'évolution **mensuelle du facteur de condition d'*O. niloticus, l'***analyse de la figure 5 montre que:

- Comme dans le cas de *T. unimaculatum,* les valeurs les plus élevées de K sont observées en février et avril au niveau de l'estuaire de la Rusizi et entre mars et mai pour la station Kumase. Cela signifierait que c'est durant cette période de la saison pluvieuse que l'espèce se trouve dans des conditions favorables. Cela pourrait être dû à l'abondance de nourriture dans le milieu d'étude.
- Au niveau des deux stations, on remarque le facteur de condition continuent de baisser à partir de mai pour atteindre les minimas au mois d'août, c.-à-d. K= 1,52 et K=1,51 respectivement pour l'estuaire de la Rusizi et la station Kumase. On pourrait penser que c'est durant cette période que l'espèce se trouve dans des conditions défavorables.
- Le test statistique t de Student confirme qu'il n'a pas une différence très significative entre les deux stations avec df =12,146, p-value = 0,8153 (p>0.05) et l'intervalle de confiance à 95% est de (-0, 10116376; 0,08116376). Cela est probablement dû au fait que *O.niloticus* est une espèce qui tolère les conditions écologiques extrêmes. Les différences écologiques des deux sites ne l'affectent donc significativement pas.

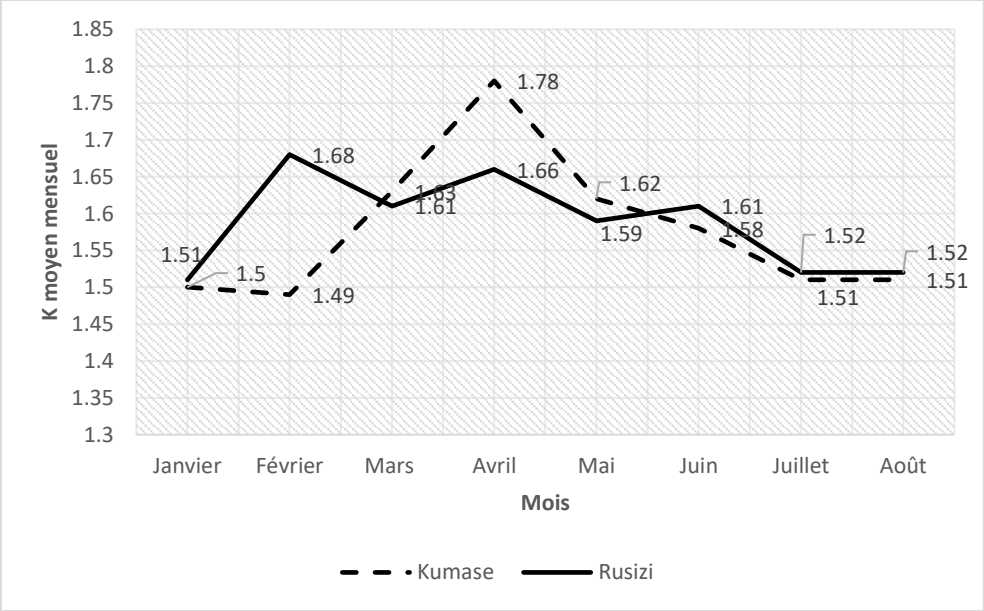


Fig. 5. Evaluation mensuelle du facteur de condition chez O. niloticus

4 DISCUSSION

4.1 RELATION POIDS-LONGUEUR

Divers chercheurs dont Minoungou et al. (2020) et Coulibaly (2008) ont déjà montré qu'une valeur de b supérieure à 3 montre que l'espèce prend de l'embonpoint au cours de sa croissance en longueur. Yakubu et al. (2016) a montré que le coefficient d'allométrie est lié à la qualité de l'environnement aquatique. On peut affirmer que *T. unimaculatum* montre une tolérance relativement élevée vis-à-vis des conditions environnementales pendant la période de l'étude dans la mesure où cette espèce affiche une allométrie positive. Selon Kumolu-Johnson & Ndimele (2010), les poissons plus lourds d'une longueur donnée sont en meilleure condition physiologique. Les résultats de la présente étude sont différents de ceux observés antérieurement pour une espèce du même genre *T. variabile* (b =2,5) comme le montre Bigirimana (2011). C'est le même constat aussi pour les résultats qui se trouvent dans la base de données fishbase (b=2,7) (www.fishbase.org).

Chez O. niloticus, le coefficient d'allométrie de la relation poids-longueur varie selon les auteurs. Si les résultats de la présente étude ont montré une allométrie positive tendant vers l'isométrie, soit b= 3,04 et 3,06 respectivement à l'estuaire de la Rusizi et à Kumase, d'autres auteurs comme Adite et al. (2017) ont trouvé dans le lac Toho au sud du Bénin prouvé que le coefficient d'allométrie b était de 2,98. Il s'agit d'un résultat plus ou moins similaire à celui se trouvant dans www.fishbase.org, soit b=2,96. Au vu de ces résultats, on peut retenir que O. niloticus, la croissance tend vers l'isométrie dans la mesure où l'ensemble de ces valeurs de b sont très proches de 3.

4.2 FACTEUR DE DE CONDITION

Les valeurs de K obtenues sont supérieures à 1 pour *O. niloticus* pour toutes les stations et inférieures à 1 pour T. *unimaculatum* pour toutes les deux stations. D'après Alhassan et al. (2015), un coefficient K moyen inférieur à 1 suggère que les poissons sont dans de mauvaises conditions (cas de *T. unimaculatum*) et un coefficient supérieur à 1, ils sont dans les conditions favorables (cas d'*O. niloticus*). Chez *T. unimaculatum,* les études de comparaison sont rares. Il s'agit, comme évoqué plus haut d'une espèce endémique du lac Tanganyika et de peu d'intérêt commercial mais d'une grande importance du point de vue de la biodiversité du lac. Cette étude en rapport avec la biologie des poissons des espèces endémiques du Lac Tanganyika serait, à notre connaissance, la première; plusieurs études s'étant focalisées sur la taxonomie et la biodiversité. Chez *O. niloticus,* les valeurs de K trouvées dans la présente étude sont comprises entre 1,49 et 1,78 avec un K moyen de 1,59. Ces valeurs quoique supérieures à 1 (et donc témoignant une bonne adaptation aux conditions du milieu d'après Alhassan et al. (2015)), restent de loin inférieures à celles menées lors de l'étude de fin d'études universitaires mais non publiées menée par Bangirinama (2011). En effet dans l'estuaire de la Rusizi (une des stations retenues pour la présente étude), cet auteur a trouvé un K moyen de 7,2. Une valeur de K=11,73 a été également trouvée par Minoungou et al. (2020) au Burkina Faso. Ces résultats prouvent que le facteur de condition moyen varie d'une localité à une autre en fonction des conditions environnementales prévalant dans cette localité.

Un autre constat qui se dégage de cette étude sur le facteur de condition est que les facteurs de condition moyen sont plus élevés durant la saison des pluies (entre mars et mai) pour toutes les deux espèces et au niveau des deux stations. Minoungou et al. (2020) ont fait le constat contraire à celui fait lors de la présente étude. Ils ont montré que les valeurs de K moyen ont été menées sont plus élevées en saison sèche qu'en saison des pluies. Les divergences entre ces deux études seraient liées aux milieux d'études d'étude différents: l'une ayant été menée dans un grand lac avec beaucoup d'affluents charriant divers nutriments durant la saison pluvieuse et l'autre dans un réservoir de Samadeni (Burkina Faso) aux conditions hydrologiques différentes.

Cette étude a montré également que chez *O. niloticus,* les valeurs les élevées de K ont été observées dans la station Kumase, réputée être polluée par rapport à celle de "estuaire de la Rusizi. Le constat similaire a été fait par Amara et al. (2007) qui montre que le facteur de condition du plan d'eau très dégradé, est plus élevé que celui moins dégradé. Cela n'est pas le cas chez *T. unimaculatum* où K est toujours plus élevé dans l'estuaire de la Rusizi moins pollué que la station Kumase.

5 CONCLUSION

Cette étude fournit les premières informations publiées sur les paramètres de poids de longueur et les facteurs de condition des deux espèces de poissons de poissons-cichlidés (une famille la plus représentée de l'ichtyofaune du Lac Tanganyika), une des deux espèces, *T. unimaculatum,* étant endémique. Les deux espèces sont d'allométries différentes. Les valeurs de K

trouvées pour cette dernière espèce, plus élevées à l'estuaire de la Rusizi, réputé moins pollué que la station Kumase, et les valeurs maximales de K observées dans la station Kumase *chez O. niloticus* montrent que les espèces s'adaptent différemment aux variations du milieu. Les valeurs élevées de K durant la saison pluvieuse pour toutes les deux espèces constituent des informations importantes en prendre en compte dans la gestion des stocks des poissons.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient vivement les communautés des pêcheurs et les techniciens de laboratoire pour leur appui et collaboration dans la collecte des données exploitées dans la rédaction de ce manuscrit.

REFERENCES

[1] Adite A., Tossavi E.C., & Kakpo D.B.E. Biodiversity, length-weight patterns and condition factors of cichlid fishes (Perciformes: Cichlidae) in brackish water and freshwater lakes of the Mono River, Southern Benin, West Africa. IJFBS, 4 (6): 26-34, 2017.

[2] Alhassan EH, Akongyuure DN, Asumang F. (2015). Determination of Morphometric Relationship and Condition Factors of Four Cichlids from Golinga Reservoir in Northern Region of Ghana. Online Journal of Biological Science, 15 (3): 201-206. DOI: http://dx.doi.org/10.3844/ojbsci.2015.20 1.206, 2015.

[3] Allison E. H., Paley R. G. T., Ntakimazi G., Cowan. J., & West K. Evaluation et Conservation de Biodiversité dans le Lac Tanganyika: Rapport technique final de Bioss Pollution Control and Other Measures to Protect Biodiversity in Lake Tanganyika (RAF / 92 / G32), 2000.

[4] Amara R, Meziane T, Gilliers C, Hermel G, Laffargue P. Growth and condition indices in juvenile sole Solea solea measured to assess the quality of essential fish habitat. *Mar Ecol Prog Ser.,* 351: 201-208. DOI: http://dx.doi.org /10.3354/meps07154, 2007.

[5] Bigrimana D. Etude de la relation poids-longueurs et du facteur de condition des principales espèces de poissons Cichlidae d'intérêt commercial de l'estuaire de la Rusizi. Mémoire présenté et défendu publiquement en vue de l'obtention du grade de Licencié en pédagogie appliquée, agrégé dans l'enseignement secondaire en Biologie, 43p, 2011.

[6] Buhungu S., Houssou A. M., Montchowui E., Ntakimazi G., Vasel J. L., & Ndikumana T. Etablissement du pollutogramme et de l'hydrogramme de la rivière Kinyankonge, Burundi. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 11 (3), 1386-1399, 2017.

[7] Coulibaly N.D. Relation longueur-poids chez quatre espèces de poissons de la rivière Sourou au Burkina Faso. Int. J. Biol. Chem. Sci. 2 (3): 331-338, 2008.

[8] Devos L. & Snoecks J. The non-Cichlid fishes of the Lake Tanganyika basin. In Martens K.; Goddeeris B. and Coulter G. (eds) speciation in Ancient Lakes. Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol, 44: 391-405, 1994.

[9] Hassan M.N. Challenges of global environmental issues on ecosystem management in Malaysia, Aquatic Ecosystem Health & Management, 9 (2): 269-283, 2006.

[10] Kumolu-Johnson C.A. & Ndimele P.E.Length-weight relationships and condition factors of twenty-one fish species in Ologe Lagoon, Lagos, Nigeria. Asian Journal of Agricultural Science 2: 174-179, 2010.

[11] Lévêque C, Paugy D. Les poissons des eaux continentales africaines. Institut de Recherche pour le Développement. IRD Edition, Paris. Mancera E.et Mendo J. (1996). Population dynamics of the oyster Crassostrea rhizophorae from the Cienaga Grande de Santa, Colombia. Fish. Resour., 26: 139-148., 2006.

[12] Nibona E. Ecologie et exploitation des poissons cichlidés d'intérêt commercial de l'estuaire de la Rusizi: cas des genres *Triglachromis* et *Xenotilapia.* Mémoire pour l'Obtention du Diplôme de Licence en Pédagogie Appliquée agrégée de l'Enseignement secondaire. Université du Burundi, Département de biologie, 47p., 2010.

[13] Ntakimazi G., Nzigidahera B., Nicayenzi F. West K. L'Etat de la diversité biologique dans les milieux aquatiques et terrestres du delta de la Rusizi. Etude Spéciale de Biodiversité (ESBIO), Rapport, Bujumbura.68p., 2000.

[14] Nzigidahera B., Fofo A., Kakunze A., Masabo O. & Mugisha J. Reserve naturelle du nord du lac Tanganyika: Etude identification, 94p., 2011.

[15] Odat N. Length-weight relationship of fishes from coral reefs along the coastline of Jordan (Golf of Aqaba). Naga, 26 (1): 9-10, 2003.

[16] Sibomana C. (2008). Etat actuel de la diversité piscicole dans la zone littorale du lac Tanganyika: cas de l'estuaire de la Rusizi. Mémoire du Diplôme d'Etudes Supérieures Spécialisées (DESS) en gestion et conservation de l'environnement et des ressources naturelles. Université du Burundi, Faculté des sciences. Département de Biologie, 36p, 2008.

[17] Sidibé A. 2003. Les ressources halieutiques démersales côtières de la Guinée: exploitation, biologie et dynamique des principales espèces de la communauté à Sciaenidés. Thèse de l'ENSAR mention Halieutique, Agrocampus Rennes, 320 p, 2003.
[18] Stergiou K.I, Moutopoulos D.K. A review of length-weight relationship of fishes from Greek Marine Waters. Naga, 24 (1-2): 23-39, 2001.
[19] Thomas J., Venu S., Kurup BM. Length weight relationship of some deep-sea fish inhabiting the continental slope beyond 250 m along the west coast of India. Naga, 26 (2): 17–21, 2003.
[20] West K. Lac Tanganyika: Résultats et constats tires de l'initiative de conservation du PNUD/GEF (Raf/92/G32) qui a eu lieu au Burundi, en République Démocratique du Congo, en Tanzanie et en Zambie. Projet sur la Biodiversité du Lac Tanganyika, 155p, 2001.
[21] Yakubu Y.I., Oluranti B.N., Ewutanure J., Rilwan U. Food Habit and Growth Pattern of *O.niloticus* in Wase Dam, Nigeria. Nature and Science, 14 (12): 46-49. DOI: http://dx.doi.org /10.1007/s11160-009-9152-z., 2016.
[22] www.fishbase.org consulté le 20/02/2021.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1223-1229
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Etude de la résistance de douze (12) nouveaux génotypes de riz pour le contrôle de *Magnaporthe oryzae* B.C. Couch*.*, pathogène de la pyriculariose du riz au Burkina Faso

[Study of the resistance of twelve (12) new rice genotypes to fight against *Magnaporthe oryzae* B.C. Couch, a rice blast pathogen in Burkina Faso]

OUATTARA Souleymane[1], KASSANKOGNO Abalo Itolou[3], SÉRÉMÉ Abdoulaye[2], ZOUGRANA Sylvain[1-3], and KOÏTA Kadidia[1]

[1]Ecole doctorale Sciences et Technologies, Laboratoire Biosciences, Equipe Phytopathologie et Mycologie tropicale, Université Joseph KI-ZERBO, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso

[2]Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies (IRSAT), 03 BP 7047 Ouagadougou 03, Burkina Faso

[3]Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), 01 BP 910 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate, in a semi-controlled environment, the resistance of twelve (12) new rice genotypes (KBR2, KBR4, KBR6, KBR8, KBR9, KBR11, KBR12, KBR13, KBR15, KBR17, KBR28, KBR42) to rice blast caused by *Magnaporthe oryzae* in Burkina Faso. The experimental design used was a randomised block with three (03) replications. The parameters assessed were leaf and panicle severity, leaf and panicle incidence, yield per pot and percentage yield loss. The results showed that genotypes KBR11, KBR15 and KBR42 were resistant to medium resistance to blast, with values ranging from 7.7% to 15% of leaf area diseased and from 14% to 24.07% of panicles diseased. These genotypes recorded the best yields per pot of 60.32g/pot, 65.97g/pot and 60.43g/pot respectively, with relatively low yield losses. Genotypes KBR11, KBR15 and KBR42 were resistant to medium resistance to leaf and panicle blast with high yield performance and relatively low yield loss rates. These genotypes can be used to control rice blast in rice fields in Burkina Faso. They therefore need to be improved and made more widely available. This will require the support of agricultural research, extension services and farm advisory services.

KEYWORDS: *Oryza sativa* L, *Magnaporthe oryzae,* Severity, Incidence, Burkina Faso.

RESUME: Ce travail avait pour objectif d'évaluer en milieu semi-contrôlé le niveau de résistance de douze (12) nouveaux génotypes de riz (KBR2, KBR4, KBR6, KBR8, KBR9, KBR11, KBR12, KBR13, KBR15, KBR17, KBR28, KBR42) vis-à-vis de la pyriculariose du riz causée par *Magnaporthe oryzae* au Burkina Faso*.* Le dispositif expérimental utilisé a été un bloc randomisé à trois (03) répétitions. Les paramètres évalués ont été la sévérité foliaire et paniculaire, l'incidence foliaire et paniculaire, le rendement grains et le pourcentage de perte de rendement. Les résultats ont montré que les génotypes KBR11, KBR15 et KBR42 ont été résistants à moyennement résistants à la pyriculariose avec des valeurs comprises entre 7,7% et 15% de surface foliaire malade puis entre 14% et 24,07% de panicules malades. Ces génotypes ont enregistré les meilleurs rendements grains qui sont respectivement de 60,32g/pot, 65,97g/pot et 60,43g/pot avec des pertes de rendement relativement faibles.
Les génotypes KBR11, KBR15 et KBR42 ont été résistants à moyennement résistants à la pyriculariose foliaire et paniculaire avec des performances de rendement élevées et des taux de pertes de rendement relativement faibles. Ces génotypes peuvent être utilisés comme moyen de lutte variétale contre la pyriculariose du riz dans les rizières au Burkina Faso.

MOTS-CLEFS: *Oryza sativa* L, *Magnaporthe oryzae,* Sévérité, Incidence, Burkina Faso*.*

Corresponding Author: OUATTARA Souleymane

1 INTRODUCTION

La culture du riz occupe une place importante dans la production céréalière au Burkina Faso. Sa production est confrontée à plusieurs contraintes parmi lesquelles les maladies fongiques qui contribuent à la réduction des rendements, augmentent les coûts de production à travers les mesures de lutte et mettent en péril la sécurité alimentaire [1,2]. Parmi ces maladies, la pyriculariose du riz, causée par *Magnaporthe oryzae* et considérée comme la maladie fongique la plus grave, en raison de la nature dévastatrice de ses dégâts, de son large spectre de répartition et de l'extension d'un grand nombre de races physiologiques de l'organisme causal [3,4,5]. Cette maladie qui attaque d'abord le feuillage puis les panicules entraine dans les zones où elle est endémique, des pertes de rendements allant jusqu'à plus de 60% en fonction des conditions édapho-climatiques et de la croissance de la culture [6]. Pour faire face à l'importance grandissante du problème de la pyriculariose, différents moyens de luttes implémentés par les chercheurs ont été conduits, incluant l'utilisation et la gestion des variétés résistantes, la caractérisation de la diversité génétique de la population de *M. oryzae* et la gestion agronomique des systèmes de culture. L'utilisation de variétés résistantes à la pyriculariose est très généralement reconnue comme la méthode de contrôle la plus pratique et la plus économique [7,8]. La création de variétés résistantes est un élément indispensable pour la protection intégrée des cultures contre la pyriculariose. Cependant l'agent pathogène évolue et s'adapte très vite sur les résistances déployées. Le succès de l'amélioration variétale dépend largement de la connaissance détaillée de la variabilité du pouvoir pathogène et de la diversité génétique des populations de *M. oryzae*. Ainsi des surveillances permanentes des populations du pathogène sont nécessaire pour évaluer la durabilité des gènes de résistance déployés et identifier rapidement les souches les plus agressives et virulentes afin de prévoir la dispersion de contournement des résistances [9]. Pour lutter contre cette maladie, de nombreuses méthodes de luttes sont prospectées parmi lesquelles celle utilisant les produits chimiques de synthèse a connu un succès avec l'augmentation des rendements [10]. Cette méthode reste coûteuse et également son utilisation a des répercussions désastreuses sur l'environnement et la santé humaine et animale [11]. La lutte variétale est reconnue comme la moyen de contrôle le plus pratique et le plus économique dans la gestion de la pyriculariose [8]. Notre travail a pour objectif d'évaluer en milieu semi-contrôlé la résistance de douze (12) nouveaux génotypes de riz vis-à-vis de *Magnaporthe oryzae* au Burkina Faso.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 PRÉSENTATION DU SITE D'EXPÉRIMENTATION

L'étude a été réalisée en conditions semi-contrôlées, du 1er Mars au 30 Septembre 2022, à la station de recherche de l'INERA sise à Farako-Bâ, à une dizaine de km au Sud-Ouest de Bobo-Dioulasso. Elle se trouve à une altitude de 405 m avec une latitude Nord de 11°06' et de longitude Ouest 4°20' [12]. Le cumul pluviométrique recueilli à la station de Mars à septembre 2022 était de 1260,4 mm en 59 jours pluvieux. Les sols stérilisés utilisés sont de type ferrugineux tropical à texture sablo-limoneuse, légèrement acide, pauvre en azote et phosphore assimilable [13].

2.2 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal est constitué de 12 variétés de KamBoinsinRiz (KBR) que sont KBR2, KBR4, KBR6, KBR8, KBR9, KBR11, KBR12, KBR13, KBR15, KBR17, KBR28 et KBR42. Il s'agit des variétés intra-spécifiques qui s'adaptent au type de riziculture irriguée et de bas-fond.

2.3 MATÉRIEL FONGIQUE

Le matériel fongique utilisé pour le test de résistance variétale est la souche BF0201 de *Magnaporthe oryzae*. C'est une souche provenant du Burkina Faso isolée à partir des feuilles de riz collectés sur le site de Farakô-Bâ. Le choix de cette souche se justifie par son niveau de virulence [14].

2.4 DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Le dispositif expérimental est un bloc randomisé avec trois répétitions constitué de douze (12) variétés (traitements). Un témoin sensible qui est la TS2 a été utilisé.

2.5 PRÉPARATION DES GRAINES DE RIZ ET REPIQUAGE

Les graines de riz des douze (12) variétés et du témoin ont été désinfectées par trempage dans l'hypochlorite de sodium à 1 % pendant 10 mn, puis rincées rigoureusement trois fois à l'eau distillée stérile. Après séchage sur du papier buvard stérile, les graines sont

placées dans les boites de Pétri de 9 cm de diamètre pendant 24 h [14]. Elles ont été ensuite mises en pré-germination par addition d'eau distillée stérile puis incubées à l'obscurité à une température de 28° C. Trois jours après incubation, les graines pré-germées ont été repiquées dans des pots, préalablement remplis de terreau stérilisé à raison de trois plants par pot répété trois (03) fois.

2.6 PRÉPARATION DU MILIEU DE CULTURE DU CHAMPIGNON

Le milieu de culture a été préparé par prélèvement de 42 g de PDA (Potato Dextrose Agar) ajoutés à 1000 millilitres (ml) d'eau distillée. Ce mélange a été homogénéisé sur une plaque chauffante avant d'être stérilisé à l'autoclave à 120° C pendant 30 minutes. Après refroidissement à une température d'environ 50° C, le milieu obtenu a été coulé sous la hotte, dans 20 boites de Pétri de 9 cm de diamètre chacune, à raison de 25 ml par boite. Une fois solidifié, le milieu a servi à la culture de *Magnaporthr oryzae.*

2.7 PRÉPARATION DE L'INOCULUM ET INOCULATION DES PLANTES DE RIZ

Après sporulation, la surface du milieu de culture a été raclée à l'aide d'un pinceau stérile après ajout de 15 ml d'eau distillée stérile. La suspension sporale obtenue a été agitée pendant 60 secondes à l'aide d'un agitateur puis filtrée à l'aide d'un tamis à mailles fines afin de séparer les spores des débris mycéliens. Après comptage des spores sur une Cellule de Malassez selon la méthode [15], le filtrat obtenu a été ajusté avec de l'eau distillée stérile contenant 0,1 % de gélatine et 0,05% de Tween20 de façon à avoir une concentration finale de 10^5 spores/ml. L'inoculation a été réalisée par pulvérisation de la suspension conidienne sur les feuilles des plantes de riz. Les plants témoins ont été pulvérisés avec de l'eau distillée stérile sans inoculum additionnée de Tween20. Ensuite les plantes ont été incubées pendant 24 heures dans une chambre noire humidifiée avec de l'eau de robinet à l'aide d'un brumisateur.

2.8 LES PARAMÈTRES ÉVALUÉS

Les données collectées après inoculation ont portées sur les paramètres de sévérité et d'incidence foliaire et paniculaire. Le rendement grains et le pourcentage de perte ont été également évalué. Les niveaux de résistance des variétés à la pyriculariose foliaire et paniculaire ont été déterminé à partir des niveaux de sévérité à l'aide de l'échelle de [16] IRRI. Pour l'incidence de la pyriculariose foliaire et paniculaire, nous avons compté le nombre de feuilles et de panicules symptomatiques et le nombre total de feuilles et de panicules. L'incidence a été calculée comme le rapport entre le nombre de feuilles ou de panicules présentant des symptômes et le nombre total de feuilles ou de panicules. Pour la sévérité de la pyriculariose foliaire, nous avons estimé le pourcentage de la surface foliaire affectée par la maladie sur chaque plante. Quant à la sévérité paniculaire, nous avons évalué le degré d'affection paniculaire de l'ensemble des panicules affectées par la maladie [17].

2.9 ANALYSE DES DONNÉES

Les données collectées ont été saisies sur le tableur Microsoft Excel puis analysées avec le logiciel XLSTAT.2016. L'analyse statistique de la variance et la comparaison des moyennes ont été faites au moyen d'ANOVA en utilisant le test de FISHER (LSD) ($p < 0,05$).

3 RESULTATS

3.1 NIVEAU DE SÉVÉRITÉ FOLIAIRE ET PANICULAIRE DES VARIÉTÉS

Les résultats de l'évolution du niveau de sévérité de la pyriculariose foliaire et paniculaire présentés au tableau n°1 montrent une variation progressive du pourcentage de surface foliaire malade et de panicules malade en fonction des variétés. Les résultats de l'analyse de la variance ont montré une différence très hautement significative du niveau de sévérité foliaire et paniculaire entre les variétés au seuil de probabilité de 5%. Ainsi, l'évaluation du niveau de sévérité foliaire de la maladie a montré qu'au 42^{ième} JAI, la KBR2 et la KBR6 ont présenté les niveaux de sévérités les plus élevés (66,67%). La variété KBR17 a enregistré le plus faible pourcentage de surface foliaire malade (2%). Le témoin a enregistré un pourcentage de surface foliaire malade de 71,23%. Les résultats obtenus sur le niveau de sévérité foliaire ont permis de regrouper les variétés de riz en 05 groupes de résistance à la pyriculariose. Quatre variétés en plus du témoin se sont révélées sensibles. Il s'agit de la KBR2, la KBR4, la KBR6 et la KBR13. Deux variétés se sont révélées résistantes (KBR42 et KBR15), une (01) variété a été très résistante (KBR17). La KBR8, la KBR9 et la KBR12 ont été moyennement sensible tandis la KBR11 et la KBR28 se sont montrées moyennement résistantes. Quant à la sévérité paniculaire, les résultats ont montré qu'au 28^{ième} JAE, la KBR4 et la KBR17 ont enregistré les valeurs les plus élevées et se sont montrées sensibles à la pyriculariose paniculaire avec des niveaux de sévérité respectifs de 56,54% et 51,63%. Les variétés KBR12 et KBR42 se sont montrées moyennement résistantes à la maladie avec des valeurs de sévérité respectives de 25% et 14,6%. Les huit (08) autres variétés se sont révélées moyennement sensibles face à la pyriculariose paniculaire. Le au témoin a enregistré un niveau de sévérité de 69,43%.

3.2 INCIDENCE DE LA PYRICULARIOSE FOLIAIRE ET PANICULAIRE

Les résultats de l'évolution de l'incidence de la pyriculariose foliaire et paniculaire sont présentés au tableau n°2. L'analyse de la variance montre une différence très hautement significative entre les variétés au seuil de probabilité de 5%.

Pour l'incidence foliaire, les résultats ont montré qu'au 42ième JAI, les variétés KBR2, KBR6 et KBR12 ont enregistré les pourcentages les plus élevée (83,33% chacune) tandis que la KBR17 a enregistré le plus faible pourcentage avec 16,76% de feuilles malades. Aucune différence significative n'a été enregistrée entre les variétés KBR4, KBR8 et KBR13 puis entre les variétés KBR15 et KBR42. Le témoin a enregistré une incidence foliaire de 91,67%. Quant à l'incidence paniculaire, au 28ième JAE, la variété KBR17 a enregistré l'incidence paniculaire la plus élevée (76,33%) tandis que la KBR12 a enregistré celle la plus faible (33,33%). Aucune différence significative n'a été enregistrée entre les variétés KBR2, KBR4 et KBR6, entre les variétés KBR8, KBR13 et KBR42 puis entre les variétés KBR9 et KBR11. Le témoin a enregistré une incidence paniculaire de 93,68%.

3.3 EFFET DE LA PYRICULARIOSE SUR LE RENDEMENT GRAIN ET LE POURCENTAGE DE PERTES DU RIZ

La figure n°1 présente le rendement grain par pot et le pourcentage de perte au niveau des différentes variétés de riz. L'analyse de la variance montre une différence très hautement significative entre le rendement grains exprimé en gramme par pot (g/pot) et le pourcentage de perte de rendement des différentes variétés. Pour le rendement grain, les meilleures performances ont été enregistrées par les variétés KBR8, KBR11, KBR12, KBR15 et KBR42 avec des valeurs respectives de 60,32g/pot, 65,87g/pot, 63,84g/pot, 64,06g/pot et 60,43g/pot. Les plus faibles rendements grains ont été enregistrés par les variétés KBR2, KBR4, KBR9, KBR17 et KBR28 avec des valeurs respectives de 43,65g/pot, 41,45g/pot, 43,94g/pot, 43,36g/pot et 46,76g/pot. Le témoin a enregistré 31,04g/pot de rendement.

Pour le pourcentage de perte de rendement, la KBR4 a enregistré la perte la plus élevée (22,95%). Par contre la plus faible perte (4,56%) a été enregistrée par la variété KBR15. Le témoin a enregistré un pourcentage de perte de 24,78%.

Tableau 1. Sévérité foliaire et paniculaire de la pyriculariose du riz et niveau de résistance variétale

Variétés	Sévérité foliaire (% SFM)				Sévérité paniculaire (% GAM)		
	07 JAI	**21 JAI**	**42 JAI**	***NR***	**14 JAE**	**28 JAE**	***NR***
KBR2	0,90^{a}	20,00^{ab}	66,70^{ab}	***S***	14,70^{d}	48,88^{bc}	***MS***
KBR4	0,90^{a}	25,00^{a}	58,70^{ab}	***S***	14,48^{d}	56,54^{ab}	***S***
KBR6	0,90^{a}	20,00^{ab}	66,70^{a}b	***S***	8,38^{g}	46,93^{c}	***MS***
KBR8	0,90^{a}	17,70^{ab}	50,00^{bc}	***MS***	11,35^{bef}	24,07^{de}	***MR***
KBR9	0,90^{a}	7,70^{cd}	33,3^{d}	***MS***	10,61^{ef}	34,04^{de}	***MS***
KBR11	0,60^{a}	20,00^{ab}	15,00^{e}	***MR***	9,02^{f}	21,94^{e}	***MR***
KBR12	0,90^{a}	7,00^{cd}	41,70^{cd}	***MS***	5,00^{j}	25,00^{g}	***MR***
KBR13	0,90^{a}	12,70^{bc}	58,30^{b}	***S***	16,63^{cd}	29,17^{f}	***MS***
KBR15	0,30^{a}	1,70^{d}	7,70^{f}	***R***	9,41^{f}	22,25^{f}	***MR***
KBR17	0,50^{a}	1,00^{d}	2,00^{g}	***TR***	22,58^{a}	51,63^{bc}	***S***
KBR28	0,60^{a}	2,30^{d}	15,00^{e}	***MR***	7,51^{h}	31,62^{e}	***MS***
KBR42	0,60^{a}	4,70^{d}	7,70^{f}	***R***	6,50^{i}	14,60^{h}	***MR***
Témoin	0,90^{a}	26,67^{a}	71,23^{a}	***S***	19,87^{b}	69,43^{a}	***S***
Pr > F	**> 0,05**	**< 0,0001**	**< 0,0001**	-	**< 0,0001**	**< 0,0001**	-
Sign	**NS**	**THS**	**THS**	-	**THS**	**THS**	-

SFM = Surface Foliaire Malade, GAM = Grains Affectés par la Maladie, NR = Niveau de Résistance, TR = Très résistant, R = Résistant, MR = Moyennement résistant, MS = Moyennement sensible, S = Sensible. NS: Non Significatif, THS: Très Hautement Significatif. Les valeurs de la même colonne affectées de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de probabilité de 5%.

Tableau 2. Incidence foliaire et paniculaire de la pyriculariose du riz

Variétés	Incidence foliaire			Incidence paniculaire	
	7JAI	21JAI	42JAI	14 JAE	28 JAE
KBR2	33,33^{d}	62,5^{c}	83,33^{bc}	23,81^{c}	66,67^{cd}
KBR4	28,57^{e}	55,56^{d}	75,00^{d}	33,33^{a}	66,87^{cd}
KBR6	40,00^{c}	75,00^{b}	83,33^{bc}	14,29^{e}	61,9^{de}
KBR8	40,00^{c}	75,00^{b}	75,00^{d}	19,05^{d}	42,86^{fg}
KBR9	20,00^{f}	75,00^{b}	81,82^{cd}	9,52^{f}	38,1^{g}
KBR11	28,57^{e}	37,5^{e}	50,00^{f}	14,29^{e}	38,1^{g}
KBR12	43,33^{bc}	75,00^{b}	83,33^{bc}	23,81^{c}	33,33^{h}
KBR13	40,00^{c}	55,56^{d}	75,00^{d}	23,81^{c}	42,86^{fg}
KBR15	20,00^{f}	37,5^{e}	58,33^{e}	28,57^{b}	61,9^{de}
KBR17	4,00^{g}	9,34^{f}	16,76^{h}	33,56^{a}	76,33^{b}
KBR28	33,33^{d}	37,5^{e}	41,67^{g}	28,57^{b}	57,14^{e}
KBR42	40,00^{c}	62,5^{c}	58,33^{e}	14,29^{e}	42,86^{fg}
Témoin	60,00^{a}	87,5^{a}	91,67^{a}	32,67^{a}	93,68^{a}
Pr > F	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Signification	THS	THS	THS	THS	THS

JAI = Jour Après inoculation, JAE = Jour Après Epiaison, Très Hautement Significatif. Les valeurs de la même colonne affectées de la même lettre ne sont pas statistiquement différentes au seuil de probabilité de 5%.

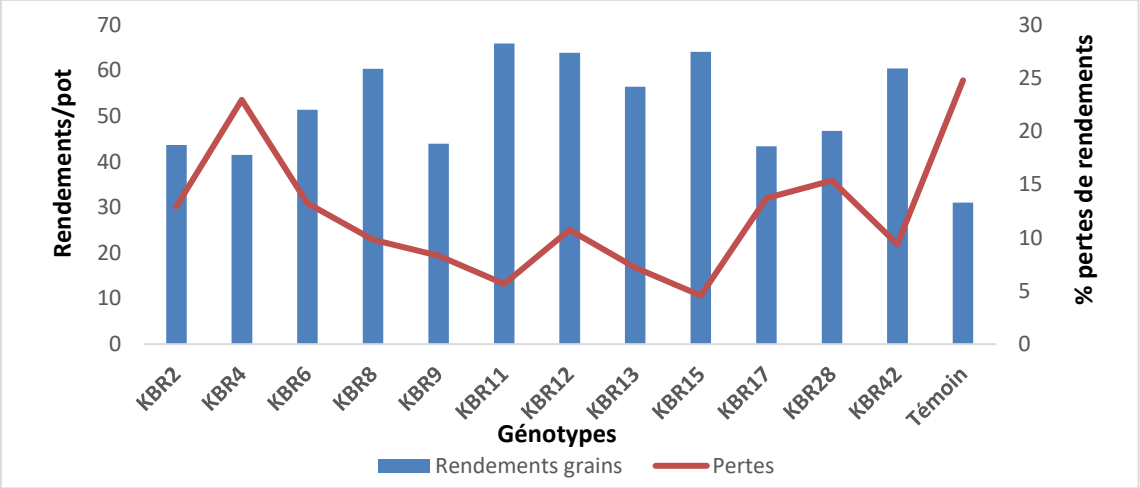


Fig. 1. Rendement grain et pourcentage de pertes des différentes variétés.

4 DISCUSSION

Les résultats ont montré une variation du niveau de sévérité et de l'incidence foliaire et paniculaire entre les différentes variétés de riz. Pour la sévérité foliaire, les variétés KBR2, KBR4, KBR6 et KBR13 se sont montrées sensibles et les variétés KBR8, KBR9 et KBR12 ont été moyennement sensible. Les variétés KBR42, KBR15, KBR11 et la KBR28 ont été résistantes à moyennement résistantes à la maladie alors que variété KBR17 a été très résistante. Quant à la sévérité paniculaire, la KBR4 et la KBR17 se sont montré sensible. Les variétés KBR12 et KBR42 ont été moyennement résistantes à la maladie. Les huit (08) autres variétés se sont révélées moyennement sensibles face à la pyriculariose paniculaire. Les travaux ont montré que certaines variétés ont été résistantes à la pyriculariose foliaire et sensibles à la pyriculariose paniculaire. Cette différence de réaction peut être soutenue par l'hypothèse selon laquelle le gène de résistance à la pyriculariose foliaire est différent du gène de résistance à la pyriculariose du cou. Cette différence de comportement de la même plante de riz face à la pyriculariose foliaire et de la pyriculariose du cou a été rapportée dans les travaux de [18,19]. Les travaux réalisés par [14] ont révélé une différence de comportement des génotypes étudiés entre eux et entre sites vis-à-vis de la pyriculariose foliaire en conditions de pression naturelle de maladie au champ. Chez les génotypes classés comme résistants, la tolérance pourrait être due à l'expression d'une résistance de type horizontal ou partiel qui est polygénique [20]. En outre, le caractère résistant des variétés pourrait

être lié au fait qu'elles soient pourvues de gène capable de freiner ou de diminuer le développement de la maladie lors de l'infection [21]. Cette variabilité observée dans le comportement des variétés peut être attribuée aux interactions génotypiques hôte-parasite [22,23]. La variabilité du comportement des variétés vis-à-vis du pathogène met en relation la capacité intrinsèque de chaque variété d'une part et l'interaction entres les molécules du parasite et de son hôte d'autre part [24]. Selon [25], plus les génotypes sont sensibles, plus ils sont dépourvus de gènes de résistance capables de ralentir le développement de l'infection traduisant ainsi une apparition importante de symptômes sur les feuilles qui provoquent un retard dans la croissance du plant de riz et par la suite, la contamination des grains [26].

Les travaux de [27,28], dans le cadre de l'évaluation de la résistance de variétés élites de riz vis-à-vis à *Xanthomonas oryzae* pv. *Oryzae (Xoo)* et *Xanthomonas oryzae* pv. *Oryzicola (Xoc)* ont indiqué que les variétés résistantes aux *Xoo* et *Xoc* possèdent un fond génétique *Japonica* et la sensibilité des autres variétés serait liée à l'absence de gène de résistance contre les deux pathogènes.

De faibles pertes de rendement et de meilleurs poids de milles grains ont été enregistrés chez les génotypes qui ont présenté les plus hauts niveaux de tolérance avec moins de surfaces foliaires infectées, à savoir la KBR8, la KBR11, la KBR12, la KBR15 et la KBR42. Les pertes élevées de rendements au niveau des autres variétés peuvent s'expliquer par leur niveau de sensibilité vis-à-vis du champignon. Ces résultats soutiennent ceux de [29] selon lesquels l'impact de la maladie sur le rendement dépend non seulement de l'intensité des dégâts, mais aussi de la nature des organes touchés et de la période à laquelle l'attaque intervient [30]. Des travaux similaires réalisés par [31] sur l'helminthosporiose, ont montré des pertes de rendements variant de 20,35 % à 56,49 % induites par la maladie sur les génotypes. Selon [32], plus la surface foliaire est endommagée par la maladie, plus le nombre de grains solides diminue. Ces faibles pertes de rendement pourraient s'expliquer par le fait que ces génotypes ont une forte activité photosynthétique leur permettant de synthétiser les hydrates de carbone nécessaires au remplissage du grain [33].

5 CONCLUSION

Cette étude qui avait pour objectif d'évaluer le niveau de résistance de douze (12) génotype de riz vis-à-vis de la pyriculariose du riz a permis de révéler que les génotypes KBR11, KBR15 et KBR42 ont été résistants à moyennement résistants à la pyriculariose foliaire et paniculaire avec des performances de rendement élevées et des taux de pertes de rendement relativement faibles. Ces génotypes peuvent recommandés aux producteurs à être utilisés comme moyen de lutte variétale contre la pyriculariose du riz dans les rizières au Burkina Faso. Cependant, ils doivent être davantage améliorés pour être vulgarisés. Cela nécessite le concours de la recherche agricole, les services de vulgarisation et d'appui-conseil agricole.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé grâce aux soutiens du laboratoire de phytopathologie de l'INERA/Farako-Ba, du Laboratoire du Département Substances Naturelles de l'IRSAT/Kossodo, et de l'équipe de Phytopathologie et Mycologie Tropicale (PMTrop) du Laboratoire Biosciences.

REFERENCES

[1] A. I. Kassankogno, A. Saibou, I. Ouedraogo, K. E. Kpemoua, A. Nana, L. Ouedraogo. and P. Sankara. Morphological and phenotypic characteristics of *Magnaporthe grisea* isolates from Burkina Faso and Togo. *Afrique SCIENCE,* 11 (4) 361-377, 2015.

[2] F.Yang, J. Zhang, H. Zhang, G. Ji, L. Zeng, Y. Li, C. Yu, W.G.D. Fernando and W. Chen. Bacterial Blight Induced Shifts in Endophytic Microbiome of Rice Leaves and the Enrichment of 223 Specific Bacterial Strains With Pathogen Antagonism. *Frontiers in Plant Science,* 11,963, 2020. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00963.

[3] B.C. Couch. and L.M. Koh. A multilocus gene genealogy concordant with host preference indicates segregation of a new species, Magnaporthe oryzae, from M. grisea. Mycologia 94, 683-693, 2002.

[4] L. Dong, S. Liu, M.S. Kyaing, P. Xu, D. Tharreau, W. Deng, X. Li, Y. Bi, L. Zeng, J. Li, J. Zhou, D. Tao and Q. Yang. Identification and Fine Mapping of Pi69 (t), a New Gene Conferring Broad- 210 Spectrum Resistance Against Magnaporthe oryzae From Oryza glaberrima Steud. Frontiers in Plant Science, 11, 1190, 2020. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01190.

[5] C.A. Deepak, K.P. Mothukapalli, BM. Hirehally, C. Chethana, P. Devanna, S. Nagaraj Banakar, H. Basavegowda Manojkumar and S. Rajendra Prasad. Rice Blast Disease in India: Present Status and Future Challenges. In M. Huang (Éd.), Integrative Advances in Rice Research. IntechOpen, 2022. https://doi.org/10.5772/intechopen.98847.

[6] K.N. Mobambo, L. Baboy, B. Ruhigwa et T. Loma. Réactions de quelques varieties de riz à la pyriculariose à Yangambi – Zaïre. TROPICULTURA, 12, 1, 22-24, 1994.

[7] G.N. Agrios, Plant diseases caused by fungi (Plant Pathology). Elsevier Academic press. pp: 386-593, 2005.

[8] J.P. Suh, J.H. Roh, Y.C. Cho, S. Han, Y.G. Kim and K.K. Jena. The Pi40 gene for durable resistance to rice blast and molecular analysis of Pi40-advanced backcross breeding lines. Phytopathology 99: 243-250, 2009.
[9] P. Sakmnioti and S.J. Gurr. Against the grain: safeguarding rice from rice blast disease. Trends in Biotechnology 27 (3), 141-150, 2009.
[10] Y.O. Nunez, I.S. Salabarria, I.G. Collado et R. Hernandez-Galan. The antifungal activity of widdrol and its biotransformation by *Colletotrichum gloeosporioides* (penz) Penz. & Sacc. and *Botrytis cinerea* Pers. Fr. *Journal. Agriculture. Food Chemistry*. 54: 7517–7521, 2006.
[11] P. Deguinej et P. Ferron. Protection des cultures, préservation de la biodiversité, respect de l'environnement. *CahiersAgricultures,* 15, 3: 307-311, 2006.
[12] S. Guinko. Végétation de Haute Volta. Thèse de Doctorat d'état, Université de Bordeaux III (France), 145 p. 1984.
[13] S. Nacro, S. Ouedraogo, K. Traoré, E. Sankara, C. Kaboré et B. Ouattara. Effets comparés des pratiques paysannes et des bonnes pratiques agricoles de gestion de la fertilité des sols sur les propriétés des sols et les rendements des cultures dans la zone sud soudanienne du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci*., 4 (4) 1044 – 1055, 2010.
[14] A.I. Kassankogno. Diversité génétique, pathologique de *Magnaporthe oryzae* (Couch), agent de la pyriculariose du riz au Burkina Faso et au Togo et méthodes de gestion durable de la maladie. Thèse de doctorat. Sciences biologiques appliquées. Phytopathologie. 198p. 2016.
[15] M. Benabderrahmane, M. Benali, H. Aouissat, et M.J. Jordn Bueso. Activité.
[16] IRRI. Standard evaluation system for rice. Philippines: International Rice Research Institute, *Manila, Philippines,* 56 p. 2002.
[17] D. Diagne. Biologie et génétique des populations de *Pyricularia oryzae* pour le contrôle de la pyriculariose du riz au Mali. Sciences agricoles. Université Montpellier, Français.157p. 2021.
[18] A. Bouet. Contribution à la lutte contre la pyriculariose, maladie fongique du riz: *Oryza sativa* L. (Poaceae) en Côte d'Ivoire: caractéristiques de la population de l'agent pathogène: *Magnaporthe grisea* (Hebert) Barr (Ascomycetaceae) et méthodes d'évaluation variétale pour la résistance à la pyriculariose foliaire et à la pyriculariose du cou. Thèse de doctorat unique, Université de Cocody-Abidjan, 122p. 2008.
[19] A. Bouet, M. Vales et Z.J. Keli. Evaluation de la résistance de variétés de riz (Oryza sp.) à la pyriculariose du cou au champ. Agronomie Africaine 18 (2): 165-173, 2006.
[20] J.E. Van Der Plank. Résistance des plantes aux maladies. Academic press Inc., New York and London. 206pp. 1968.
[21] J. Abadassi. Etude de la résistance spécifique à la pyriculariose (*Pyricularia oryzae* Cav.) de quelques variétés de riz (*Oryza sativa* L.). Mémoire DEA: Amélioration des plantes: Université de Rennes I. 55 p. 1989.
[22] F. Bouslim, B. Ennaffah, A. Ouazzani Touhami, A. Douira et N. El Haloui. Pathogénie.
[23] comparée de quelques isolats marocains d' Helminthosporium oryzae vis-à-vis de certaines variétés de riz (*Oryza sativa*). Al Awamia 98-septembre 1991, 47-56, 1997.
[24] A. Bouet, N.A. Gbedie, A. Boka et N. Kouassi. Evaluation des variétés de riz prometteuses pour la résistance à quelques contraintes biotiques majeures et pour leurs performances agronomiques en Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 9 (4): 2041-2056, 2015. doi.org/10.4314/ijbcs.v9i4.27.
[25] A.I. Kassankogno, G. Sidibé, A.K. Guigma, C.B. Nikiéma, A. Nana et K. Koïta. Caractérisation des symptômes foliaires et évaluation du pouvoir pathogène de quelques isolats de *Curvularia lunata* sur trois variétés de riz (*Oryza sativa L*) produites au Burkina Faso. *Afrique SCIENCE* 19 (4) (2021) 106 – 117, 2021.
[26] H. Sato, I. Andom, H. Hirabayashi, Y. Takeuchi, S. Arase, J. Kihara, H. Kato, T. Imbe and H. Nemoto. QTL analysis of brown spot resistance in rice (Oryza sativa L.). Breeding Science 58: 93- 96, 2008. https://doi.org/10.1270/jsbbs.58.93.
[27] I. Ouedraogo. Incidence de l'helminthosporiose du riz au Burkina Faso et caractérisation des populations de l'agent pathogène [Bipolaris oryzae (Breda de Haan) Shoemaker]. Université de Ouagadougou. 150p, 2008. http://toubkal.imist. ma/handle/123456789/1228.
[28] I. Wonni, M. Hutin, L. Ouédrago, I. Somda, V. Verdier. Evaluation of Elite Rice Varieties Unmasks New Sources of Bacterial Blight and Leaf Streak Resistance *for Africa. J. Rice Res*., 4: 162. 2016. DOI: http://doi.org/10.4172/2375- 4338.1000162.
[29] A.K. Konaté, S. Zougrana, S. Koné et I. Wonni. Evaluation des performances agronomiques des variétés de riz aromatiques au Burkina Faso. Int. J. Biol. Chem. Sci. 16 (1): 42-53, 2022.
[30] A. Ouazzani Touhami. Etude des relations entre différents champignons foliaires du riz: virulence, interactions compétitives, contamination et mesures de lutte biologique et chimique. Thèse d'Etat es-Sciences, Faculté des Sciences, Université Ibn Tofaïl, Kénitra, 183 p, 2001.
[31] A.J. Gnago, K.T. Kouadio, V.E. Tia, A.P. Kodro, A.V. Goulivas. Évaluation de deux variétés de riz (CK73 et CK90) à la Toxicité Ferreuse et à quelques contraintes biotiques à Yamoussoukro (Côte d'Ivoire). *Journal of Applied Biosciences* 112: 11035-11044, 2017.
[32] A. Bouet, A. Boka, A.K. Siapo et O.D. Dogbo. Evaluation des réactions des nouveaux génotypes du riz à l'helminthosporiose (*Bipolaris oryzae*) en côte d'ivoire. *African Crop Science Journal,* Vol. 30, No. 4, pp. 405 – 414, 2022.
[33] L.S. Gnancadja-André, S. Hannin, A.T. Ouazzani, A. Badoc et A. Douira. Impact de la mycoflore de la feuille paniculaire du riz sur le rendement en grains. Bulletin- Société de Pharmacie de Bordeaux 144: 225-236, 2005.
[34] A.M. Sarah. Potentiel de détection par fluorescences induites par UV et effets sur la photosynthèse des acides jasmonique, salicylique et benzothiadiazole. Université du Québec à trois-rivières. Canada. 167p, 2004.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1230-1239
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

ICT use by the Life and Earth Sciences subject teachers of regional academies of education and training of Rabat-Salé-Kenitra in Morocco before and during the Covid-19 epidemic

H. Labioui[1], F. Guerss[2], S. Moqqaddem[2], L. Hafdi Idrissi[3], R. Touir[4], and M. Chahboune[5]

[1]Laboratory of Biotechnology, Environment and Quality, Faculty of Sciences, Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco

[2]Computer Research Laboratory, Faculty of Sciences, Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco

[3]Didactic Laboratory, Languages, Media and Dramaturgy - ESEF, Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco

[4]Regional Center for Education and Training Professions, Kenitra, Morocco

[5]Laboratory of Biology and Health, Department of Biology, Faculty of Sciences, Ibn Tofail University, Kénitra, Morocco

Copyright © 2023 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: Generally, the technological development has made a great advance in the teaching/learning act even in life. The inclusion of information and communication technology (ICT) in education, as an initiation of a technical process and educational innovation, can lead to changes in teaching/learning practices.

In order to carry out this current study, we adapted the scientific method most recommended in the literature; deductive method, which makes it possible to follow the ICT use by the Life and Earth Sciences (LES) subject teacher at qualification secondary schools. Thus, the used questionnaire was produced and validated by experts, and it was published in Google drive and Facebook groups (LES- teachers), and it was completed by seventy-five (75) LES teachers during the school year 2019-2020. This process comprised more than twenty questions and divided into five sections. It is obtained that the majority of LES teachers have a computer and a personal internet connection, where55% of them integrate ICT in their classes for the lessons form, 23% in the tutorials form, and 35 % in the training exercises. In addition, it is noticed that 54 %of LES teachers use a projector (data show) as a classic method of the ICT use in the learning construction, a portion of 37% use interactive videos, and 9% use the interactive whiteboard.

On the other hand, the teachers questioned believed that the main obstacles to their educational practices relate to the ICT infrastructure, and that 61% of them during the teaching training did not follow courses relating to specifically on the educational use of the computer, with an insufficient number of computers connected to the Internet (10%), the absence of educational software (73%). For educational content adapted to school programs, the results obtained (13%), as well as the absence of educational meetings between teachers, inspectors and stakeholders around the digital resources use (67%), and lack of professional training for the realization of the educational scenarios. According to these results, the Moroccan education system must be based on a timely and thoughtful approach through the development of organizational and technological infrastructure, and to provide a training plan, support for teachers for the production and the integration of digital resources in learning situations in order to improve our education system quality.

KEYWORDS: ICT, Technology use, LES teachers, Learning, Learners.

Corresponding Author: H. Labioui

1 INTRODUCTION

Information and communications technologies (ICT) can raise the performance of a range of non-instructional teacher activities, such as student attendance, grading, textbook distribution and preparing administrative reports [1]. ICT also aids teachers be more active instructors, especially if they are well encouraged and reinforced [2], [3]. ICT enhances the productivity of basic instructional tasks, such as preparing lesson plans and class outlines, developing quizzes and examinations, and writing up comments on student papers and reports [4]. More advanced presentations contain fast identification of educational resources, including digital materials and collaborative projects.

In this sense, Morocco, like all developing countries, has understood the importance of the use and integration of ICT in its education system. For this, many schools have benefited from the equipment of Multimedia rooms, many training sessions were organized for the benefit of education stakeholders and several initiatives aimed at strengthening the use of ICT in education were taken. However, research in the field of ICT showed that its use is still very slow [5]. Thus, it seemed very important to us to question this situation and extremely opportune to lead, through this study, a reflection on the different uses of ICT really existing in the Moroccan education system as well as on the obstacles, which hinder these uses.

However, this text is limited to the presentation and analysis of data expressing the attitudes of qualification secondary teachers against the ICT integration in the education and teaching professions. In order to facilitate learning among learners, this explains the importance of the production and development of digital resources for learners to improve their skills [6].

As a result, the LES teachers, like all teachers, have one purpose: To train minds and transmit knowledge to understand the formative value of sciences subject teaching. Therefore, it seems interesting to follow the intellectual approaches of physicists, didacticians and computer scientists; and to consider at the same time the profile that learners can derive from the knowledge of certain procedures or application. This statement should encourage teachers to resort to ICT in order to keep this teaching its particular character. Given the importance of ICT and to encourage teachers and push them to use these digital resources, they must be presented within the framework of pedagogical scenarios, that respect the skills of teachers against technology and pace individual learner, learner participation, content structuring, perception and organization of messages, choice of teaching methods and learner motivation [7].

In fact, within the framework of independent work, learners realize the various concepts seen in class by using a digital resource, so they can assess themselves at a distance. This resource is designed to provide specific help with difficulties, in addition, learners improve and verify their knowledge through diagnostic, formative and then summative assessment [8].

In order to exercise the teaching profession, most teachers try to adapt a teaching and learning method, so as to minimize physical and moral effort and increase the ability to acquire knowledge by the learner. For this reason, our work focuses on digital educational resources, despite the obstacles that hinder its use based on the process of learner self-training, which involves the following skills:

- Acquire methodological knowledge and know-how in order to plan the training.
- Define the need, manage the progress, and plan the working time according to the objectives and activities to be carried out.
- In addition, the self-training skill requires mastery of the use of a digital environment and the information into knowledge transformation (cognitive skill) in the learning environment.

2 METHODOLOGY

In order to achieve the objectives of this study, the researcher used the descriptive analytical method; the exploratory study aims to follow the use of ICT by LES teachers. The necessary data was obtained by using a prepared questionnaire analyzed by researchers. To analyze the problem posed and build a source of information complementary to the questionnaire, an interview was developed.

2.1 DATA COLLECTION

Data collection was carried out by means of anonymous questionnaires distributed to several LES teachers from qualification secondary schools in several Moroccan cities belonging to AREF Rabat Salè, Kènitra. Thus, the study sample was randomly selected from the study population by proceeding as follows: Implement the questionnaire form in Google Drive; publication of the questionnaire link in the “prof-SVT” Facebook pages and groups about Moroccan education; organization of meetings on a "zoom" platform with several LES teachers to answer interview questions.

2.2 QUESTIONNAIRE DESCRIPTION

To achieve the intended objective, we have adapted the methodology, which can include / mix / combine the collection of quantitative, qualitative data and tools. These have been developed to collect comments and information about the subject. As a methodological tool for our research, we have developed a questionnaire addressed to seventy-five (75) teachers' LES during 2019/2020 school year, in qualification secondary schools before and after Covid-19 pandemic. The objectives of this questionnaire were to highlight the use or not of ICT in learning of LES sciences, to determine the methodology suitable type for this use and to highlight the difficulties encountered by teachers. Table 1shows the distribution of the questions number according to the questionnaire axes.

Table 1. Distribution of the questions number according to the questionnaire axes.

Axis Number of questions Personal use of ICT	5
ICT use with pupils	5
Obstacles to the ICT use	9
Levers to enable the ICT use	5

3 RESULTS

3.1 PRESENTATION OF THE OVERALL SURVEY POPULATION

The information collected according to the questionnaire criteria showed that more than 75 LES teachers are spread over several towns in the Rabat-Salé-Kénitra region of Morocco, namely: Kénitra, Tiflet, Sidi Slimane, Rabat, Témara, salé, Sidi Kacem, and Khémisset. Table 2 indicated that a half of the sample is located between the age of 20 to 30 years, a 25% who are between 31 and 40 years, 17% for the 41 to 50 years and 8% only for teachers over 50. So, the studied sample was composed from 65 % masculine and 35 % feminine. In addition, it is noticed that 95 % of teachers have a personal computer, where 86.5 % of them have an internet connection. It is noted also that 70 % of LES teachers use the ICT despite the lack of professional training in this area.

Table 2. Breakdown of the overall sample.

Global population	Modality	Percentage (%)
Age range	20 - 30 years	50
	31 - 40 years	25
	41 - 50 years	17
	More than50 years	8
Sex	Feminine	35
	Masculine	65
Own a personal computer	Yes	95
	No	5
Have a personal internet connection	Yes	86.5
	No	13.5
Using ICT	Yes	70
	No	30

3.2 PERSONAL USE OF ICT

As indicated above and mentioned in Table 3, the vast majority of teachers have a computer (95%) and a personal internet connection (86.6%). It is seen that that more than half of teachers are occasional users of ICT tools (59%), against 20.5% are beginners and 20.5% are frequent users. On the other hand, it is obtained that 97.4 % of teachers use the documents found on the Internet with a very high rate, and 61% of teachers have taken courses specifically on the pedagogical use of the computer during teacher training.

Table 3. Breakdown of the overall sample according to personal ICT use.

	Modality	Percentage (%)
Own a personal computer	Yes	95
	No	5
Have a personal internet connection	Yes	86.6
	No	13.4
take courses specifically on the educational use of the computer,	Yes	39
	No	61
Frequency of use of computer tools	Beginner	20.5
	Casual user	59
	Frequent user	20.5
Use documents found on the Internet	Yes	97.4
	No	2.6

Therefore, we focus on the mastery rate of applications in the discipline of school learning of teachers, it is found that a high rate approaches 90% of teachers, whose level allows them to master word processing software (Microsoft Word, etc.), presentation software (Microsoft PowerPoint, etc.), transformation of data by e-mails and / or social communication tools (Gmail, Hotmail, Yahoo, Facebook, Watts App, etc.) and Internet browsing (Mozilla Firefox, Google Chrome, Opera, etc.) have a good or medium level. In addition, it is obtained that 18.40% of teachers have a good level in the practice of Spreadsheet (Microsoft Excel, etc.), and opposite this tool 50% for an average level against 23.70% have a beginner level and 7.90 % without level. It is found also that about 50% of teachers have an average or good command of digital camera or digital video camera.

3.3 MASTERY DEGREE OF THE TEACHERS IN CERTAIN APPLICATIONS

Table 4 represents the mastery degree of the teachers in certain applications. It is noticed that nearly 90% of teachers master the word processing software (Microsoft Word, etc.), presentation software (Microsoft PowerPoint, etc.), and data transformations by electronic mail and/or social communication tools (Gmail, Hotmail, Yahoo, Facebook, Watts App, etc.). Indeed, 64 % of LES teachers master Internet browsing (Mozilla Firefox, Google Chrome, Opera, etc.). in addition, more than 18.40% of teachers have a good level of mastery of the Spreadsheet (Microsoft Excel, etc.), and that faced with this tool 50% for an average level against 23.70% beginner level and 7.90% never use it.

Table 4. Mastery degree of teachers in certain applications.

	Well (%)	Way (%)	Beginner (%)	No one (%)
Word processing (Microsoft Word, etc.)	43.60	46.20	10.00	0.00
Presentation software (Microsoft PowerPoint, etc.)	41.00	43.60	15.40	0.00
Spreadsheet (Microsoft Excel, etc.)	18.40	50.00	23.70	7.90
Email and social communication tools	44.70	47.40	7.90	0.00
Internet browsing	64.10	30.80	5.10	0.00
Digital camera	23.70	36.80	18.40	21.10
Digital video camera	17.90	41.00	12.80	28.20

3.4 ICT USE WITH STUDENTS

Such as indicated in the above, the integration of ICT as a teaching aid in the construction of learning can make it more active and effective. Figure 1 shows the percentage of certain methods of ICT used by LES teachers with students. It is seen that the majority of teachers use ICT with their students by 70% in class, 41.4% between five and ten times a year and 58.6% more than ten times a year. All teachers state that the classroom is the first place for ICT use, then the computer room (multimedia rooms) for 3.1% and the 3.1% using other places.

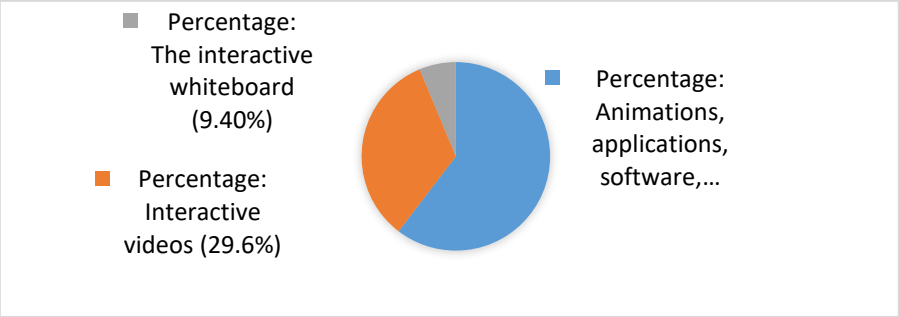


Fig. 1. Percentage of certain methods of using ICT

It is noticed from Figure 1, that the projector (data show) is the most widely used method of using ICTs by LES teachers for the learning construction, 29.6 % of teachers use interactive videos, and 9.4% of them use interactive whiteboards.

However, Figure 2 represents the percentage of teachers integrating ICT for learning construction. It is seen that 55 % of LES teachers integrate ICT in their classes for lessons construction, 23 % of teachers for the tutorials form, 17% of teachers for the research activities form, and 35% of them for the training exercises form.

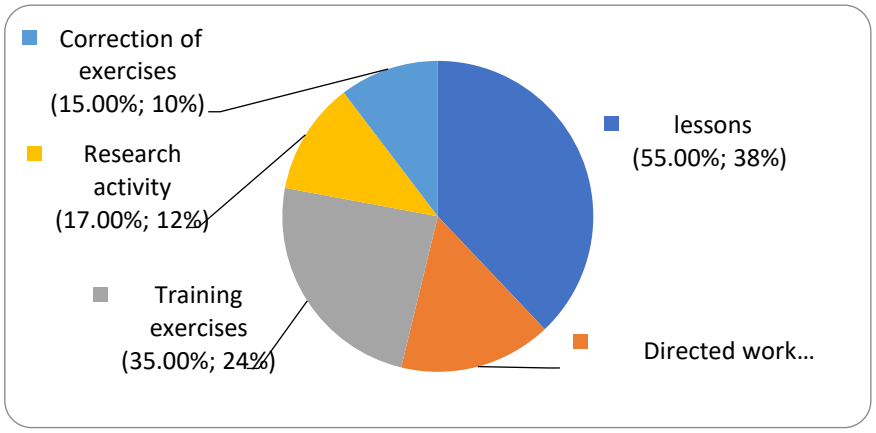


Fig. 2. Percentage of teachers integrating certain types of ICT

On the other hand, for more detailed the impact for using ICT for Moroccan education system, Table 5 shows the percentage of LES teachers used some software in their classroom. A global look at the percentages of the use of some software in the classroom in different academic learning disciplines, it is seen that the majority of the population integrates word processing (Microsoft Word, etc.), presentation software (Microsoft PowerPoint, etc.), Animations, simulations, Spreadsheet (Microsoft Excel, etc.), and audiovisual documents in their sequence on a regular or occasional basis. It is noticed also the presence of formation and production of Virtual laboratory software containing audiovisual documents... In addition, it is obtained that a large part of the population does not use the production of audiovisual material by analog devices like: camcorder, digital camera, or tape recorder, which is surprising in the case of educational.

Table 5. Percentages of LES teachers use some software in class

	Regularly (%)	Occasionally (%)	Rarely (%)	Never (%)
Word processing (Microsoft word, etc.)	12.50	71.90	12.50	3.10
Presentation software (Microsoft PowerPoint, etc.)	59.40	31.30	6.20	3.10
Spreadsheet (Microsoft excel, etc.)	6.30	37.90	28.10	28.10
Animations, simulations...	37.50	59.40	3.10	0
Virtual laboratory software	27.60	37.90	10.50	24.10
Video playback and processing software	28.10	37.50	15.60	18.80
Use of audiovisual documents	9.40	68.80	9.40	12.50
Production of audiovisual documents	3.10	25	34.40	37.50

3.5 USE OF EDUCATIONAL PLATFORMS BY TEACHERS AND LEARNERS DURING THE COVID-19 PANDEMIC

During COVID19 pandemic, the statistical results of the data, presented in Figure 4, showed that most LES teachers use youtube with a percentage of 58%, 55% of teachers use social networks, and almost half of them use the connection in the news source (research on Google and the page to benefit from and study the courses and the exercises). In addition, it is noticed that only 25% of teachers use email, and 77 % of them use whatsApp application to facilitate communication and documentation sharing tasks with learners.

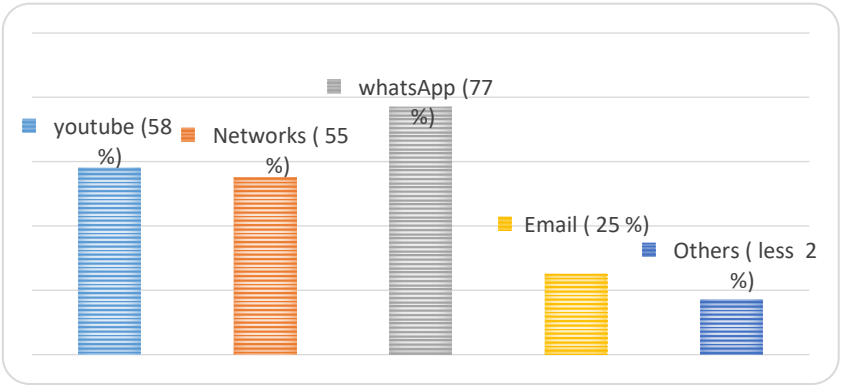


Fig. 3. The use of educational platforms by teachers and learners

3.6 THE BRAKES ON THE ICT USE BEFORE AND DURING COVID-19 PANDEMIC

It is known that the several obstacles to the ICT use are: equipment, location, digital resources, training, etc. Figures 5 and 6 represent some obstacles for the use of ICT by LES by teachers. It is noticed firstly that among the obstacles of the digital resource that obstruct teachers are the ICT use because it requires too much time for preparation. In fact, Figures revealed that 42.5%of teachers agree, 22.5% tend to agree, 12.5% of them tend to disagree, and 22.5%of teachers disagree. On the other hand, it is remarked that 29% of teachers who rely on the platform using the link " www.taalimtice.ma" to download all digital resources, while 71% of them use other sources of digital resources that required more skills and time.

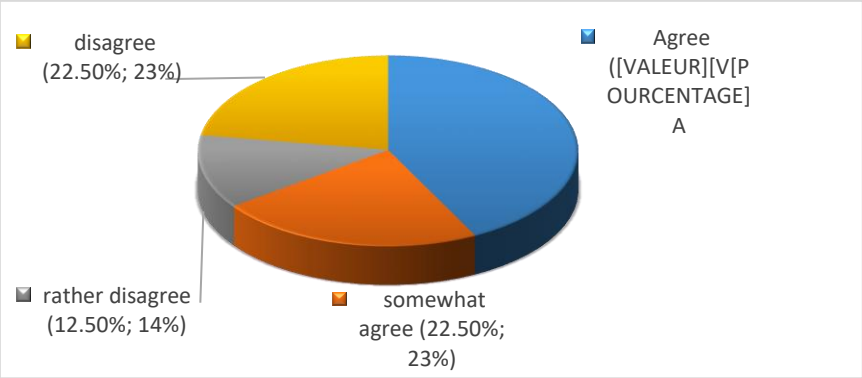


Fig. 4. Degree of agreement that the ICT use requires too much preparation time

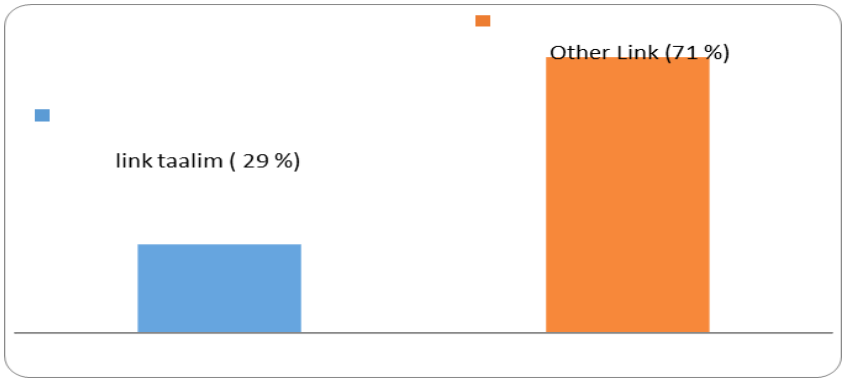


Fig. 5. Source for download of digital resources

On the second study, Figure 7 shows the degree of agreement of teachers according to the material and local obstacles to the ICT use. It is noted among the material and local obstacles which slow down the teachers are the lack of ICT equipment in the establishment, its non-reliability, and there is also the risk of breakdown in the presence of students. It is also noticed that almost half of the class to use ICT, and the huge problem which hinders its use is the lack of sufficiently free computer rooms.

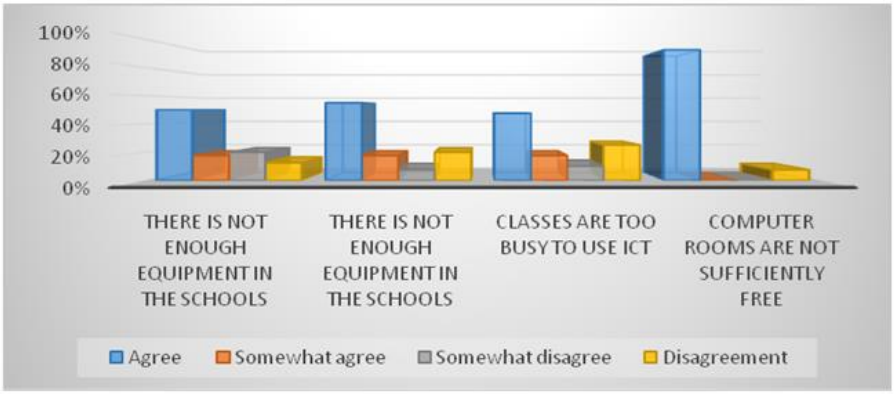


Fig. 6. Degree of agreement of teachers according to the material and local obstacles to the ICT use

However, Figure 8 represents the degree of agreement of teachers according to the training obstacles for the ICT use. So, the third remark on the formative obstacles for the ICT use: despite the fact that 59% of teachers took specific courses on the pedagogical use of the computer during their teacher training. It is seen that the majority agree (over 81.5%) that there are not enough multimedia rooms for the ICT use, which leads them to tinker during the realization of the lessons. In addition, it is noticed that most of the teachers declare that without a computer scientist attached in the establishment the use is not possible.

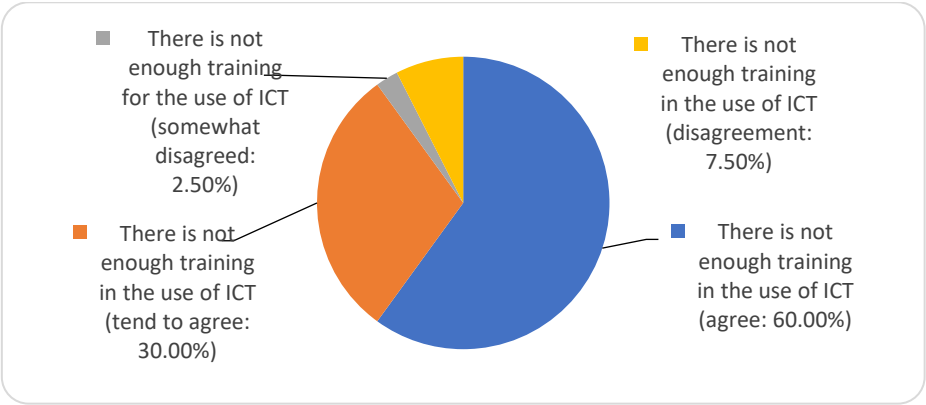


Fig. 7. Degree of agreement of teachers according to the training obstacles for the ICT use

Fourthly, there is also another obstacle on the ICT use, which is related to the attitudes of teachers. In fact, Table 6 represents the opinion of teachers on the role of the ICT use. It is found that the majority of teachers (67.5 %) disagrees that the using of ICT is a waste of time. It is remarked also that two thirds of teachers disagree that the usefulness of ICT for teaching is not proven. In addition, almost the same attitudes state that the use of ICT does not make students work.

Table 6. Opinion of teachers on the role of the ICT use

	Agree (%)	Somewhat agree (%)	Somewhat disagree (%)	Disagree (%)
Using ICT is a waste of time.	22.50	2.50	7.50	67.50
The usefulness of ICT for education is not proven.	17.50	17.50	17.50	47.50
The use of ICT does not make students work.	30	12.50	17.50	40

3.7 LEVERS TO ALLOW THE ICT USE AS LEARNING TOOLS

Table 7 expresses the degree of agreement and disagreement with the levers to allow the use of ICT. It is seen that the majority of LES teachers confirm the need to have a video projector in their classroom, which becomes a condition essential for the use of ICT. In addition, it is remarked that the most of teachers confirm that teamwork is favored for the use of ICT (and vice versa) and allows (teamwork) a better motivation of the students, and to vary the activity.

Table 7. Levers to allow the use of ICT

	Agree (%)	Somewhat agree (%)	Somewhat disagree (%)	Disagree (%)
Having a video projector in your classroom is an essential condition for using ICT	85	10	0	5
Teamwork promotes the use of ICT (and vice versa)	70	17.50	2.50	10
The ICT allow a better motivation of the students, to vary the activities	77.50	17.50	2	3
Without local technical assistance for the use of ICT, the use is not possible	52.50	20	5	22.50

4 DISCUSSION

The integration of ICT consists, first of all, in removing the obstacles to change in teaching practices, in particular by involving individuals in a dynamic of change by adopting the project-based approach to accelerate the informatics technology use of equipment and digital resources made available to students and teachers. In this regard, schools need more freedom and

autonomy to manage resources and constraints wisely. It would henceforth be necessary to think of planning at the local level, of moral and material recognition, of the achievements evaluation (by sanctioning successes and failures) by the councils and bodies concerned.

To do this, the commitments of the Regional Academies of Education and Training (RAET) and the adhesion of the delegations to the GENIE Program as well as its appropriation by the schools remain undoubtedly the real guarantee for the success of the pedagogical integration of ICT [9].

Teachers are not yet ready to use computers in their classroom. All they think about is that they have to finish the program, using the computer every now, and then may take them away from their lessons.

However, they suggested that when using computers in LES class, the teacher should assist the learner without pretending to do so. They were all unanimous in affirming that before any use of this tool, training of the teaching staff is essential. There should be no gap between the achievements that a learner can have and that of his teacher. This is where the fear of teachers lies.

The integration of ICT poses a difficult question for schools. Most teachers do not consider this question to be easy, let alone solved. All agree that the development of the ICT uses requires adjustments in the establishments organization, which are not without effect on teaching practices [10].

In addition, most of the teachers surveyed have more than ten years of teaching experience. This implies that at the beginning they did not have computer equipment. They had an overhead projector at their disposal which they rarely used. Under pressure from their administrative and even educational supervision, they had to hurry in order to be on time and complete the program on time. In the collective representations, it does not find any idea on the Pedagogical Guide for the integration of ICT. No initiative has been taken to introduce multimedia in the classroom, or even documents annexed to the guide [11].

ICT in collective representations have a relatively blurred outline. The teachers surveyed state that it is not their fault for asking for on-the-job training to visit a site to familiarize themselves with this tool.

The perception of the usefulness of the computer tool in the classroom is not clear. No reflection seems to have been initiated in this direction. This situation of technological or even didactic ignorance is at the origin of a certain apprehension of teachers against the tool. The usefulness or use of this technique is still perceived by teachers as a distraction that can entertain learners, or at least in practical work.

What emerges from interviews with LES teachers is that the contributions of ICTs to autonomy are numerous, but their great added value is shown timidly in the classroom. It is observed that the number of computers and projectors for each establishment remains insufficient, and very few LES teachers use them. They not being convinced of the educational usefulness of these technological tools and only using them for teaching. So, other researches indicated that the initial teacher training does not focus on the use and pedagogical integration of ICT [12].

Perreault has identified ten new skills for teaching, including: Using new “ICT” technologies [8]. In addition, Marcel Lebrun, for his part, asserted that: "The importance of information, technical support and pedagogical support to teachers is a priority so that technologies really catalyze pedagogical renewal [13]. Without this, new technologies will make it possible to reproduce old pedagogies at best. In other words, it is fair to say that if teachers are not trained in these technologies, in many cases, they simply risk perpetuating traditional teaching methods using a new medium.

The meager sharing of teaching material designed by teachers who do not all have a personal computer, the little time to learn ICT and no time recognized for the creation of digitized teaching material. To this can be added the traditional practices, which do not lend themselves well to a pedagogy that integrates ICT [14].

Indeed, the majority of teachers associate ICT with an increased task and a host of technical problems and see it as a threat to the power of the teacher in his class, they seduce the learner and could lead to teacher, in some contexts, to think that he no longer has control over the learners [15].

5 CONCLUSION

The integration of ICT into active pedagogies within the framework of learning activities, gives the learning process an additional dimension would make the teachers and the learners capable to build their knowledge in accordance with real mental and intellectual capacities, by seeking information himself to enrich their knowledge and develop their capacities.

The above analysis has enabled to observe the efforts made to improve the education quality. Nevertheless, discrepancies between the intentions of stakeholders in the educational field and the digital resources implementation in the practices of teachers remain observed. Based on this study, it believed that an emergency strategy based on the following approaches is necessary:

- Improving communication on innovation, within schools and in collaboration with the engineering program management.
- Revising the procedures for reproducing and distributing digital educational documents.
- Raising awareness among Moroccan teachers of the ICT importance in order to encourage them to adhere to educational innovation and better communication of the political orientations and projects put in place.
- Diversification of means of support for initiatives that actively and positively participate in changing the learning ways. These measures are likely to reduce the extent of the resistance intrinsic factors to change and the mutation that must be experienced in the teaching profession.
- Accelerating the process of setting up functional multimedia rooms in schools and establishing or at least updating and revitalizing teacher training plans on computer tools and their pedagogical uses to meet the great demand expressed by surveys in this area skills acquisition.

REFERENCES

[1] Kirkwood, M., Van Der Kuyl, T., Parton, N. & Grant, R. The New Opportunities Fund (NOF) ICT training for teachers programme: designing a powerful online learning environment. Paper presented at the European Conference on Educational Research, Edinburgh, September 20–23, 2000.

[2] Becta (2004).A review of the research literature on barriers to the uptake of ICT by teachers Retrieved, from http://www.becta.org.uk, October 13, 2013.

[3] Empirica (2006).The Digital Divide Index—A Measure of Social Inequalities in the Adoption of ICT Retrieved, from http://www.empirica.com, December 20, 2012.

[4] Uluyol, Ç. and Sahin, S. Elementary school teachers' ICT use in the classroom and their motivators for using ICT British Journal of Educational Technology. doi: 10.1111/bjet.12220, 2014.

[5] Eddif A., Larhzil, H., Touir R., Majdoubi H., Kenafi J., Ouazzani H., Boutsougame A. Integration of Information and Communication Technologies in Education for Life, Earth Sciences, Physical and Chemical Sciences Teachers of the Secondary and College Level in Morocco: Reality and Aspirations. Computer Engineering and Intelligent Systems, Vol.7, No.5, 1-8, 2016.

[6] Karsenti T. Tchameni N. Educational integration of ICT: Action strategies and avenues for reflection. Ottawa: International Development Research Center (IDRC). The journal: The world of education, «What do you mean learner independence». vol.5, p.3, 2013.

[7] Frédéric HAEUW. Analysis of the training needs of higher education personnel for the use of ICT in the teaching-learning process. Paris: ALGORA, 55 p, 2002.

[8] Perreault N. Between the abacus and the computer, a passion: to teach. Meeting with... Mona Plamondon, professor of mathematics at CollègeÉdouard-Montpetit«, Clic, 36, p. 5-6, 2000.

[9] Mangenot F. Computer-assisted collaborative learning applied to languages. In R.Bouchard, F. Mangenot, Interaction, interactivity and multimedia, Notions en questions N ° 5, ENS Editions, pp. 11-18, 2000.

[10] El Mahdi, Y., Chiacou, B., Belkhayti, D., El Karrim, K., El Haluoani, H. The constraints linked to the integration of ti c in the teaching of the sci e nces of life and land in m aroc: European Scientific Journal. Edition vol. 10, No. 34.p 63-71, 2014.

[11] Basque J. Introduction to educational engineering (4th Ed.). Text written for the online course TED 6312 Instructional Engineering and Educational Technologies, (4), 55-63, 2017.

[12] Frackowiak, P. (2008). Obstacles to the development of ICTs in schools.
Available: ttp://www.cafepedagogique.net/lesdossiers/pages/2009/frack_obstaclesaudeveloppementtic.aspx. Last accessed 12.02.2013.

[13] Marcel Lebrun. Impacts des TIC sur la qualité des apprentissages des étudiants et le développement professionnel des enseignants: vers une approche systémique. STICEF (Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation), ATIEF, 18, 20 p. <hal-00696443>, 2011.

[14] Labioui H., Rhiat M., Driouich A., Ouhssine, M., Maqboul A., ElAssyry A. Practice of digital resources to develop the quality of education in Morocco: the case of the life sciences and earth, The International Institute for Science, Technology and Education. 3 (2), 65-73, 2015.

[15] Larose F., Grenon V. and Palm, S. Survey on the state of practices of appropriation and implementation of computer resources by teachers in Quebec, Center for Research on Educational Intervention, University of Sherbrooke, May 2004, p. 10, 2004.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1240-1245
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Amélioration de la désinfection solaire de l'eau par la photosensibilisation des extraits de plantes

[Improvement of solar water disinfection by the photosensitization of plant extracts]

Teddy Makuba SUNDA and Nicolas Kalulu Muzele TABA

Université de Kinshasa, Faculté des Sciences et Technologies, Département de Chimie et Industrie, Laboratoire de Chimie Organique et d'Energétique, BP 190, Kinshasa XI, RD Congo

Copyright © 2023 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 aimed to improve the solar water disinfection by the photosensitization of coumarin extracts of some plants of the Rutaceae family (*Citrus reticulata, Citrus aurantium* and *Citrus maxima*). The results found in this work show an inhibition of around 7% of faecal coliforms after 15 minutes of exposure for solar disinfection. An inhibition of 17 % is noticed after 30 minutes of exposure. On the other hand, for water treated and exposed to the sun, an inhibition of around 90% is noticed for all the extracts after 30 minutes of exposure. Complete inhibition is recorded after 60 minutes of exposure. These results show that the plant extracts used improve significantly the solar disinfection of water. The photosensitizing activity observed in these extracts is due to the presence of coumarins. These molecules, in the presence of light, absorb energy and pass from the ground state to the excited state. Returning to the ground state, the stored energy is transferred to the oxygen, which then passes from the ground state, triplet, to the excited state, singlet, and inhibits the microorganisms present in the water.

KEYWORDS: Photosensitization, coumarin extracts, singlet oxygen, faecal coliforms, solar disinfection.

RESUME: La présente étude visait l'amélioration de la désinfection solaire de l'eau par la photosensibilisation des extraits coumariniques de quelques plantes de la famille de Rutacées (*Citrus reticulata, Citrus aurantium* et *Citrus maxima*). Les résultats trouvés dans ce travail montrent une inhibition de l'ordre de 7 % des coliformes fécaux après 15 minutes d'exposition pour la désinfection solaire. Celle-ci passe à 17 % après 30 minutes d'ensoleillement. Par contre, pour l'eau traitée et exposée au soleil, nous avons noté une inhibition de l'ordre de 90% pour tous les extraits après 30 minutes d'exposition. L'inhibition complète est enregistrée après 60 minutes d'exposition. Ceci montre que les extraits de plantes utilisés améliorent sensiblement la désinfection solaire de l'eau. L'activité photosensibilisatrice remarquée dans ces extraits est due à la présence des coumarines. Celles-ci en présence de lumière absorbent l'énergie et passent de l'état fondamental à l'état excité. En revenant à l'état fondamental, l'énergie emmagasinée est transférée à l'oxygène qui passe dès lors de l'état fondamental, triplet, à l'état excité, singulet, tout en inhibant les coliformes fécaux présents dans l'eau.

MOTS-CLEFS: Photosensibilisation, extraits coumariniques, oxygène singulet, coliformes fécaux, désinfection solaire.

1 INTRODUCTION

Bien que possédant les ressources hydrologiques les plus abondantes en Afrique, la République Démocratique du Congo fait face à une crise aiguë d"approvisionnement en eau potable. En effet, seuls 33% de la population congolaise a accès à une eau potable salubre, une estimation bien en dessous de la moyenne de 60 % pour l'ensemble de l'Afrique subsaharienne [1],

Corresponding Author: Teddy Makuba SUNDA

[2]. Ce problème est essentiellement dû au manque d'entretien d'infrastructures et de pièces de rechange. Par conséquent, 90 % de la population rurale s'approvisionnent dans les sources et puits peu profonds.

Dans la plupart des cas, ces points d'approvisionnement (sources et puits) ne sont pas protégés et deviennent des sources potentielles de contamination. Il en résulte de graves problèmes de santé publique. Les initiatives tendant à promouvoir l'application des techniques de traitement de l'eau au niveau individuel ou familial telles que l'ébullition, la chloration, l'ozonation,... devraient donc être encouragées [3], [4].

Mais toutes ces méthodes mentionnées ci-dessus posent des problèmes: la déforestation pour l'ébullition, le goût désagréable produit par les dérivés du chlore ainsi que le coût élevé de l'ozone,... Cependant, la désinfection solaire, une méthode simple, peu couteuse, semble être une alternative pour la désinfection de l'eau au niveau familial. Mais l'efficacité de celle-ci est mise en doute à cause des variations des conditions climatiques [3]. L'efficacité de cette dernière peut être améliorée par l'usage de l'oxygène singulet, via la photodynamique [4], [5], [6].

L'oxygène singulet, produit de l'action conjuguée d'un photosensibilisateur et de lumière (photosensibilisation), attaque et endommage la plupart des biomolécules et entraîne ainsi la mort cellulaire et tissulaire [7], [8], [9].

Les réactions des espèces réactives de l'oxygène (stress oxydatif) interviennent également dans le mode d'action de certaines drogues et médicaments, signalent plusieurs auteurs [10], [11]. Certaines plantes utilisées dans la pharmacopée traditionnelle pour soigner les infections microbiennes et parasitaires sont capables de réagir par un mécanisme du type stress oxydatif [12]. Ces plantes sont donc capables de générer l'oxygène singulet [13].

L'étude de la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec les extraits de feuilles de plantes (*Cassia alata, Cassia occidentalis, Carica papaya, Coleus kilimanschari* et *phyllanthus niruri*) a montré une inhibition complète des coliformes fécaux présents dans l'eau après une heure d'ensoleillement avec saturation du milieu en oxygène (barbotage). Par contre, les extraits de zestes de plantes de la famille de Rutacées (*Citrus)* ont montré une activité photosensibilisante intéressante sans saturation du milieu en oxygène [13], [14], [15]. L'activité photosensibilisante remarquée dans ces extraits est essentiellement due à la présence des coumarines [15].

Nous poursuivons cette étude en utilisant cette fois-ci comme agents photosensibilisateurs les extraits coumariniques des zestes de *Citrus reticulata, Citrus aurantium* et *Citrus maxima*.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATERIEL VEGETAL

Les zestes de *Citrus reticulata, Citrus aurantium* et *Citrus maxima* constituent le matériel végétal utilisé dans la présente étude. Les fruits ont été récoltés à Kinshasa, puis identifiés à l'herbarium de l'Université de Kinshasa. Par la suite, ceux-ci ont été séchés à l'air libre et en l'absence du soleil pendant deux mois, puis pulvérisés en vue de l'obtention d'une poudre fine.

2.2 L'EAU

L'eau utilisée dans cette étude provenait de la rivière N'djili dans la ville de Kinshasa, en République Démocratique du Congo. Celle-ci comportait plus de 310^2 UFC coliformes fécaux /ml.

2.3 LA SOURCE LUMINEUSE

Comme source lumineuse, nous avons utilisé les rayonnements solaires. En effet, les zestes des Citrus sont concentrés en coumarines. Celles-ci absorbent dans la partie UVA (320-400 nm) du spectre solaire [16], [17].

2.4 EXTRACTION DES COUMARINES

Les zestes ont été séchés dans un endroit sec et aéré, à l'abri de lumière pendant deux mois. Par la suite, ceux-ci ont été entièrement broyés en vue de l'obtention d'une poudre fine. Par après, 100g de poudre ont été pesées et macérées dans un mélange hydro-alcoolique (Méthanol/Eau: 80%/20%, V / V). Cette macération est répétée deux fois avec renouvellement du solvant, elle dure chaque fois 24 heures, puis on filtre. Après filtration, le filtrat obtenu est concentré à pression réduite. Celui-ci subit par la suite des extractions successives au dichlorométhane. L'extraction est répétée trois fois. Les phases organiques obtenues sont séchées sur du sulfate de sodium anhydride (Na_2SO_4) pour éliminer toute trace d'eau.

2.5 TESTS DE PHOTOSENSIBILISATION

Les réacteurs utilisés dans cette étude sont des boites en verre de pyrex de 100 ml de capacité. La concentration de 0,1 ml d'extrait coumarinique /50 ml d'eau (2 ml d'extraits /litre d'eau) a été utilisée pour les expériences. Un lot constitué d'échantillons d'eau traités et un autre lot constitué d'échantillons non traités (blancs) ont été exposés au soleil. Un autre lot constitué d'échantillons d'eau traités a été gardé à l'obscurité. A 0, 15, 30, 60, 120, 180 et 240 minutes, des prélèvements ont été effectués dans chaque lot pour la mise en culture. Ces expériences ont été dupliquées trois fois. Les différents points repris dans chaque figure représentent la moyenne de trois mesures. Pour chaque série de données, l'erreur standard a été calculée (moyenne ± SD).

2.6 ANALYSES BACTERIOLOGIQUES

Les analyses bactériologiques ont été réalisées par mise en culture de 1 ml d'eau sur le milieu Rapid'E Coli (incorporation en gélose). Après la mise en culture, on incube à 44,5°C pendant 24 heures. Apres incubation, les colonies sont dénombrées les unes après les autres.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 DESINFECTION SOLAIRE DE L'EAU

La figure 1 donne les résultats des tests de désinfection solaire.

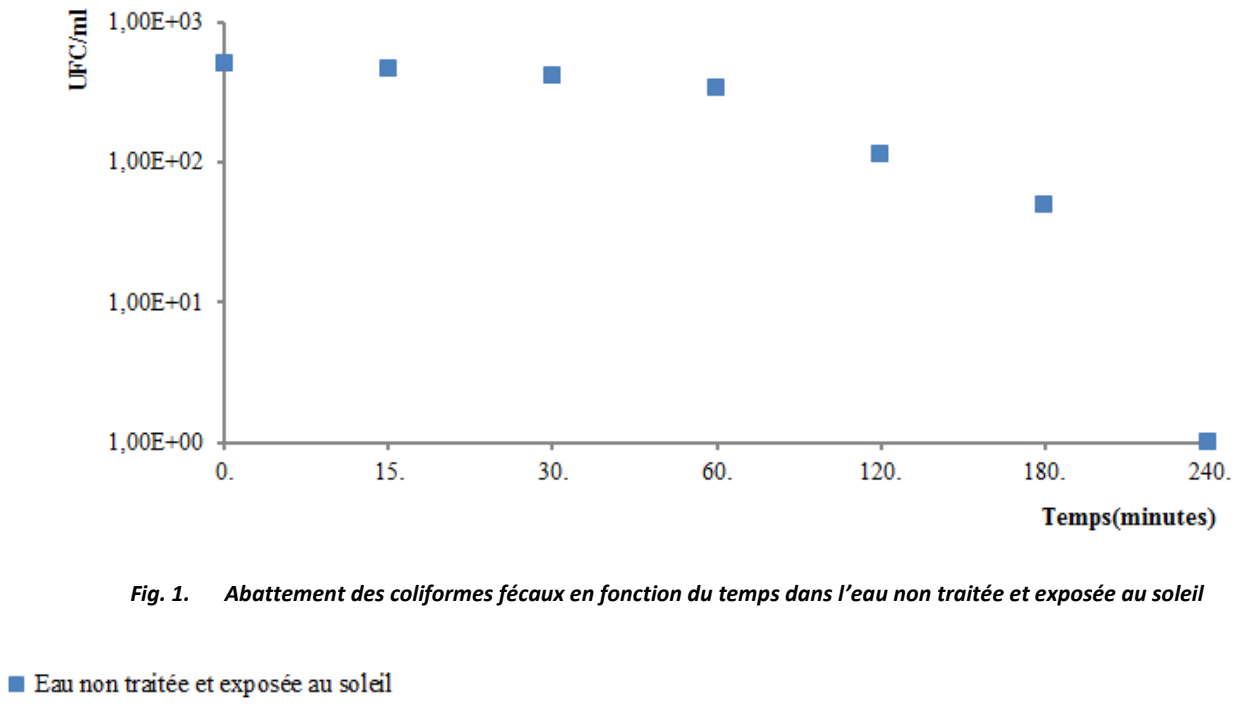


Fig. 1. Abattement des coliformes fécaux en fonction du temps dans l'eau non traitée et exposée au soleil

Comme le montre la figure 1, une inhibition de l'ordre de 7 % est notée après 15 minutes d'ensoleillement. Celle-ci passe à 17 % après 30 minutes. Une inhibition de l'ordre de 30 % est remarquée après une heure du temps.

Le fait qu'une inhibition négligeable de l'ordre de 7 % soit notée après 15 minutes d'ensoleillement et 30% après 60 minutes laisse supposer que l'efficacité de la désinfection solaire croit avec le temps. Ainsi, l'effet synergique de la température et des ultraviolets conduit progressivement à l'élimination des coliformes fécaux contenus dans l'eau. Mais il faut suffisamment de temps pour que les microorganismes soient complètement détruits [3], [18].

Dans ces conditions, la désinfection solaire peut être améliorée par l'usage des substances photosensibilisatrices. Celles-ci offrent l'avantage de réduire sensiblement le temps d'ensoleillement. Les extraits coumariniques de *Citrus reticulata, Citus aurantium* et *Citrus maxima* ont été utilisés comme agents photosensibilisateurs dans le cadre de cette étude.

3.2 Desinfection De L'eau Par Photosensibilisation Avec Les Extaits Coumariniques *Citrus Reticulata, Citus Aurantium* Et *Citrus Maxima*

Les résultats des tests de désinfection de l'eau par photosensibilisation avec les extraits coumariniques sont repris dans les figures 2, 3 et 4.

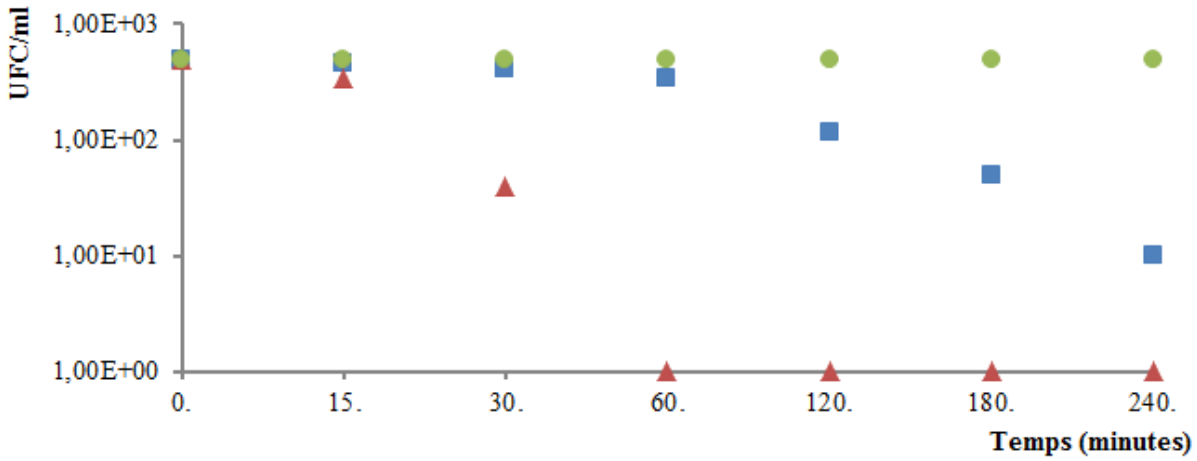


Fig. 2. Abattement des coliformes fécaux en fonction du temps en utilisant l'extrait de Citrus reticulata

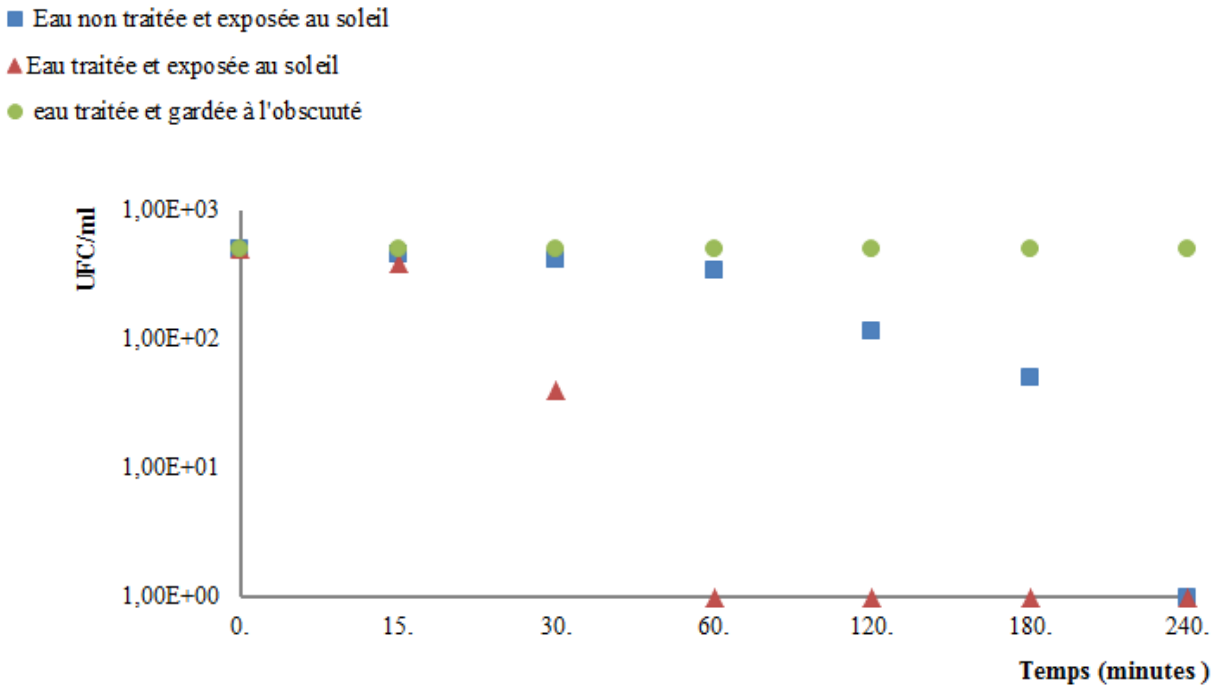
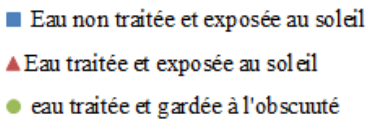


Fig. 3. Abattement des coliformes fécaux en fonction du temps en utilisant l'extrait de Citrus aurantium



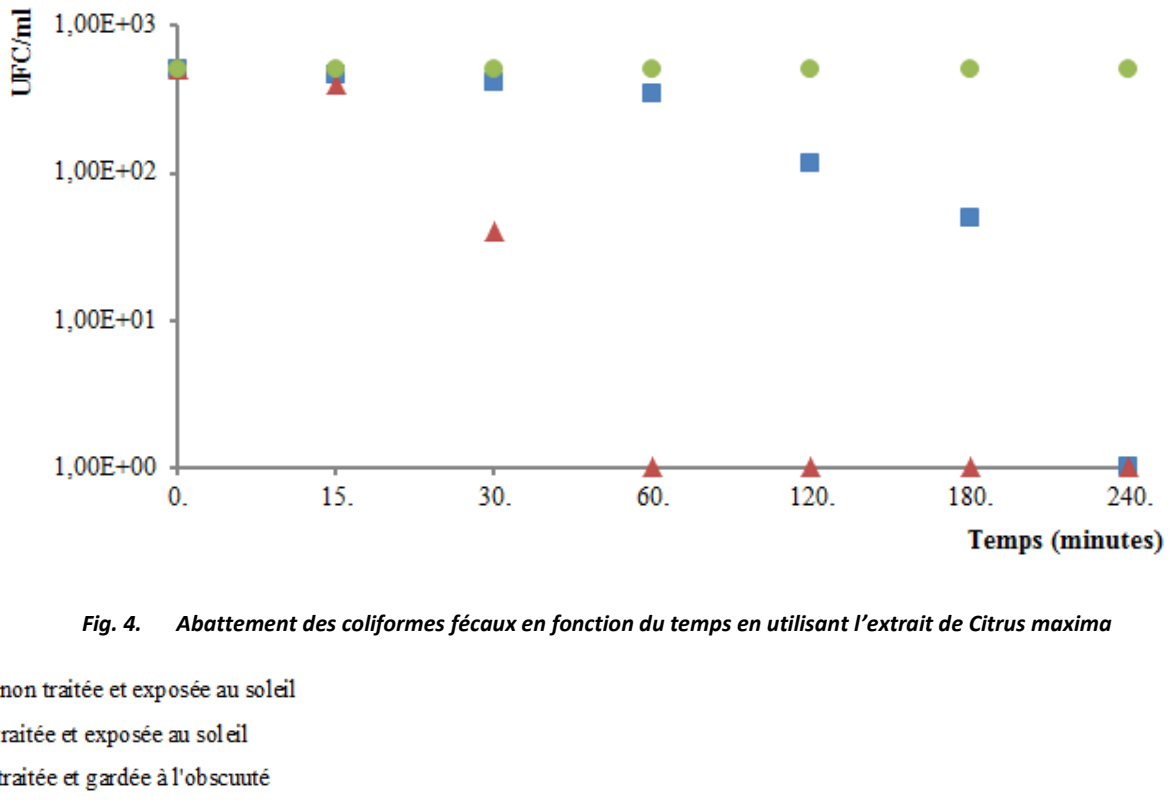


Fig. 4. Abattement des coliformes fécaux en fonction du temps en utilisant l'extrait de Citrus maxima

Nous avons remarqué des resultats interessants dans les tests de désinfection de l'eau avec l'extrait coumarinique de *Citrus maxima*. En effet, une inhibition de l'ordre de 35% des coliformes fécaux est enregistrée après 15 minutes d'ensoleillemenent. 30 minutes après, elle est passée à 93%. L'inhibition est complète après 60 minutes d'exposition.

Quant aux échantillons traités avec l'extrait coumarinique de *Citrus reticilata,* des inhibitions de l'ordre de 20% et 92 % sont remarquées respectivement après 15 et 30 minutes d'ensoleillemment. L'inhibition complète des coliformes fécaux est notée après 60 minutes d'ensoleillement.

Enfin pour les échantillons traités avec l'extrait coumarinique de *Citrus auruntium,* 23 % d'inhibition est remarquée après 15 minutes et 90 % après 30 minutes. Après 60 minutes d'ensoleillement, nous n'avons rélevé aucune colonie des coliformes fécaux (inhibition complète).

Il ressort de ce qui précède que l'utilisation des substances photosensibilisatrices améliore sensiblement la désinfection solaire. En effet, pour la désinfection solaire, il a été remarqué une inhibition de l'ordre de 17% après 30 minutes d'ensoleillement. Pour ce même temps, il est remarqué une inhibition de l'ordre de 90% pour les extraits coumariniques (*Citrus reticulata, Citrus aurantium* et *Citrus maxima*). L'inhibition complète des coliformes fécaux est notée après 60 minutes d'ensoleillement pour tous les extraits coumariniques (*Citrus reticulata, Citrus aurantium* et *Citrus maxima*); contrairement à la désinfection solaire, où une faible inhibition de l'ordre de 30 % est notée après 60 minutes. Pour les échantillons d'eau traités et gardés à l'obscurité, aucune inhibition n'a été notée du début à la fin des expériences.

L'activité photosensibilisatrice remarquée dans ces extraits est due à la présence des molécules photosensibilisatrices, principalement le méthoxy-5 psoralène, une furocoumarine photoactivable. Certaines maladies de la peau (le psoriasis, le vitiligo,...) sont de plus en plus soignées par cette molécule. Celle-ci est aussi utilisée, à cause de sa photoréactivité, en photothérapie PUVA (Psoralène-UVA thérapie). Ce traitement consiste à administrer par voie orale un médicament à base de méthoxy-5 psoralène et à exposer par la suite le patient sous la lumière solaire ou ultraviolette. En présence des UVA, il se développe une réaction de photoaddition conduisant à la formation des liaisons covalentes entre le méthoxy-5 psoralène et les bases azotées, notamment la pyrimidine.Ceci aboutit à l'inhibition de la duplication de l'ADN et la transcription de l'ARN. Ces perturbations entraînent par la suite la mort de la cellule bactérienne. Cette réaction, appelée photoréaction du type I, est favorisée dans des milieux anoxiques. Par contre, en présence de l'oxygène, le méthoxy-5 psoralène conduit à une photoréaction du type II. Cette réaction consiste au transfert de l'énergie emmagasinée par le méthoxy-5 psoralène à l'oxygène. Ce dernier subit l' excitation et passe de l'état fondamental, triplet, à l'état excité, singulet. L'oxygène singulet généré dans le milieu détruit les cellules microbiennes [19], [20].

4 CONCLUSION

Le présent travail avait pour objectif l'amélioration de la désinfection solaire de l'eau par l'utilisation des substances à activité photosensibilisatrice (extraits coumariniques de *Citrus reticulata, Citus aurantium* et *Citrus maxima*).

La désinfection solaire montre une faible inhibition (17%) des coliformes fécaux présents dans l'eau après 30 minutes d'ensoleillement. Celle-ci passe à 30 % après une heure d'ensoleillement.

Par contre, pour les échantillons d'eau traités avec les extraits coumariniques, nous avons noté une inhibition de l'ordre de 90% après 30 minutes d'ensoleillement. L'inhibition complète est notée pour tous les extraits après 60 minutes d'ensoleillement. Ceci montre que l'utilisation des substances photosensibilisatrices améliore sensiblement la désinfection solaire de l'eau.

Des études supplémentaires s'avèrent nécessaires notamment en ce qui concerne la sensibilité des parasites et virus vis-à-vis de ces extraits. Les autres plantes de la famille de Rutacées devraient également être testées.

REFERENCES

[1] Banque Africaine de Développement (BAD), Projet PRISE, République Démocratique du Congo, Actualités, 2021.

[2] Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), Problématique de l'eau en République Démocratique du Congo, Rapport Technique, 2011.

[3] R. Meierhofer and M.Wegelin, Solar Water Disinfection: A guide for the application of Sodis, 2002.

[4] M. Sunda, Contribution à l'étude de la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec des extraits de plantes, Thèse de Doctorat, Université de Liège, 2012.

[5] Aquacat, L'utilisation de l'oxygène singulet pour la désinfection de l'eau, Cordis, 2008.

[6] M. E. Jimenez-Hernandez, F. Manjon, D. Fresnadillo and G. Orellana, Solar water disinfection by singlet oxygen photogenerated with polymer-supported Ru (II) sensitizers, *Solar Energy,* Vol. 80, pp. 1382–1387, 2006.

[7] A. Hergueta-Bravo, M.E. Jimenez-Hernandez, E. Oliveros, F. Montero and G. Orellana, Singlet oxygen-mediated DNA photocleavage with Ru (II) polypyridyl complexes, *J. Phys. Chem.* B, Vol. 106, pp. 4010–4017, 2002.

[8] F. Käsermann and C. Kempf, Inactivation of enveloped viruses by singlet oxygen thermally generated from a polymeric naphthalene derivative, *Antivir. Res,* Vol. 38, pp. 55–62, 1998.

[9] D. García-Fresnadillo, Singlet oxygen photosensitizing materials for point-of-use water disinfection with solar reactors, *Chem. Photo. Chem.,* Vol. 2, pp. 512–534, 2018.

[10] W.Bors, M. Saran and D. Tait, Oxygen radicals in chemistry and biology, ed.w.de Gruyers, Berlin, 344p, 1984.

[11] I.A.Clark and W. Cowden, Antimalarias in oxidation stress, Academic Press, London, 201p, 1984.

[12] C.S. Foote, Photosensited oxidation and singlet, consequences in biology systems, free radicals in biology, 3, ed. by Wa.pryor, Academic Press, Berlin., 1984.

[13] K.M. Taba et E. Luwenga, L'effet de la photosensibilisation des extraits de plantes dans la désinfection de l'eau, Med. Fac., Landbouww., Univ.Gent, p.177-181, 1999.

[14] M. Sunda., F. Rosillon et K.M. Taba., Contribution à l'étude de la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec les extraits de plantes, *European Journal of Water Quality,* Vol. 39, pp. 199- 209, 2008.

[15] M. Sunda., F. Rosillon, K.M. Taba et N.Lami, Désinfection de l'eau par photosensibilisation avec les huiles essentielles de *Citrus bergamia, Citrus reticulata* et *Citrus limonum,* 8e Congrès international du Gruttee, Nancy, France, 2009.

[16] F. Bordin, Photochemical and photobiological properties of furocoumarins and homologous drug, *International Journal of Photoenergy,* Vol. 1, pp.1-6, 1999.

[17] M. Sunda., F. Rosillon, K.M. Taba et B. Wathelet, Désinfection de l'eau par photosensiblisation avec le méthoxy-5 psoralène fixé sur le polystyrene, *Afrique Science,* Vol.17, pp.127-136, 2000.

[18] M.Sunda, F. Rosillon, K.M. Taba et B. Wathelet, Contribution à la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec des extraits de plantes, *International Journal of Innovation and Applied Studies,* Vol. 25, pp. 843-850, 2019.

[19] M. Sunda., F. Rosillon,.K.M. Taba et B.Wathelet., Contribution à l'étude de la désinfection de l'eau par photosensiblisation avec le méthoxy-5 psoralène fixé sur le polystyrene, *International Journal of Applied Science and Innovation,* vol 39, pp. 376-383, 2023.

[20] M.Sunda, F.Rosillon, K.M. Taba et B. Wathelet, Contribution à l'étude de la désinfection de l'eau par photosensibilisation avec les extraits de plantes, *Compte Rendu de chimie,* Vol. 19, pp. 827-831, 2016.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1246-1253
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Determinants of willingness to pay for hybrid cocoa seed in Cameroon

Bikele Charles Emmanuel, Nkendah Robert, and Mvodo Stephanie

Université de Douala (FSEGA), Cameroon

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The aim of this study is to gain a better understanding of the variables determining farmers' willingness to pay for *SNK* hybrid cocoa seeds, and the amounts farmers are willing to pay for these technologies. Faced with the volatility of bean prices in an increasingly unstable external market, and with the galloping demand from emerging processing industries, farmers are looking for varieties with high productivity and capable of withstanding climate change and diseases. Hence their preference for the hybrid *SNK* cocoa variety to improve the productive capital of cocoa farms. However, little is known about the factors that determine willingness to pay for the adoption of improved seeds. The survey was conducted among 311 cocoa farming households in the Centre Region of Cameroon, specifically in 07 divisions with high cocoa production. The data were collected using a questionnaire. Heckman's two-stage selection model was used to analyze the data. The results show that the sex of the farmer, the level of education and the number of people living in the respondent's household have a positive influence on the willingness to pay for the *SNK* cocoa variety. The amounts they are prepared to pay to acquire it varies between FCFA 50 and FCFA 500 per unit, with an average of FCFA 150 per unit of acquisition. It is therefore recommended to produce more.

KEYWORDS: *SNK* cocoa hybrid seed, willingness to pay, Cameroon Centre Region.

1 INTRODUCTION

Agriculture remains the driving force behind economic and social development in many countries around the world. Globally, it is most practised by Family Farms (FAO, 2018), which account for more than 90% of farms, and provide more than 80% of the world's food in terms of value. In Cameroon (WDI, 2015; IFAD, 2018), it accounts for more than 50% of jobs, contributes 24% of GDP, employs 75% of the working population and creates market opportunities for other sectors of activity.

Cocoa production, processing and export in Cameroon contribute around 0.905% to Cameroon's GDP. This is a significant drop compared with the estimate frequently quoted over the past ten years of a 2% contribution from this sector to national GDP (Lescuyer, al., 2019).

Cocoa, like other cash crops and exports improves the standard of living of producers, made them less migrants and allows them to occupy themselves on secondary activities (Ruf and al., 2020), is experiencing also enormous difficulties linked to the performance of producers: ageing plantations, deforestation, poor farm management, soil degradation and increased pest and disease pressure. Lescuyer, al. (2019) highlight the recurrence of climate change and market malfunctions.

The adoption of improved technologies (new agricultural practices, improved high-yielding varieties, etc.) is a response to improving the performance of producers through the transformation of agricultural systems (Mekonnen, 2017; Barry, 2016; De Janvry et al., 2015) following the example of *SNK* hybrid seeds. Innovation can boost business performance (Léopold et al., 2017; Pascal, 2017).

According to (Abadi et al., 2021; Akter et al., 2021; Mokennen, 2017; Solomon et al. 2011), it has a positive and significant impact on improving performance, but it remains conditional on producers' willingness to pay a sum to acquire it easily.

In Cameroon, some farmers have decided to innovate by adopting the hybrid seed implemented by the cocoa development company SODECAO, with a view to overcoming the productivity difficulties and diseases slowing down their performance and increasing their productive capacity.

They are aware of the changes brought about by this technology, and are willing to acquire it and use it for risky purposes. It is in this sense that this paper looks at the factors that determine the amounts agreed for its adoption.

Corresponding Author: Bikele Charles Emmanuel

2 METHODOLOGY

2.1 STUDY AREA

The study took place in the Centre Region of Cameroon. Specifically in 07 of the 10 divisions where the farmers produce more cocoa. These are the divisions of Nyong and Mfoumou, Nyong and So'o, Mefou and Afamba, Mefou and Akono, Lekié, Upper Sanaga, Mbam and Kim (Figure 1).

Two main selection variables attracted the attention of the investigators: the adoption of hybrid seed, and the amount the household was willing to pay for it. A total of 311 cocoa farmers (proportion per each division in table 1) were randomly selected for the in-depth surveys. The interview guide and questionnaire were used to conduct the survey.

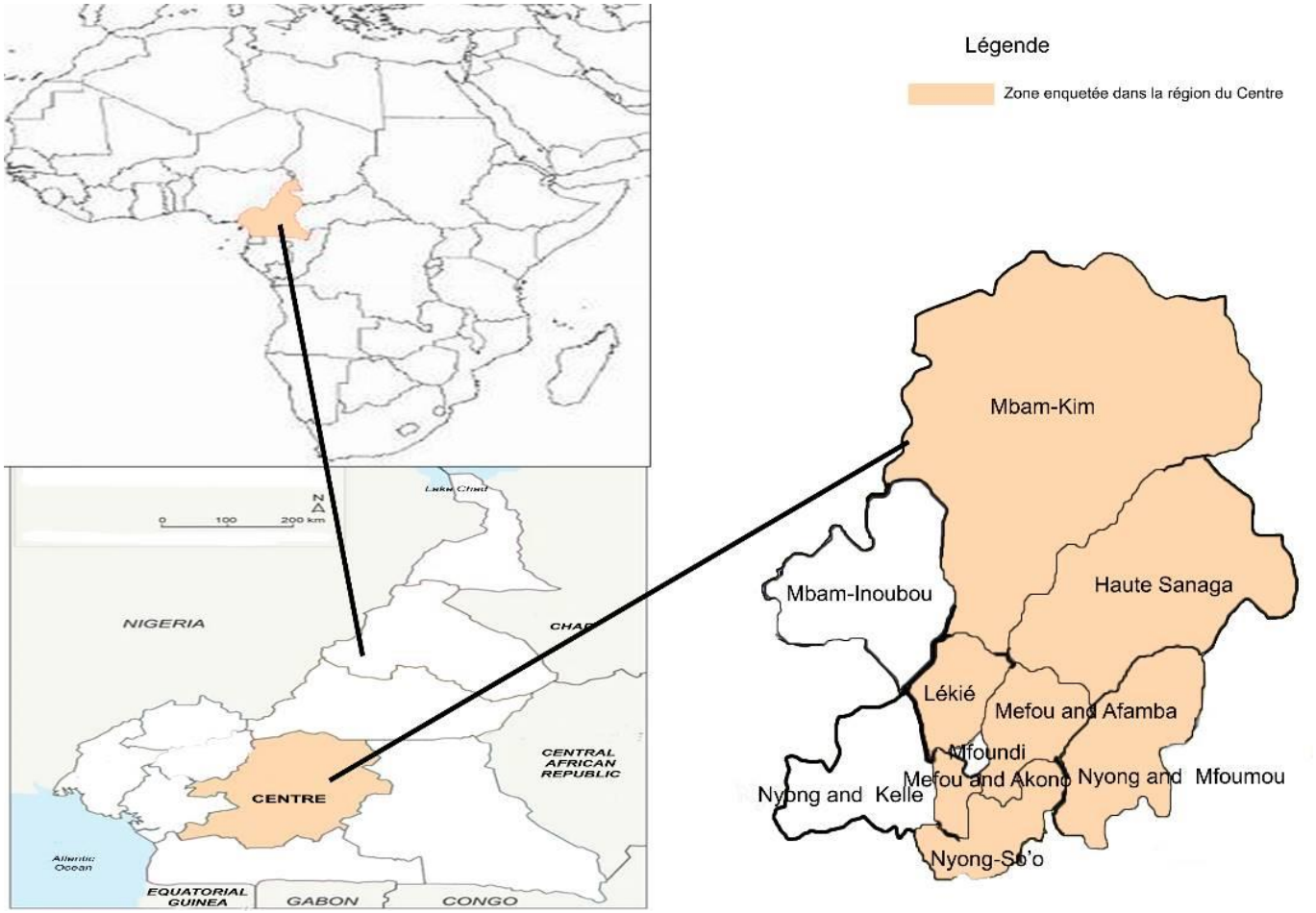


Fig. 1. Survey area

Source: Author (2023) based on map of Cameroon

2.2 SAMPLING AND DATABASE

The 311 cocoa farmers with a preference for hybrids were observed. However, the SODECAO (cocoa development company in french) hybrid was the subject of the study. More or less 5 villages according to possibilities were selected by the survey in each subdivision. Cocoa farmers, including 123 adopters of the SODECAO hybrid seed, were randomly sampled (Table 1) on the basis of primary data in 2022, using the interview guide and questionnaire.

Table 1. Survey locations

Divisions and proportion of sampling	Subdivisions	Villages
Upper Sanaga 20 surveyed with 7 adopters	Lembe-Yezoum	Lembe 1, Lembe 2
	Mbandjock	Ndjoré, Ekombitié
	Nkoteng	Nkoteng
Lekie 65 surveyed with 23 adopters	Obala	Nkometou 1, Koudandeng, Ombolo-Bingana
	Okola	Okola, Mva'a, Ndanguen
	Evodoula	Ekol
	Elig-Mfomo	Nkolossan
	Batschenga	Ndi, Nkoayos
	Monatele	Elig-Ambassa, Etche-assi
	Ebebeda	Elig Bindick, Ebebeda, Ebomzout
	Sa'a	Elig-Zogo, Mbazoa 1, Ekoum-Ondom
Mefou and Afamba 51 surveyed with 18 adopters	Edzendouan	Edzendouan, Ndzana
	Soa	Ebang, Okoa, Nkolmbom
	Esse	Nkolafamba, Fegminbang
	Awae	Nkolngok, Nlong, Elat
	Mfou	Mekoé, Akoumbou
Mefou and Akono 35 surveyed with 12 adopters	Akono	Nkong-nen, Ekong
	Ngoumou	Ngoumou, Binguela, Nkoletoutoumou
	Bikok	Bikok, Ekalli 1
	Mbankomo	Nomayos, Okoa-Maria
Mbam and Kim 65 surveyed with 18 adopters	Ntui	Nguila, Ossombe, Ntui, Ohondo,
	Yoko	Ndjolé, Issandja
	Mbangassina	Biakoa, Talba, Tete, Voundou, Mbanga
	Ngoro	Egona 2
	Ngambe-Tikar	Mbouli
Nyong and Mfoumou 35 surveyed with 21 adopters	Mengang	Mengang
	Endom	Tombo, Endom
	Akonolinga	Eboa, Akonolinga, Meko'o
	Ayos	Adoua
Nyong and So'o 40 surveyed with 24 adopters	Mbalmayo	Ekombitié, Mbalmayo
	Nkolmetet	Obout, Nkolmetet
	Ngomedzap	Ngomedzap, Minlaba
	Mengueme	Soassi, Mengueme

Source: author (2023) based on survey data

2.3 LITERATURE REVIEW

2.3.1 THEORETICAL LITERATURE

Willingness to pay is therefore defined as the maximum price that a buyer is willing to pay for a given quantity (Sirine, 2021) of a new input. In this way, the farmer or economic producer will be able to demonstrate the behaviour of his rationality on the opportunity price. The one on which he bases himself to ensure the greatest utility.

As the willingness to pay is considered at the reserve price (Marine Le Gall-Ely, 2009; Kalish and Nelson, 1991; Kristensen and Gärling, 1997; Krishna, Wagner and Yoon, 2006), and sometimes when the analysis concerns the margin, it is taken as the "floor" reserve price (Wang, Venkatesh and Chatterjee, 2007), which corresponds to the maximum price at which and below which the consumer is 100% certain of buying the product. The farmer's choice is therefore motivated by a comparison between the gains and costs associated with acquiring a technology such as hybrid cocoa plants.

In the literature, the contingent valuation method (R. T. Carson and R. C. Mitchell, 1989) is the most widely used to estimate the willingness to pay (WTP) of a farmer who has adopted a technological innovation. It involves asking cocoa farmers how much they are prepared to pay for hybrid plants in order to maximise their production performance. Thus the determinants of willingness to pay are

based on those who have adopted SODECAO seedlings. Based on the hypothesis that this innovation has been adopted and that it has been appreciated, it is possible to analyse its effect. Heckman's (1979) theoretical model of analysis is appropriate for this purpose. The variable to be explained therefore consists of the amounts of WTP revealed by cocoa farmers who have adopted it. As the model is sequential, it is made up of *the selection equation,* which answers the question: Are you willing to pay for SNK cocoa plants for better agricultural performance? And the *substantial equation, which* answers the question of how much you are willing to spend to obtain them. Hence the formalisation of the following model:

$Z_i * = w_i \Upsilon + \mu_i$ if the household has accepted or not: selection equation (1)

$y_i = x_i ß + Ɛ_i$ if $Z_{i\ i} * >0$: substantial equation (2)

With w_i and x_i socio-economic variables; μ_i error terms ' (0; 1) and $Ɛ_i$ error terms following a normal distribution (0; σ).ε

This type of model is normally estimated using the Maximum Likelihood Method (MLM). However, this estimation method has convergence problems. To overcome this limitation, Heckman (1979) proposed a two-stage estimation: estimate the determinants of willingness to pay for *SNK* cocoa plants using a probit or logit model. Then estimate the determinants of the amounts agreed by the Ordinary Least Squares (OLS) by integrating the ratio of Mils obtained from the estimation of the selection equation.

2.3.2 EMPIRICAL LITERATURE

Merle (2007) summarizes the literature on willingness to pay a higher price for a personalized product. In these studies, between 43% and 88% of respondents were prepared to pay more for personalization, with the price difference ranging from 10% to 207% more. The products considered are very diverse, and the percentage willing to pay is generally higher for low-price products (phone covers) than for high-price products (shoes).

SIGUE et al (2019) study the perception of technology adoption and less on the determinants of investment and willingness to pay. The purpose of this study is to analyze the determinants of farmers' willingness to pay (WTP) amounts for the use of microdose technology components on farms in the Kourittenga and Zondoma provinces of Burkina Faso. A survey was conducted among 360 farm households in municipalities in both provinces and the data were collected using a semi-structured questionnaire. Heckman's two-stage selection model was used for this study The results of the analysis revealed that: experience in microdose technique, social status, area, land tenure and distance from fields are factors influencing willingness to pay reported by farming households for the practice of the components 'Stony Cordons + Compost + Microdose'; the 'Zai + Compost + Microdose' and the 'Zai + Manure + Microdose'. While household size, available area, level of education, literacy and farm income influence the amounts reported by farmers.

Kertous (2012). Analyses subscribers' willingness to pay to improve the quality of the drinking water service in Algeria by using survey data to estimate the determinants of the declared amount, as well as its value. According to the results of the models, the technical variables used by the management company are the main determinants of the amount declared (e.g. restrictions). Estimating the willingness to pay of Algerian households provides a value of 10.57 DA/m3, i.e. an average WTP of DA 231 per quarter.

Kuimi T. et al (2022) surveyed 1,500 Quebecers to determine the value placed on Lac Saint-Pierre. They found that the value was assessed by the willingness to pay for agricultural practices that would improve the quality of the ecosystem in and around the LSP. The respondents were willing to pay for agricultural practices that would improve the quality of the ecosystem, and the willingness to pay for agricultural practices increased with the level of effort made by agricultural producers; the value attributed to the LSP by survey respondents, based on the amount they are willing to pay for farming practices, is estimated at $2,520,604,283. Willingness to pay varies according to respondents' economic situation.

Miwoto M. et al. (2017) analyze the factors that explain the amounts of willingness to pay (WTP) of households for the implementation of a sustainable management programme of Adjamey forest in the district of Djakotomey in South-West of Benin. The data were collected on 110 bordering households using a semi-structured questionnaire. Based on the two-step selection model of Heckman, this study revealed that the households participation to the program of sustainable management of this forest is influenced by factors such as: the origin and level of education of the surveyed households, the fact of having been victims of the damage caused by the hippopotamuses and the fact that the household wishes an improvement of the management of this forest. Moreover, the study shows that the total area held in the forest, the total income drawn from the activities related to the forest, the membership in a management committee and the fact that the hippopotamuses are considered as a threat constitute to the explanatory factors of the amounts of willingness to pay (WTP) declared by the households.

2.4 VARIABLES IN THE SUBSTANTIAL EQUATION

The variables that explain the likelihood of farmers adopting the new cocoa seeds are as follows:

Age: this is a continuous variable that measures the age of the farmer and has an impact on the probability of adopting the innovation. The older he gets, the more he loses the energy to innovate (N'guessan, 2008; Yabi and al.2016). This variable has a negative influence in most cases.

Gender: binary variable Matari and al. (2006) and Obisesan (2014) have shown that gender has both a significant and positive influence on adoption. For Mignouana and al. (2011); Sale (2014); Yabi and al. (2016), the results of the studies show that women have a space of economic autonomy. The expected sign is ambiguous.

Household size: This variable is continuous and corresponds to all the people living in the same house and who are all involved in agricultural activities relating to innovative technologies. According to Kebede and al. (1990), the size of the agricultural household is a source of labour and has a positive sign. However, Jiang et al. (2011) find that household size has a negative influence on the amount declared by households.

Level of education: continuous variable. A farmer with secondary education is more inclined to practise agricultural technological innovations than one who does not (Rogers, 1995; Kabore, 2011). A positive sign is therefore expected. Vasquez (2009) on Mexico finds that the level of education has a positive influence on WTP.

Secondary activity: continuous variable, for a farmer, the secondary activity concerns any other activity that may influence the desire to innovate in technology. The expected sign is negative.

Membership of a farmers' organisation: this variable indicates whether or not the respondent belongs to a farmers' organisation.

group. *Morest and al. (2018) believe that* a positive sign is expected as respondents have a good knowledge of the risks of innovation practice and Their willingness to pay should be higher.

Marital status: a continuous variable, marital status should have a positive influence on willingness to pay for technology when the respondent is married because he or she has several dependents. The expected sign should be mixed.

Occupation status of the respondent in the household: continuous variable, apart from the head of household who is often ready to innovate, the other occupants would be presumed to be neutral in terms of willingness to pay for a technology. The expected sign is therefore mixed

The nature of the variables, their codes, modalities and expected signs are summarised in the following table:

Table 2. Variables and their expected sign

Variable name	Type	Code	Terms and conditions	Expected sign
Response variable				
willingness to pay from the respondent	Continuous	WTP	/	/
Controllers				
Age	Continuous	Age	/	-
Gender	Binary	Gender of respondent	1= male, 0=female	Ambiguous
Household size	Continuous	Number of people in your household	Number of people in your household	Ambiguous
Level of education	Continuous	Respondent level of education	0= no level, 1=Primary, 2=Secondary 4=University	+
Secondary *activity*	Continuous	Secondary activity	1=agriculture, 2=breeding, 3= functionary, 4=other to specify	-
Membership of a farmers' *organisation*	Binary	Are you in peasant organization?	1=yes, 2=no	+
Marital *status*	Continuous	Marital status of respondent	1=Single, 2=married 3=Widowed, 4=Common-law	Ambiguous
Status of respondent in household	Continuous	Occupational status of respondent in place of residence	1=head of household, 2=resident, 3=other to specify	Ambiguous

Note: (/) = no information.
Source: Author (2023)

3 RESULTS

In the light of the previous literature, the Heckman two-step regression allowed to have the following table of results.

Table 3. Determinants of WTP for SNK hybrid cocoa by Heckman model

Variables	Modalities	Coef.	St.Err.	t-value	p-value	Sig
Gender of respondent	Female	0.152	20.744	1.21	.025	**
	Male	.765	.522	-1.47	.043	**
Respondent level of education	Primary	-11.392	20.36	-0.56	.576	
	Secondary	23.048	19.974	-1.15	.049	**
	University	-9.885	23.307	-0.42	.671	
Occupational status of respondent in place of residence	Household resident	-18.487	16.404	-1.13	.26	
	Other (specify)	-31.795	43.616	-0.73	.466	
	5	-49.711	37.754	-1.32	.188	
Marital status of respondent	Single	-8.914	15.619	-0.57	.568	
	Widowed	-45.948	57.434	-0.80	.424	
	Common-law	-16.079	11.109	-1.45	.148	
Number of people in your household	[3 - 5] people	-11.31	23.823	-0.47	.635	
	[6 - 8] people	-18.744	23.012	-0.81	.415	
	[9 - 10] persons	9.502	23.912	0.40	.691	
	[11 + [persons	27.903	22.437	1.24	.214	
Secondary activity	Breeding	-25.321	12.1	-2.09	.036	**
	Functional	6.559	21.202	0.31	.757	
	other to specify	-4.676	11.003	-0.42	.671	
Are you in peasant organization?	No	-8.879	10.736	-0.83	.408	
	Constant	213.359	39.787	5.36	0	***
	Lambda	.147	.56	0.26	.792	

**** p<.01, ** p<.05, * p<.1*

Source: *Author (2023) based on survey data*

The table above shows the determinants of willingness to pay for hybrid seed. Socio-demographic variables were used for modelling, showing that gender has a significant influence on willingness to pay for hybrid seed; however, this influence is more pronounced for males (76.5% compared with 15.2% for females). With regard to level of education, only secondary education had an influence on willingness to pay for hybrid semen. Secondary activity also influenced willingness to pay for improved semen, and livestock activity was significantly positive.

Table 4. Amounts paid by producers for the adoption of SNK hybrid cocoa seeds

Willingness to pay for a seedling of *SNK* hybrid cocoa	Min	Mean	Max
Region of Centre	50	150	500

Source: Author (2023) based on survey data

This table presents descriptive statistics on the amounts proposed by farmers who have adopted the improved *SNK* cocoa varieties.

Looking at the results, all the households that agreed to this variety would like to contribute an average of 150 CFA francs. This means a minimum of 50 CFA francs and a maximum of 500 CFA francs per unit.

This confirms SODECAO's policy of selling seedlings at the minimum price of 50 FCFA agreed by applicants.

4 DISCUSSION

With a view to achieving the Sustainable Development Goals (FAO, 2018), agricultural countries are facing the challenge of producing on a massive scale and satisfying food consumption as much as possible, as well as increasing income and gross domestic product through exports of cash crops such as cocoa. This plan is only possible if the adoption of innovations is promoted in this sector. The case of *SNK* hybrid seeds is a practical example. By mastering the determinants of the willingness to pay for a technology and the amounts agreed by adopters, we can prevent public policies and steer producers' efforts towards great success.

In the area surveyed, gender determines willingness to pay for *SNK* hybrid seeds. In the literature it is often ambiguous, but in this study it confirms the work of Matari and al. (2006) and Obisesan (2014) on the positive significance of willingness to pay for a technology.

The level of education also influences the willingness to pay for this seed. As the expected sign is positive, the results of our study show, like those of (Rogers, 1995; Kabore, 2011; Vasquez, 2009), that secondary level of education has a positive influence on WTP.

Livestock rearing as a secondary activity was found to be significantly positive in this study. Cocoa farmers rely more on the new high-productivity seeds to have enough time to take care of the secondary activity of livestock rearing. Although its expected sign was negative

Income does not figure in this study as a determining variable in willingness to pay. However, the farmers announced different amounts enabling them to acquire the improved seeds they wanted. These amounts vary between 50 FCFA and 500 FCFA, which justifies the satisfaction with productivity that these farmers expected when they adopted them.

5 CONCLUSION

At the end of the analysis of the variables determining willingness to pay for improved *SNK* cocoa seed in the Central Cameroon region, it should be noted that farmers are genuinely willing to adopt the new high-productivity hybrid seeds. There are not yet enough of these farmers to really feel the impact of the adoption of these technologies on a national and international scale. Willingness to pay for *SNK* hybrid varieties is determined by the farmer's gender (male and female), level of education (secondary) and secondary activity (livestock farming). The cost of these technologies is within the means of small farmers, but varies significantly from one farmer to another. This is why the public authorities, through their research and implementation institutions, should focus on increasing the availability of improved seeds by targeting populations with characteristics that determine not only acceptance but also willingness to pay for them.

REFERENCES

[1] A. Mataria, R. Giacaman, R. Khatib and J.P. Moatti, (2006). Impoverishment and patients' willingness and ability to pay for improving the quality of health care in Palestine: An assessment using the contingent valuation method, ≫ *Health Policy,* pp. 312-328. ISSN 2028-9324 Vol. 25 No. 4. pp. 1202-1214.

[2] A. Mignouana, M. Manyoung, J. Risike, S. Mutabazi and M. Senkoudo, (2011) Determinants of Adopting Imazapyr-Resistant Maize Technology and its Impact on Household Income in Western Kenya, *New Economy Handbook,* pp. 158-163.

[3] A. Obisesan, (2014).Gender Differences in Technology Adoption and Welfare Impact among Nigerian Farming Households, MPRA Paper No. 58920.

[4] Abadi, T. A.; Alem, M. H. and Teklay, S. K. (2021). Adoption of maize varieties on smallholder farmers' market participation in Oromia Regional State, Ethiopia. African Journal of Science, Technology, Innovation and Development, Volume 13, Number 2, page 185-192.

[5] Akter, S.; Chindarkar, N.; Erskine, W.; Spyckerelle, L.; Imron, J. and Branco, L. V. (2021). Increasing smallholder farmers' market participation through technology adoption in rural Timor-Leste. Asia & the Pacific Policy Studies, page 1-19.

[6] Barry, S. (2016): 'Socio-economic and institutional determinants of the adoption of improved maize varieties in the Centre-South of Burkina Faso'. Revue d'Economie Théorique et Appliquée, volume 6, number 2, page 221-238.

[7] D. Kabore (2011). Analyse des mecanismes de diffusion des technologies agricoles ameliorees et innovations dans l'espace CEDEAO.

[8] De Janvry, A.; Emerick, K.; Sadoulet, E. and Dar, M. (2015). The adoption of agricultural technologies: what lessons can be learned from field experiments. Revue d'économie du développement, issue 4, volume 23, page 129 - 153.

[9] F. Ruf, M. Salvan, J. Kouamé. (2020). Qui sont les planteurs de cacao de Côte d'Ivoire ? Dans Papiers de Recherche. PP. 1 à 111.

[10] FAO (2018). FAO's work in family farming: preparing for the decade of family farming (2019-2028) to achieve the SDGs. www.fao.org

[11] Hamadé SIGUE, Innocent Adédédji LABIYI, Jacob Afouda YABI, and Gauthier BIAOU. (2019). Determinants of producers' willingness to pay (WTP) for microdose technology component practices in the provinces of Kourittenga and Zondoma in Burkina Faso. International Journal of Innovation and Applied Studies.

[12] IFAD (2018). Investing in rural people in Cameroon. 4 pages.

[13] J. A. Yabi, F. X. Bachabi, I. A. Labiyi, C. A. Ode and R. L. Ayena., (2016) Socio-economic determinants of the adoption of soil fertility management cropping practices used in the Ouake commune of northwest Benin, *International Journal of Biological and Chemical Sciences,* pp. 779-792.

[14] J. C. F. N'guessan (2008). Le consentement des menages ruraux a payer une prime d'assurance maladie en Côte d'Ivoire, *Revue d'économie du développement,* pp. 101-124,.

[15] J. Heckman (1979). Sample Selection Bias as a Specification Error. *Econometrica,* pp. 153-161.

[16] Jiang Y., Jin L. & Lin T., (2011). Higher water tariffs for less river pollution-Evidence from the Min River and Fuzhou City in China.*China Economic Review 22 (2011) 183–195 Journal of Economic Psychology,* 18, 487-503.

[17] Kalish S. and Nelson P. (1991), A comparison of ranking, rating and reservation price measurement in conjoint analysis. SAGE Journals. Marketing letters 2 (4): 327-335.
[18] Krishna A., Wagner M. et Yoon C. (2006), Effects of extreme-priced products on consumer reservation prices, *Journal of Consumer Psychology,* 16, 2, 176-190.
[19] Kristensen H. et Gärling T. (1997), Determinants of buyers' aspiration an reservation price. Journal of Economic Psychology, Elsevier, vol. 18 (5) Pages 487-503.
[20] Léopold D.W., Laurence N. M., Lubica H. (2017). Innovation capacity: determinants and effect on the performance of large firms in Cameroon. Gestion 2000. Vol. 34.
[21] Lescuyer, al. (2019). Analysis of the cocoa value chain in Cameroon. Report for the European Union, DG-DEVCO. Value Chain Analysis for Development Project (VCA4D CTR 2016/375-804), 121 p.
[22] M. E. Kuimi Tchana, L.D. Tamini, M. Doyon, S. Bergeron (2022). Willingness to pay for changes in practices affecting ecosystem goods and services produced by Lake Saint-Pierre. Center for Research on the economics of the Environment, Agri-food, Transports and Energy ISSN 1927-5544.
[23] Marine Le Gall-Ely. (2009). Définition, mesure et déterminants du consentement à payer du consommateur: synthèse critique et voies de recherche. Recherche et Applications en Marketing (French Edition), 24 (2), pp.91-113. hal-00522826.
[24] Médard Miwoto, Afio Zannou, Gauthier Biaou (2017). Determinants of The Amounts of the willigness To Pay (WTP) Declared By Households For Sustainable Management of The Adjamey Forest In South West Benin. European Scientific Journal January 2017 edition vol.13, No.3.
[25] Mekonnen T. (2017). Impact of agricultural technology adoption on market participation in the rural social network system. MERIT Working Papers 2017-008, United Nations University - Maastricht Economic and Social Research Institute on Innovation and Technology (MERIT).
[26] Merle A. (2007), La valeur perçue de la customisation de masse: proposition et test d'un.
[27] modèle conceptuel intégrateur, PhD thesis in Management Sciences, Université Paul Cézanne 'Aix-Marseille III.
[28] Morest M. T. Agossadou, Sandrine S. Sêgla, Anselme A. Adégbidi (2018). Consentement À Payer Et Rentabilité D'une Innovation En Agro-Alimentaire: Cas Du Décorticage Mécanique Et De La ortification En Fer Du Sorgho Dans Le Nord-Bénin. European Scientific Journal edition Vol.14, No.21 ISSN: 1857 - 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.
[29] Mourad kertous. (2012). Analyse du consentement a payer des Abonnes algériens pour améliorer la Qualité du service en eau potable. *Les Cahiers du Cread n°98-99.*
[30] Pascal G. (2017). Technological innovation, a benefit for well-being at work. Journal du net. Provence.
[31] R. T. Carson and R. C. Mitchell (1989). Using surveys to value public goods: the contingent valuation method, Resources for the Future, Washington DC.
[32] Rogers (1995). The diffusion of innovation, New York, NK: Free press.
[33] S. Kalish et P. Nelson (1991) A comparison of ranking, rating and reservation price measurement in conjoint analysis, Marketing Letters, *Agricultural Economics,* pp. 327-335.
[34] Sale (2014). Climate change and determinants of organic manure adoption in the semi-arid Kibwezi region of Kenya, *International Journal of Biological and Chemical Sciences.* pp. 680-694.
[35] Sirine Aouini (2021). Acceptability and willingness to pay for vitamin D fortified eggs in Quebec. PhD thesis. University of LAVAL. P.10.
[36] Solomon, A.; Shiferaw, B.; Simtowe, F. et Haile, M.G. (2011). Agricultural technology adoption, seed access constraints and commercialization in Ethiopia. Journal of Development and Agricultural Economics, volume 3, numéro 9, page 436-447.
[37] Vasquez W. F., Mozumder P., Hernandez-Arce J. & Berrens, R.P, (2009). «Willingness to pay for safe drinking water: Evidence from Parral, Mexico». *Journal of Environmental Management 90 (2009) 3391-3400.*
[38] Wang T., Venkatesh R. and Chatterjee R. (2007), Reservation price as a range: an incentive compatible measurement approach, *Journal of Marketing Research,* 64, 2, 200-213.
[39] Y. Kebede, K. Grunjal, and G. Coffin, (1990). Adoption of new technologies in Ethiopian agriculture: The case of Tegulet-Bulga district Shoa province, *Agricultural Econnomics,* pp. 27- 43.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1254-1263
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Conception et étude expérimentale d'un nouveau dispositif électronique de contrôle par ESP32 d'une enceinte anti-moisissure de conservation d'articles en cuir

[Design and experimental study of a new electronic device for ESP32-based control of an anti-mold chamber for conservation of leather articles]

Agathe Matenou and Jean Mbihi

Laboratory of Computer and Automatic Engineering, Enset, University of Douala, Cameroon

Copyright © 2023 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 paper presents the design and experimental study of a new electronic ESP32-based control device of an anti-mold enclosure for the conservation of luxury leather goods. The control specifications deal with temperature control inside the enclosure between 18 °C and 25 °C, while maintaining the internal humidity rate between 50% and 60%, for the sake of better conservation of leather products. The virtual schematic diagram of the device is developed with EasyEDA, then the virtual assembly diagram is realized using Fritzing. The complete experimental device is realized and well tested using several electronic modules, including: DHT22 sensor, ESP32 microcontroller, Peltier effect module and LCD display. In addition, an application program is developed using Arduino C++ and uploaded into ESP32. Finally, the testing results presented and discussed confirm the quality and originality of this novel device for digital control of leather product preservation enclosures.

KEYWORDS: Device, Electronics, Control, ESP32, Enclosure, Anti-mould, Leather Conservation.

RESUME: Cet article présente la conception et l'étude expérimentale d'un nouveau dispositif électronique de contrôle par ESP32 d'une enceinte anti-moisissure de conservation d'article de luxe en cuir. Les spécifications de contrôle vise à réguler la température interne de l'enceinte entre 18 °C et 25 °C, tout en maintenant le taux d'humidité interne entre 50 % à 60 %, en vue d'une bonne conservation de l'état des produits en cuir. Le schéma de principe virtuel du dispositif est développé dans EasyEDA, puis le schéma de montage virtuel réalisé dans Fritzing. Le dispositif expérimental complet est réalisé et bien testé à l'aide de plusieurs modules électroniques parmi lesquels: capteur DHT22, microcontrôleur ESP32, module à effet Peltier et écran LCD. Par ailleurs, un programme d'application est développé dans Arduino C++, puis chargé dans l'ESP32. Finalement, les résultats d'essais présentés et discutés confirment la qualité et l'originalité de ce nouveau dispositif de commande numérique des enceintes de conservation des produits en cuir.

MOTS-CLEFS: Dispositif, Électronique, Contrôle, ESP32, Enceinte, Anti-moisissure, Conservation du Cuir.

1 INTRODUCTION

Le cuir est un matériau provenant d'une peau animale ayant reçu un processus de tannage. Cette nouvelle matière imputrescible appelée cuir, va encore passer par différentes étapes de modifications et de finitions avant d'être sujette de bonnes caractéristiques visuelles et techniques. Néanmoins, les qualités du cuir varient en fonction de l'animal d'origine et des opérations de finition qui lui sont appliquées [1].

La fabrication du cuir comporte trois phases: la préparation de la peau pour le tannage, notamment l'élimination des poils et des chairs qui adhèrent à la peau, le tannage et le corroyage-finissage. A cette dernière étape, on a recours à diverses

Corresponding Author: Agathe Matenou

opérations mécaniques pour façonner et lisser le cuir et aux traitements chimiques pour le teindre, le graisser, l'assouplir et lui appliquer un état de surface fini. Tous ces procédés de traitement peuvent être réalisés dans une même installation [2]. Le tannage est une étape primordiale dans la fabrication du cuir puisqu'il permet la transformation des peaux animales brutes en cuir. Au cours de leur immersion dans un bain tannant, elles acquièrent une résistance à l'hydrolyse et à la putréfaction par combinaison chimique irréversible entre le collagène et la substance tannant [3], [4]. Le tannage est l'opération qui consiste à transformer la peau en cuir grâce à des tanins, substances de nature différente (végétale, minérale ou combinée) qui permettent de passer d'une peau putrescible, à une matière imputrescible dite cuir [5]. Le cuir est utilisé dans plusieurs domaines parmi lesquels: sellerie, maroquinerie, cordonnerie, bourrellerie, fabrication de vêtements, ganterie, gainerie, reliure, sculpture, fabrication de meubles et d'armurerie [6]. Cependant, les produits à base du cuir nécessitent un entretien régulier ainsi que des soins spécifiques, en vue de les protéger dans les milieux d'utilisation et de conservation, des causes d'altération surfacique telles que: exposition aux rayons solaires directs, rayons ultras violets, niveau d'humidité élevé, chaleur intense, variations de température [7], [8].

Dans cet article, on s'intéresse au problème de conservation d'articles de luxe en cuir dans les résidences domestiques. Dans ce domaine d'application, la détérioration des produits de luxe en cuir résulte surtout du flux important de température ambiante et du niveau d'humidité élevé. Les solutions technologiques les plus connues pour une bonne conservation de produits en cuir sont: enceintes adiabatique avec compartiment iso-thermique [7], coffret et armoire de rangement [8], [9], séchoir à sac isotherme ([10], [11]), et incubateurs [12]. Malheureusement, les lacunes de ces solutions technologiques traditionnelles sont multiples, à savoir: absence d'indicateurs effectif de température et de niveau d'humidité, manque de spécifications techniques de la qualité des services de protection, absence d'instrument de dialogue opérateur, etc.

Au vu de toutes ces limitations fonctionnelles, techniques et opérationnelles, cet article présente une nouvelle solution technologique de conservation de produits en cuir. Cette solution est une enceinte électronique-textile de conservation d'articles textiles de luxe en cuir, à base de la technologie de commande numérique assistée par microcontrôleur ESP32, en vue de maintenir la température interne de l'enceinte entre 18 °C et 25 °C ainsi que le taux d'humidité relative entre 50 % et 60 %.

La section 2 de l'article porte sur les outils et méthodes d'étude et de prototypage du modèle d'enceinte proposé. Dans la section 3, les résultats obtenus sont présentés et discutés. Enfin la conclusion de l'article est prévue dans la section 4 suivie des références bibliographiques.

2 OUTILS ET METHODES

2.1 OUTILS MATÉRIELS ET MÉTHODES

Le schéma bloc de notre nouveau dispositif de contrôle assisté par microcontrôleur est présenté dans la Fig.1. En plus des tâches d'acquisitions numérique en temps réel des données de l'environnement interne de l'enceinte, ce microcontrôleur doté d'un média embarqué WIFI, est aussi chargé d'assurer les fonctions de communication sans fil avec un Smartphone moniteur virtuel de données de l'environnement interne de l'enceinte de rangement de produits textiles de luxe.

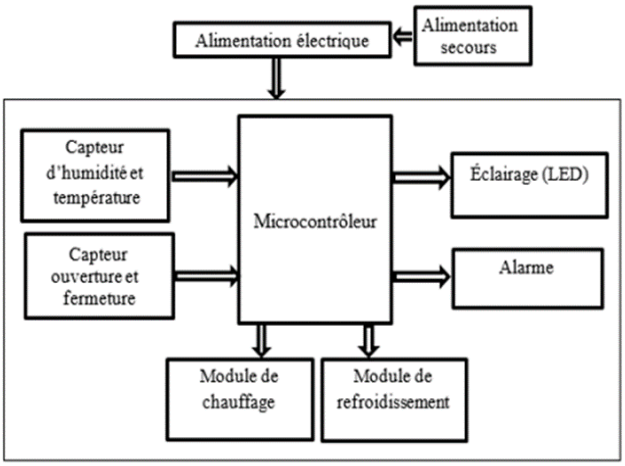
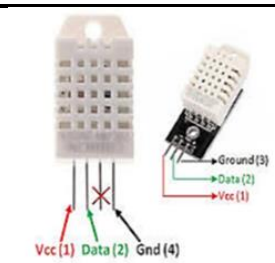
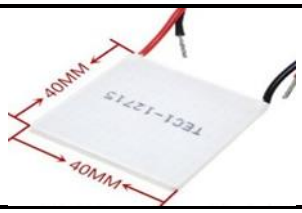


Fig. 1. Schéma bloc du dispositif à microcontrôleur proposé

Le tableau 1 décrit les caractéristiques techniques des principaux outils matériels requis pour la mise en œuvre du schéma bloc de la Fig. 1. Au vu des spécifications détaillées contenus dans le tableau 1, il est important de préciser à ce point que:

- Tous les modules matériels constitutifs présentés dans le tableau 1 pour notre modèle d'enceinte électronique-textile, sont des produits peu encombrants, de bonne qualité et surtout moins cher même pour la vente à l'unité.
- Les autres besoins matériels requis pour le montage du prototype expérimental, et la conduite des essais en temps réel ont été omis intentionnellement de ce tableau, parce qu'ils font partie des ressources logistiques communes du laboratoire de notre recherche.

Tableau 1. Spécifications techniques des outils matériels

N^0	Modules	Aspects	Fonctions	Caractéristiques
1	ESP32		Acquisition de données, Commande numérique, Serveur Bluetooth	• Wi-Fi: 2.4 GHz ~ 2.5 GHz • Bluetooth v4.2 BR/EDR et BLE ADC, DAC, GIO
2	Capteur DHT22		Capteur de température et d'humidité	• Alimentation 3.3 - 6 V • Signal de sortie via un bus unique, avec plage d'humidité 0 - 100 % et température - 40°C-80 °C • Dimensions: 22 * 28 * 5mm
3	Module à effet Peltier		Utiliser pour refroidir enceinte en cas d'excès de chaleur et pour chauffer enceinte en cas de refroidissement	• Model: TEC1-12715 • Puissance 165 W • Tension: 0 - 15.4 V DC • Size: 40mm x 40mm x 4mm
4	Bandes LED		Éclairage interne de l'enceinte	• Diamètre de 42,1 mm • Hauteur 3,5 mm • LED 24 pièces • Watts totaux 0,3 W • Volts 12 Volts CC • Durée de vie 20 000 heures
5	Interrupteur de fin de course		Pour commander allumage et l'arrêt des lampes LED Pour contrôler la mise en marche /arrêt des LED	• Courant maximum 15 A • Tension Vca 500V Max • Tension Vcc 250V Max • Longueur 39.4 mm • Largeur 49.2 mm • Dimensions 39,4 x 49,2 x 17,45 mm
6	Radiateur		Echange d'énergie	30 x 23 x 16 mm

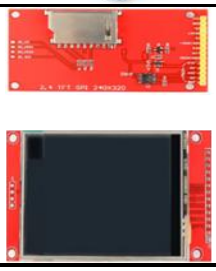
7	Module RTC		Horloge de précision	• Interface: I2C • Dimension: 32 x 23 x 11 mm
8	Afficheur LCD 2.4 TFT SPI ILI9341 240X320		Module LCD de monitoring de données	• Couleur TFT, 2.4 pouces, 240X320, • Interface SPI Drive ILI9341, 2.4
9	BUZZER sonore		Emet le son à un temps T selon le fonctionnement	• Dimensions de l'article L x l x H20 x 20 x 20 millimètres • Poids de 10 Grammes
10	Ventilateurs		Propagation des énergies	• Tension, alimentation 12V • Taille du cadre 80mm • Débit: 46.5cu. ft/min • Débit, métrique: 79m^3/h • Évaluation bruit: 37dBA • Roulement: Aiguille

Tableau 2. Principaux outils logiciels utilisés

N°	Logiciels	Fonctions
1	EasyEDA	Outil gratuit de CAO électronique pour les particuliers.
2	Fritzing	Fritzing est un outil de création de schéma de montage virtuel de système électronique, avec possibilité de génération automatique du schéma de principe complet.
3	Arduino EDI C++ Ver 1.8.9	Plateforme de base pour l'installation ses drivers de cartes Arduino et compatibles ESP32, ESP8266,...) et pour le développement d'applications C/C++ sur cible microcontrôleurs
4	Pilotes ESP32	Pour compatibilité de ESP32-WROOM-32 dans Arduino IDE C++
5	Pilote de l'écran LCD	Pour compatibilité au bus de l'ESP32
6	Matlab	Tracé des graphes des données de température et d'humidité

2.2 OUTILS LOGICIELS ET MÉTHODES

Plusieurs types d'outils logiciels ont été utilisés dans le cadre des travaux d'implémentation de logiciels d'application de l'enceinte électronique programmable. Le tableau 2 présente les spécifications techniques et opérationnelles des principaux logiciels utilisés. La Fig. 2 présente le schéma de principe virtuel du dispositif électronique proposé, créé dans le logiciel EasyADEA. Puis le schéma de montage virtuel de la Fig. 3 est crée dans Frizing.

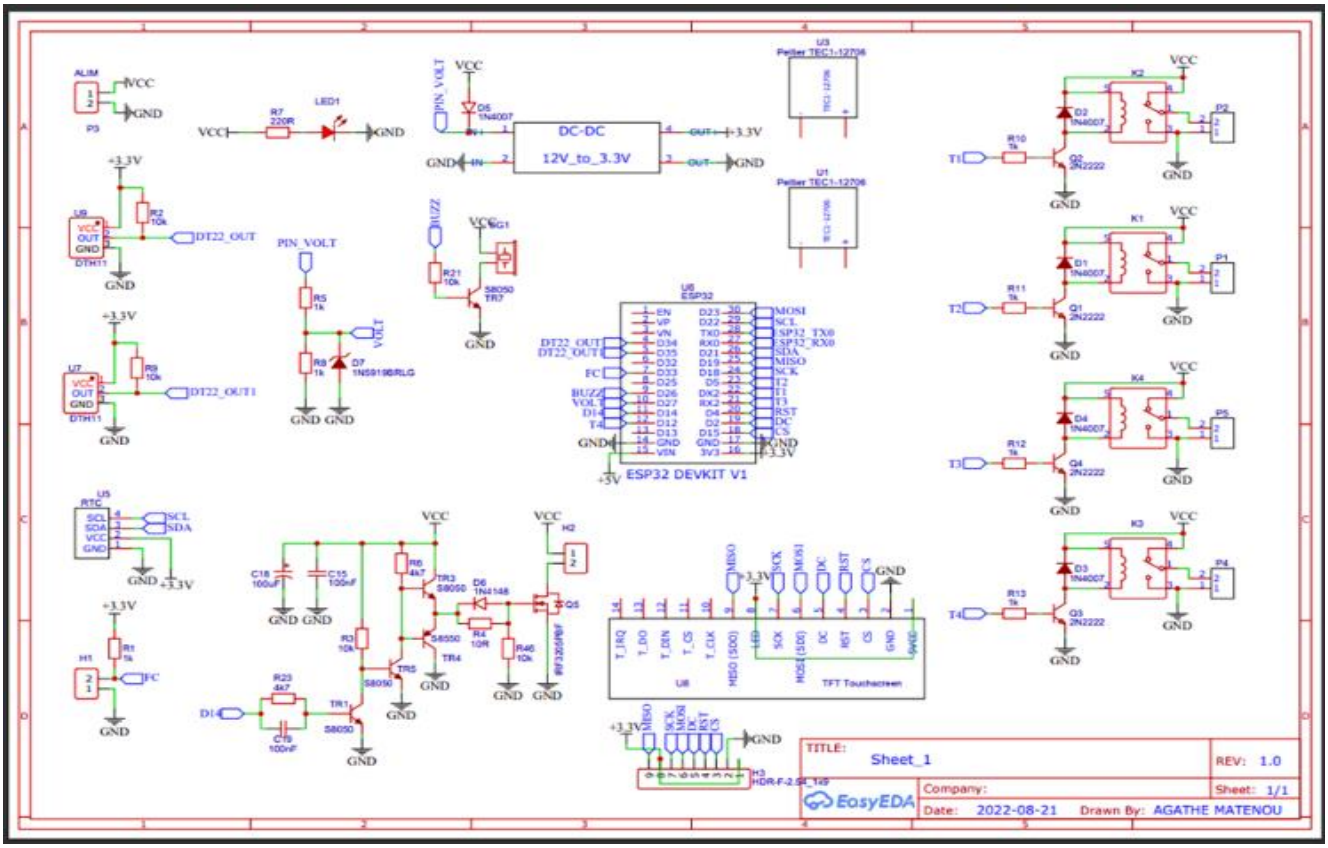


Fig. 2. Schéma de principe virtuel du dispositif électronique proposé.

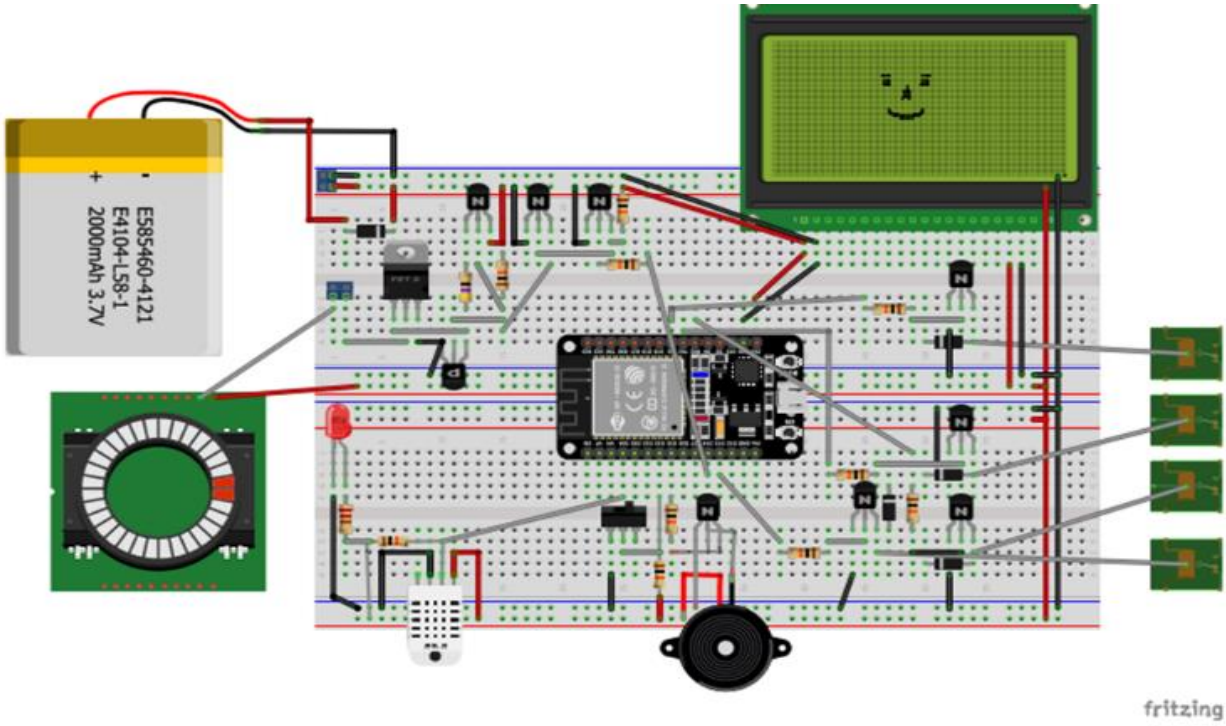


Fig. 3. Schéma du montage virtuel dans Fritzing

Par ailleurs, l'algorithme de programmation du logiciel d'application est celui présenté dans la Fig. 4. Puis, une copie d'écran de l'application dans Arduino IDE-C++ est présentée dans la Fig. 5.

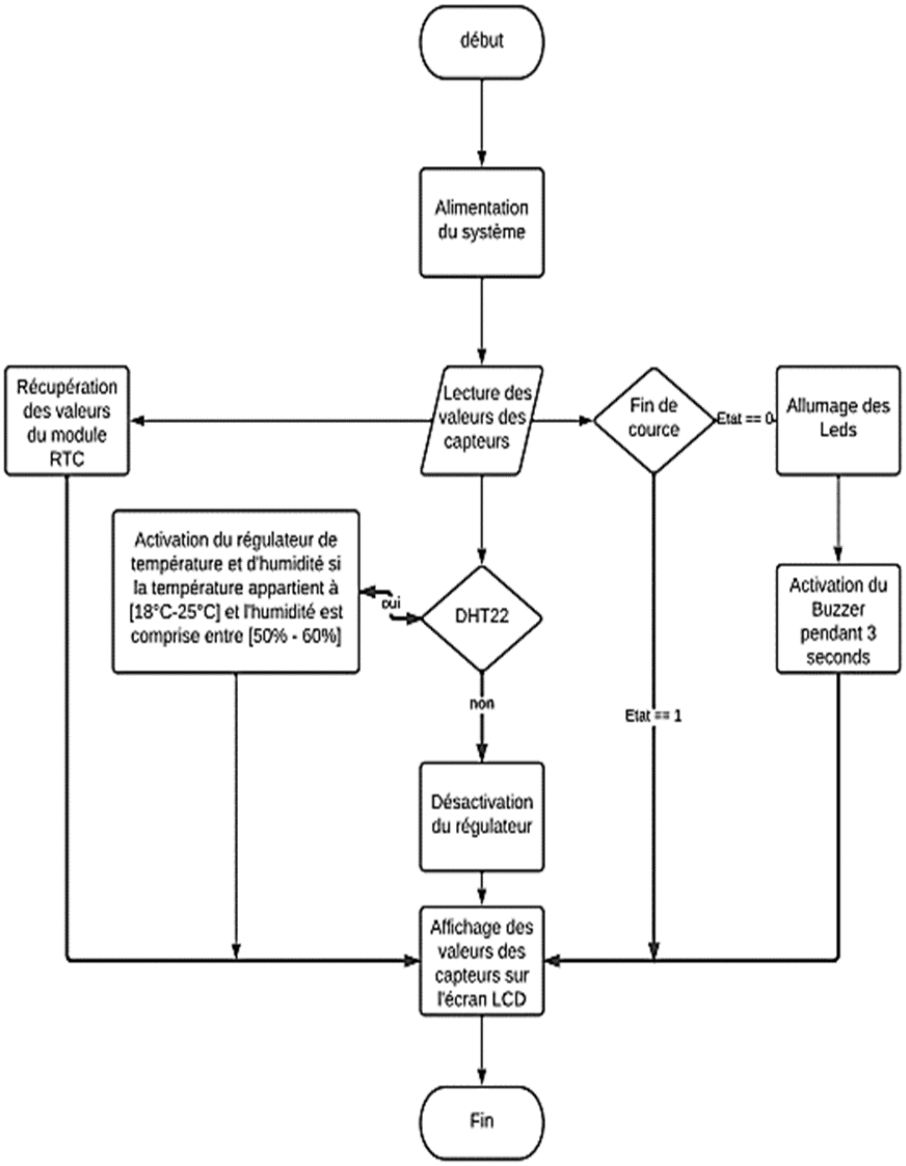


Fig. 4. Algorithme de programmation du logiciel d'application

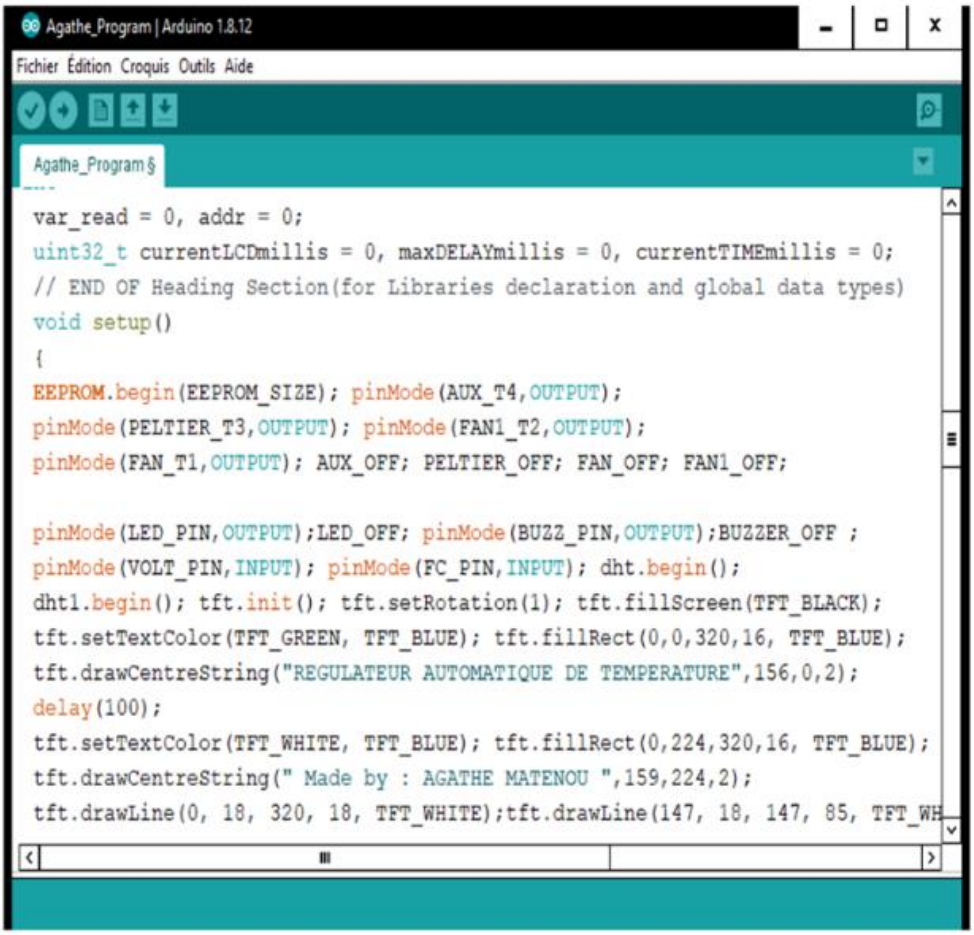


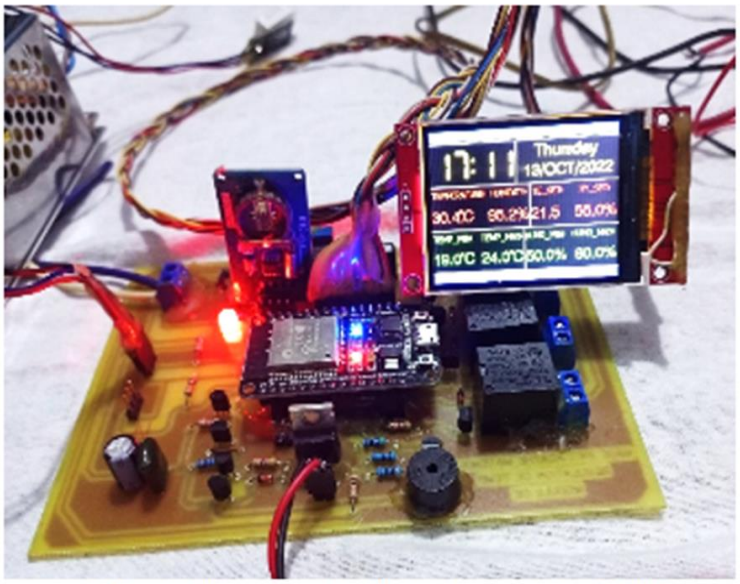
Fig. 5. Copie d'écran d'une fenêtre du programme d'application dans Arduino C++.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

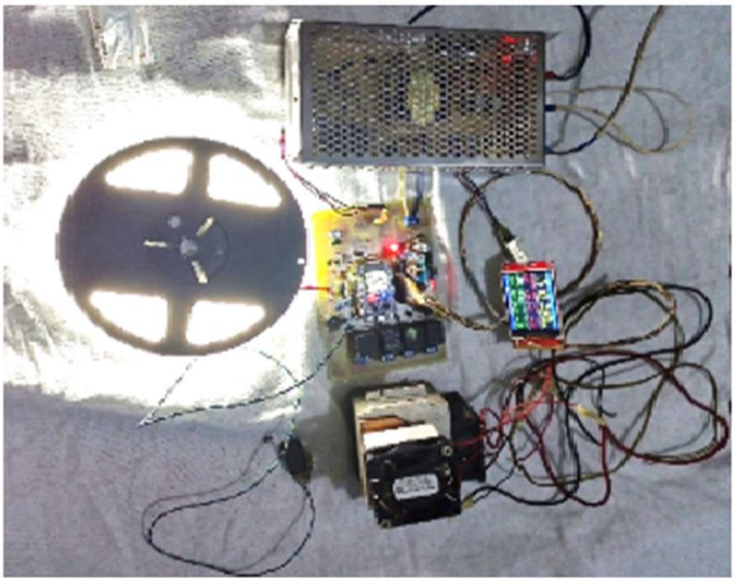
Un prototype réel du dispositif électronique étudié dans cet article a été réalisé en vue d'effectuer des tests de qualité. Une photo du prototype ainsi réalisé est présentée dans la Fig. 6a en situation réelle de service d'instrumentation électronique. Par ailleurs, un milieu expérimental complet bien aménagé joue le rôle d'une enceinte électronique-textile lors des essais expérimentaux.

Il est important de constater que le moniteur LCD TFT Couleur de la Fig. 6a, affiche en temps réel une base de données d'instrumentation électronique de son environnement. Citons comme exemples:

- Date et heure;
- Température;
- Niveau d'humidité.



a) Dispositif d'instrumentation électronique assisté par ESP32



b) Plateforme expérimentale aménagée pour des essais

Fig. 6. Plateforme expérimentale

Par ailleurs, le contrôle de la régulation de la température et de l'humidité est aussi assurée dans les plages de valeurs favorables aux conditions optimales de conservation des produits de luxe cuir dans les milieux résidentiels. Rappelons que ces plages sont [18 °C- 25 °C] pour la température, et de [50% 60 %] pour le niveau d'humidité.

Des échantillons de données expérimentales de l'enceinte, affichés par notre dispositif d'instrumentation en service dans l'enceinte, ont été collectés puis importés et représentés dans le logiciel Matlab, a permis d'observer graphiquement la tendance des variations pendant une période de 30 min. La Fig. 7 montre la cinétique de variations des données entre 17 h et 17 h 30 min. Dans chaque cas, il existe un point pour lequel la pente de variation devient négative. Ce point survient à 17 h 42 min pour la température, et correspond à 17 h 38 min pour l'humidité. Cependant, il faudrait des études répétitives sur un intervalle de temps suffisant découvrir des lois de variation plus fiables.

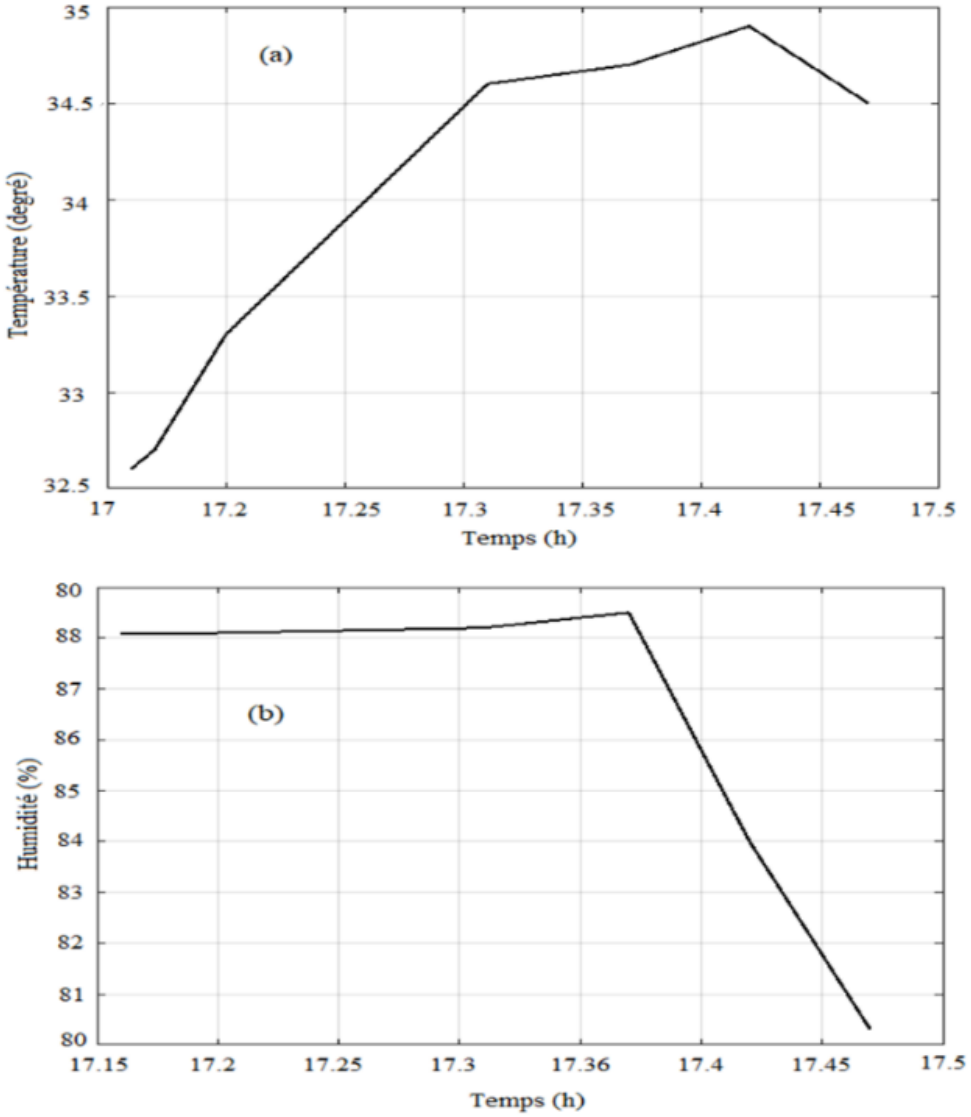


Fig. 7. Échantillons de données de variation de la température et de l'humidité

4 CONCLUSION

Le dispositif présenté et bien testé expérimentalement dans cet article, est une solution technologique innovante proposée pour les meilleures conditions de conservation des produits de luxe en cuir, dans une enceinte à paroi interne adiabatique, régulée en température et en niveau d'humidité. Les résultats d'essais du prototype réalisé dans une enceinte expérimentale, ont prouvé la faisabilité, l'ingéniosité et la qualité de service de ce dispositif. Un modèle d'enceinte unifié à vocation électronique-textile devra être construit en vue de la conquête du marché actuel des produits intelligents. Par ailleurs, une version plus étendue équipée de services connectés via Bluetooth et WIFI à un moniteur virtuel Android serait une autre opportunité de conquérir aussi le marché actuel et à venir de produits IOT (Internet of Thinks). Ces nombreuses perspectives feront l'objet d'activités de recherche en cours et avenir.

CONTRIBUTION DES AUTEURS

Mme Agathe Matenou a étudié et choisi les éléments composants électroniques utilisés dans de cet article. Elle a mis en œuvre et testé les schémas de simulation électronique virtuelle ainsi que l'organigramme de programmation de l'ESP32 dans Arduiono C++. Elle a enfin contribuer à la réalisation et aux essais d'un prototype expérimental de l'enceinte originale initiée dans cet article pour la conservation d'articles de luxe en cuir dans les milieux domestiques.

Jean Mbihi a supervisé, révisé et validé toutes les phases d'exécution des travaux de conception, de prototypage et d'interprétation des résultats d'essais du 1e prototype d'enceinte originale présentée dans cet article. Il a rédigé le résumé, l'abstract et la conclusion de l'article, puis a aussi expertisé et révisé les 04 sections constitutives du manuscrit qui ont été rédigées par *Mme Matenou Agathe*.

REFERENCES

[1] «Les types de cuir et leurs caractéristiques - Pachamama - sacs en cuir«, Pachamama, 10 avril 2020. https://www.pachamama-handcraft.com/fr/ types-de-cuir/ (consulté le 3 août 2022).

[2] « Chapitre 88 - Le cuir, la fourrure et la chaussure ». http://www.ilocis.org/fr/documents/ilo088.htm (consulté le 3 août 2021).

[3] P. Richardin, C. Capderou, F. Flieder, S. Bonnassies, et D. Raison, « Analyse de quelques tannins végétaux utilisés pour la fabrication des cuirs », 1988, p. 151-182.

[4] Thomas, « Leçon 1 : Les différents types de cuir. », 17 mars 2014. https://leblogdemonsieur.com/lecon-1-les-differents-types-de-cuir/ (consulté le 3 août 2022).

[5] « Les étapes de fabrication de cuir ». https://conseilnationalducuir.org/dossiers-decouverte/qu-est-ce-que-le-cuir (consulté le 3 août 2022).

[6] « Cuir«, Wikipédia. 17 septembre 2022. Consulté le: 11 octobre 2022. [En ligne]. Disponible sur: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Cuir&oldid=197041260.

[7] « Enceinte : définition de « enceinte » », La langue française. https://www.lalanguefrancaise.com/dictionnaire /definition/enceinte (consulté le 31 août 2021).

[8] G. Coqueugniot, « Coffre, casier et armoire : la Kibôtos et le mobilier des archives et des bibliothèques grecques » , Rev. Archeol., vol. n° 44, no 2, p. 293-304, 2007.

[9] W. Bernard, « Les différents types de meubles », p. 15.

[10] J. Moon, « Cooler bag«, US20090049859A1, 26 février 2009 Consulté le: 1 septembre 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://patents.google.com/patent/US20090049859A1/en.

[11] « TEAMOOK Sac Repas Lunch Bag Sac à Déjeuner Sac Fraîcheur Portable Isotherme Hibou Vert 22cm X 16cm X 12cm : Amazon.fr: Cuisine et Maison ». https://www.amazon.fr/Repas-D%C3%A9jeuner-Fra%C3%AEcheur-Portable-Isotherme /dp/B01LYR0PZS/ref=sr_1_4?dchild=1&keywords=sac+isotherme&qid=1630502741&sr=8-4 (consulté le 1 septembre 2021).

[12] Elbachir Mohammed Ilyes & Benrabeh Ismail, « Étude et réalisation d'un incubateur automatique a œufs ». novembre 2020.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1264-1280
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Comparative evaluation of the loss of mass, under the effect of corrosion, and the corrosion rate that initiates the cracking of asphalt concrete, steel bars for reinforced concrete used in constructions in Senegal

El Hadji Amadou Fall SY[1], Dame KEINDE[1], Malang Bodian[1-2], and Modou Fall[2]

[1]Department of Civil Engineering, High School Polytechnic of Dakar, Cheikh Anta Diop University, Dakar, Senegal

[2]Chemistry Department, Cheikh Anta Diop University, Dakar, Senegal

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This article presents the study of the behaviour of reinforced concrete steels, used in constructions in Senegal, under the effect of corrosion. The study is carried out on locally manufactured steels from three (03) companies located in Senegal and on control bars imported from France. Type 1 (E1), Type 2 (E2) and Type 3 (E3) steels are locally manufactured and Type 4 (E4) steels come from France. For each type of steel, samples with diameters of 8 mm, 10 mm and 12 mm were used. Mass losses were evaluated after immersion of these samples in a corrosive solution. For each type of steel and for all the diameters studied, the corrosion rate that initiates cracking of the asphalt concrete was evaluated from the actual diameter of the bars and the thickness of the nominal coating. From the mass lost over time, correlations between duration and mass loss were established for all diameters of the different types of steel. These relationships made it possible to calculate the time required to reach the corrosion rate that initiates concrete cracking. The results indicate that 66.67% of the steels studied, of local manufacture, have a corrosion time that initiates cracking of concrete lower than that of the control bars imported from France. Type E1 steels with a diameter of 8 mm have a duration to reach the corrosion rate that causes cracking of concrete, equal to 49.71% of the duration of type E4 steels. These results indicate that the steels used in construction in Senegal do not have the same behaviour vis-à-vis corrosion.

KEYWORDS: Local manufacturing, structure, quality of materials, reinforcement, durability.

1 INTRODUCTION

For the durability of reinforced concrete constructions, it is essential to use reinforcements with good corrosion resistance [1]. Indeed, corrosion of steels can have several consequences on reinforced concrete structural elements. Among the consequences, we can note a reduction in the section of the reinforcement in a state of corrosion, which can lead to a decrease in the resistant moment. This reduction of the resistant moment can go as far as the collapse of the structure. In Senegal, there are local companies that manufacture reinforcement for reinforced concrete. However, there is no independent body that certifies the quality of steels before they are used in constructions. The final report of a technical commission of May 2021 [2], following building collapses in Senegal, under the direction of the Ministry of Urban Planning, Housing and Public Hygiene, indicates that the poor quality of materials is one of the causes of building collapse in Senegal.

Reinforced concrete steels, used in construction in Senegal, are imported or manufactured by locally based companies. For the safety and durability of constructions, the choice of quality materials is necessary. Knowledge of the characteristics of materials by construction stakeholders is often lacking during construction, especially steel. At the time of construction, the actors have no information on the quality of the steels, to adapt their choice of materials according to the level of exposure of the structure.

Corrosion of steels in structures made of reinforced concrete often causes cracks on the asphalt concrete. In this case, the time it takes before the structure gives way depends essentially on the rate of loss of mass of the steels.

Research has shown that the loss of mass of steels caused by corrosion leads to a loss of adhesion between steel and concrete [3-7], at the level of reinforced concrete structures. Sulaiman et al. have shown, in the course of their work, that the

shear stress decreases with increasing the degree of corrosion of steels [4]. For a fixed corrosion rate, the results indicate that the decrease in adhesion stress is more significant on larger diameter reinforcements.

These authors also showed that the high rate of corrosion leads to a loss of adhesion between steel and concrete. The results obtained through the results indicate the importance of having information on the sensitivity of locally manufactured steels to corrosion.

Knowledge of the rate of mass lost over time, at the level of steels, makes it possible to evaluate the rate of corrosion. The determination of the loss of mass, corroded steels, over time and the corrosion rate that initiates the cracking of concrete, make it possible to have a characterization of locally manufactured steels vis-à-vis their behavior in the face of corrosion. To date, no scientific study has evaluated, comparatively, the loss of mass, under the effect of corrosion and the corrosion rate that initiates the cracking of asphalt concrete, reinforced concrete steels used in the construction sector in Senegal.

The aim of this article is to study the behaviour of locally manufactured steel under the effect of corrosion compared to steels imported from France. Correlations between duration and loss of mass as well as the corrosion rate that initiates concrete cracking for each type of steel, for diameters 8 mm, 10 mm and 12 mm, are also presented.

2 MATERIALS AND METHODS

The steel bars used in our research were obtained directly from suppliers who sell to companies at the time of construction. Indeed, during the execution phase of the work, a large part of the companies buy the steels directly at the level of retail suppliers. Locally produced steels are sometimes identifiable by the initials of the producing company. For this study, three (03) types of locally manufactured steels and one type (01) of steel imported from France, which serves as a control material, are used. To ensure anonymity:

- locally manufactured steels are designated: type 1 (E1), type 2 (E2) and type 3 (E3);
- telltale steels from France are designated: type 4 (E4).

To avoid any confusion about the origin of the bars, only bars with the trademarks of the companies concerned are used. The study concerns steel bars with diameters of 8 mm, 10 mm and 12 mm, for each type.

The chemical composition of steel bar with a diameter of 10 mm, for all types studied (E1, E2, E3 and E4) is presented in Table (1) [8].

Table 1. Chemical compositions of 10 mm diameter steel bars [8]

Samples	Chemical elements - Contents (% mass)										
	C	S	P	N	Cu	Mn	V	Cr	Ni	Mo	Ceq
E1 (Loc.)	0.15	0.046	0.036	0.0088	0.22	0.544	0.0028	0.109	0.076	0.013	0.29
E2 (Loc.)	0.09	0.012	0.014	0.01	0.26	0.364	0.0012	0.101	0.125	0.017	0.2
E3 (Loc.)	**0.31**	0.041	0.028	0.0089	0.24	0.706	0.0037	0.181	0.094	0.018	0.49
E4 (Imp.)	0.22	0.03	0.022	0.001	0.45	0.626	0.0021	0.121	0.127	0.02	0.39

To assess the amount of mass lost, all types of steels are subjected to the same conditions of exposure to corrosion. For the conduct of the tests, a number of devices are required. An electronic balance was used for mass measurements, a pH meter (Figure 1) to indicate the pH (Hydrogen Potential) and temperature of the solution. Seawater, taken directly from the Atlantic Ocean in Dakar, was used as a corrosive solution.

Fig. 1. pH – Meter (Multi 350i/SET)

After obtaining steels with diameters Ø8, Ø10 and Ø12, for each type, six (06) lengths of 10 cm were cut on the same bar. The specimens used are six (06) for each diameter of locally manufactured steels imported from France. Once the bars have been cut by 10 cm in length as shown in Figure (2), they are cleaned with sandpaper and then rinsed with distilled water and dried. The purpose of this step is to remove dirt and possible deposits on the surface of the steel bars used.

Fig. 2. Measurement of sample length for mass determination

Each bar is placed in a container. For testing, seventy-two (72) containers, each containing 300 grams of corrosive solution, were used (Figure 3).

Fig. 3. Vessels used to assess the loss of mass of steels after immersion in a corrosive solution

The bars are then weighed using the electronic scale, to measure their initial mass (Mi), and placed in the containers.

After this step, the pH and temperature of the seawater are measured with the pH – meter. The average ambient temperature of the medium is 25 °C. The seawater is then poured into the containers containing the samples. Every thirty (30) days, the masses (Mj) are measured after cleaning the steel bars with distilled water and then brushed and dried. The pH of the solution also measured at this stage.

At each measurement, the lost mass is estimated from equation (1).

$$M = M_i - M_j \quad (1)$$

With:

M : Mass lost (in grams) during the period;

M_i : Initial mass of the bar (in grams);

M_j : Mass of the bar at the time of measurement (in grams).

For the rest of the test, the seawater used is changed after each measurement. After immersion for another thirty (30) days, the steps indicated above are repeated. The operation is performed for one hundred and eighty (180) days. The amount of mass lost is the average of the six (06) results of each diameter.

Excel was used for data processing, in particular for the calculation of the Standard Deviation and the correlations between the immersion time of the bars in the corrosive solution and the amount of mass lost for each type of bar studied for steels with diameters 8 mm, 10 mm and 12 mm.

Corrosion leads to an increase in the volume of steels. Thus, the pressure exerted on the asphalt concrete can cause cracking. The corrosion rate that initiates the cracking of concrete, steels used in constructions in Senegal with a coating of 20 mm, was evaluated on the basis of equation (2) obtained from the work of Thierry Vidal et al [9].

$$\%c = 100\left[1-\left[1-\frac{\left[60.24+74.56\left(e/\phi_0\right)\right].10^{-3}}{\phi_0}\right]^2\right] \quad (2)$$

With:

%c: corrosion rate that initiates cracking of concrete;
e : coating thickness (in mm);

ϕ_0 : diameter of the reinforcement (in mm).

The loss of mass at the level of the steels also impacts its characteristics, in particular the actual cross-section of the bar. For the determination of the residual section, after loss of mass, equation (3) was used [9].

$$A_s = \left(1 - \frac{\%_0 c}{100}\right) A \quad (3)$$

With:

A_s : residual section of the reinforcement (in cm^2);

$\%_0 c$: corrosion rate that initiates cracking of concrete;

A : initial section of the reinforcement (in cm^2).

3 RESULTS AND DISCUSSION

In this section, the results obtained from the mass loss tests and the corrosion rates that cause cracking of the concrete as well as the residual sections of the steel bars studied are presented.

3.1 LOSS OF MASS OF STEEL BARS

The amount of mass lost of bars of diameter 8 mm, 10 mm and 12 mm, for each type (E1, E2, E3 and E4), as a function of the immersion time in the corrosive solution is shown in Table (2). The results were obtained from equation (1).

Table 2. Quantity of mass lost by steels with diameters 8 mm (a), 10 mm (b) and 12 mm (c) after immersion in a corrosive solution as a function of time, for each type (E1, E2, E3 and E4)

(a)

Duration (days)	Lost mass - Diameter 8 mm							
	E1		E2		E3		E4	
	Mass lost (grams)	Standard Deviation	Mass lost (grams)	Standard Deviation	Mass lost (grams)	Standard Deviation	Mass lost (grams)	Standard Deviation
30	0.112	0.019	0.157	0.012	0.098	0.015	0.120	0.024
60	0.442	0.125	0.320	0.040	0.200	0.052	0.272	0.050
90	0.768	0.117	0.483	0.041	0.298	0.042	0.418	0.044
120	1.100	0.133	0.653	0.040	0.408	0.042	0.562	0.056
150	1.315	0.093	0.757	0.044	0.512	0.032	0.673	0.050
180	1.475	0.079	0.873	0.021	0.623	0.032	0.798	0.041

(b)

Duration (days)	Lost mass - Diameter 10 mm							
	E1		E2		E3		E4	
	Mass lost (grams)	Standard Deviation	Mass lost (grams)	Standard Deviation	Mass lost (grams)	Standard Deviation	Mass lost (grams)	Standard Deviation
30	0.172	0.036	0.120	0.014	0.153	0.014	0.107	0.020
60	0.343	0.058	0.287	0.037	0.473	0.169	0.298	0.052
90	0.525	0.044	0.453	0.040	0.800	0.193	0.480	0.048
120	0.717	0.059	0.593	0.027	0.958	0.078	0.655	0.045
150	0.868	0.057	0.707	0.012	1.100	0.079	0.780	0.042
180	0.995	0.030	0.825	0.019	1.307	0.116	0.897	0.027

(c)

Duration (days)	Lost mass - Diameter 12 mm							
	E1		E2		E3		E4	
	Mass lost (grams)	Standard Deviation	Mass lost (grams)	Standard Deviation	Mass lost (grams)	Standard Deviation	Mass lost (grams)	Standard Deviation
30	0.208	0.022	0.230	0.024	0.152	0.020	0.143	0.023
60	0.565	0.108	0.445	0.067	0.345	0.051	0.330	0.041
90	0.873	0.211	0.653	0.032	0.517	0.042	0.493	0.038
120	0.987	0.022	0.862	0.046	0.680	0.053	0.635	0.015
150	1.117	0.054	1.012	0.058	0.818	0.057	0.797	0.064
180	1.315	0.019	1.150	0.034	0.965	0.064	0.915	0.036

Tables (2a, b and c) show that steels used in construction in Senegal do not behave in the same corrosive environment.

Figure (4) shows the status of the solution at the time of measurements. This change can be explained by the presence of corrosion products.

Fig. 4. Colour change of corrosive solution at measurement time

The pH values of the solutions measured during tests are given in Table (3).

Table 3. pH measured at solution level for steels with diameters 8 mm (a), 10 mm (b) and 12 mm (c)

(a)

Duration (days)	pH of solutions - Diameter 8 mm			
	E1	**E2**	**E3**	**E4**
Initial (to)	8.74	8.74	8.74	8.74
30	7.98	8.10	8.15	8.05
60	7.71	7.88	7.95	8.10
90	7.99	7.85	7.88	7.89
120	7.87	7.59	7.67	7.59
150	7.78	7.89	7.75	7.75
180	7.98	8.05	7.94	7.97

(b)

Duration (days)	pH of solutions - Diameter 10 mm			
	E1	**E2**	**E3**	**E4**
Initial (to)	8.74	8.74	8.74	8.74
30	8.26	7.36	8.10	7.61
60	8.05	4.49	7.65	7.55
90	7.85	7.80	7.49	7.51
120	8.10	7.52	7.55	7.55
150	7.95	7.59	7.66	7.72
180	7.97	7.81	7.91	7.85

(c)

	pH of solutions - Diameter 12 mm			
Duration (days)	E1	E2	E3	E4
Initial (to)	8.74	8.74	8.74	8.74
30	8.26	7.42	8.38	7.51
60	7.13	7.41	7.50	7.49
90	7.89	7.40	7.48	7.47
120	7.57	7.41	7.46	7.52
150	7.80	7.56	7.56	7.54
180	7.90	7.85	7.89	7.82

Tables (3 a, b and c) indicate a decrease in the pH value, after thirty (30) days of immersion, for all types of bar studied. This decrease is due to a decrease in OH- ions or acidification of the medium. Indeed, in the presence of chloride, corrosion begins by pitting phenomenon after the formation of micro-batteries. According to Sandberg [10] and Bodian [11], these chloride ions act:

- By the formation of $FeCl_3$ or $FeCl_2$ ions, from reactions:

$$F_e \rightarrow F_e^{2+} + 2e^- \quad (4)$$

$$F_e + 3Cl^- \rightarrow FeCl_3^- + 2e^- \quad (5)$$

$$Fe^{2+} + 2Cl^- \rightarrow FeCl_2 \quad (6)$$

- Then, the ions formed consume the hydroxides present, according to the reactions:

$$FeCl_3^- + 2OH^- \rightarrow Fe(OH)_2 + 3Cl^- \quad (7)$$

and in the absence of oxygen in sufficient quantity:

$$FeCl_2 + 2OH^- \rightarrow Fe(OH)_2 + 2Cl^- \quad (8)$$

or in the presence of oxygen in sufficient quantity:

$$4FeCl_2 + 2O_2 + 6H_2O \rightarrow 4FeO.OH + 8HCl \quad (9)$$

These reactions show on the one hand that chloride ions are permanently "recycled", and on the other hand that the consumption of OH- ions (Equations (7) and (8)) leads to a decrease in the pH of the medium. In the presence of oxygen, which is in our case, equation (9) shows an acidification of the medium which explains the decrease in the pH of the medium with the immersion time of the steels in the corrosive solution.

The variation in pH values, depending on the type of steel, could be explained by the difference in the nature of the materials lost at the bar level over time.

In Table (4), the types of reinforcement studied are classified according to their level of sensitivity to corrosion, for the same diameter. A type classified "1" being less sensitive and a type classified "4" being the most sensitive.

Table 4. Classification of the 8 mm, 10 mm and 12 mm bars studied according to their level of corrosion resistance after immersion in seawater

Samples	Classification of steel bars			
	E1	**E2**	**E3**	**E4**
Diameter 8 mm	4	3	1	2
Diameter 10 mm	3	1	4	2
Diameter 12 mm	4	3	2	1

The results obtained show that locally produced steels do not have the same level of sensitivity to a corrosive environment. It was also noted that the behaviour of locally produced steels depends on their diameter. Indeed, the classification of bars according to their susceptibility to corrosion is not the same according to the diameters.

These observations can be explained by a difference in the raw material used by companies for the manufacture of bars. Rebar is made from ferrous waste (scrap metal as raw material), but also from imported billets. There is also the lack of certification of steels used in construction in Senegal, to guarantee the quality of materials. The chemical composition of 10 mm steel bar (E1, E2, E3 and E4), presented in Table (1), will be used to analyze their level of corrosion susceptibility. The results show that locally produced steels do not have the same chemical composition. Since carbon can play a harmful role in relation to the corrosion of steels [12], its low rate, with a value of 0.09%, at the level of type E2 steels may justify the fact that they are less sensitive to corrosion. The 0.31% carbon content of type E3 steels could justify the amount of mass lost compared to other types. The carbon content of type E3 steels is also higher than the limit value of 0.24% for the weldability of reinforced concrete steels according to standard NF EN 10080 [13].

In addition, although type E4 steels have a higher carbon content value (0.22%), they have a better behavior than type E1 steels. This result can be explained by the rate of 0.45% copper at type E4 bars, while E1 has a copper rate of 0.26%. Indeed, copper increases the resistance of the bar to corrosion [14].

3.2 CORROSION RATE THAT INITIATES CRACKING AND RESIDUAL SECTION

For each type (E1, E2, E3 and E4), the corrosion rate that initiates cracking was determined from equation (2). This rate, which depends on the thickness of the coating of the steels and the diameter of the bar, makes it possible to evaluate the behaviour of steels used in constructions in Senegal.

The corrosion rate that initiates cracking was calculated for each type of steel, for diameters 8 mm, 10 mm and 12 mm. The results are presented in Table (5).

Table 5. Corrosion rate that initiates cracking of steels of types E1 (a), E2 (b), E3 (c) and E4 (d) for diameters 8mm, 10mm and 12 mm

(a)

Type steels - E1			
Reinforcement type	**Actual diameter (mm)**	**C: Cover (mm)**	**%C**
Ø8	7,81	20	6,322
Ø10	9,54	20	4,489
Ø12	11,55	20	3,254

(b)

Type steels – E2			
Reinforcement type	**Actual diameter (mm)**	**C: Cover (mm)**	**%C**
Ø8	7,82	20	6,315
Ø10	9,68	20	4,376
Ø12	11,64	20	3,212

(c)

Type steels – E3			
Reinforcement type	**Actual diameter (mm)**	**C: Cover (mm)**	**%C**
Ø8	7.76	20	6.405
Ø10	9.50	20	4.523
Ø12	11.64	20	3.212

(d)

Type steels – E4			
Reinforcement type	**Actual diameter (mm)**	**C: Cover (mm)**	**%C**
Ø8	7.85	20	6.268
Ø10	9.92	20	4.200
Ø12	11.90	20	3.096

Equation (2) and the results presented in Table (5) show that the corrosion rate that initiates cracking decreases with increasing the diameter of the bar.

Since the resistant moment of reinforced concrete structures depends on the steel section, it is essential to evaluate the steel bar section at the time of cracking. The residual section, at the corrosion rate that initiates cracking, was evaluated from equation (3). Table (6) shows the residual section values for each type of bar for nominal diameters of 8mm, 10mm and 12mm.

Table 6. Residual sections according to the corrosion rate that initiates cracking steels of types E1, E2, E3 and E4 for diameters 8 mm, 10 mm and 12 mm – Cnom = 20 mm

(a)

	E1		
	Ø8	Ø10	Ø12
%C	6.322	4.489	3.254
Dr (mm)	7.815	9.540	11.545
A (mm^2)	47.962	71.476	104.688
As (mm^2)	44.929	68.267	101.281

(b)

	E2		
	Ø8	Ø10	Ø12
%C	6.315	4.376	3.212
Dr (mm)	7.820	9.683	11.636
A (mm^2)	48.025	73.644	106.331
As (mm^2)	44.993	70.422	102.916

(c)

	E3		
	Ø8	Ø10	Ø12
%C	6.405	4.523	11.636
Dr (mm)	7.756	9.497	11.636
A (mm^2)	47.248	70.839	106.344
As (mm^2)	44.222	67.635	93.970

(d)

	E3		
	Ø8	Ø10	Ø12
%C	6.268	4.200	3.096
Dr (mm)	7.854	9.920	11.896
A (mm^2)	48.445	77.284	111.146
As (mm^2)	45.409	74.038	107.706

With:

Dr: Actual diameter (mm)
A: Actual section (mm^2)
As: Residual section (mm^2)

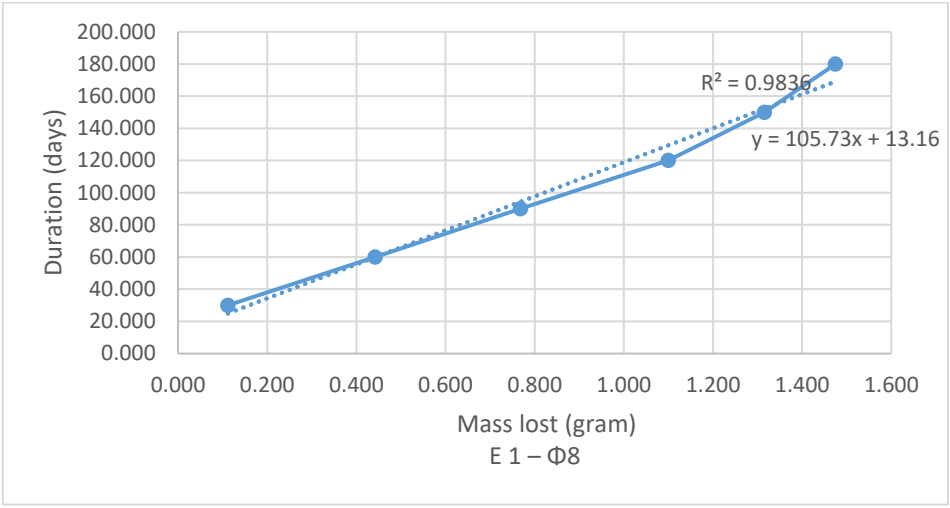
The results show that at the time of cracking, the cross-section of the steels decreases significantly. This reduction in section leads to a decrease in the strength of the structural elements.

3.3 RELATIONSHIP BETWEEN IMMERSION TIME AND CORROSION RATE

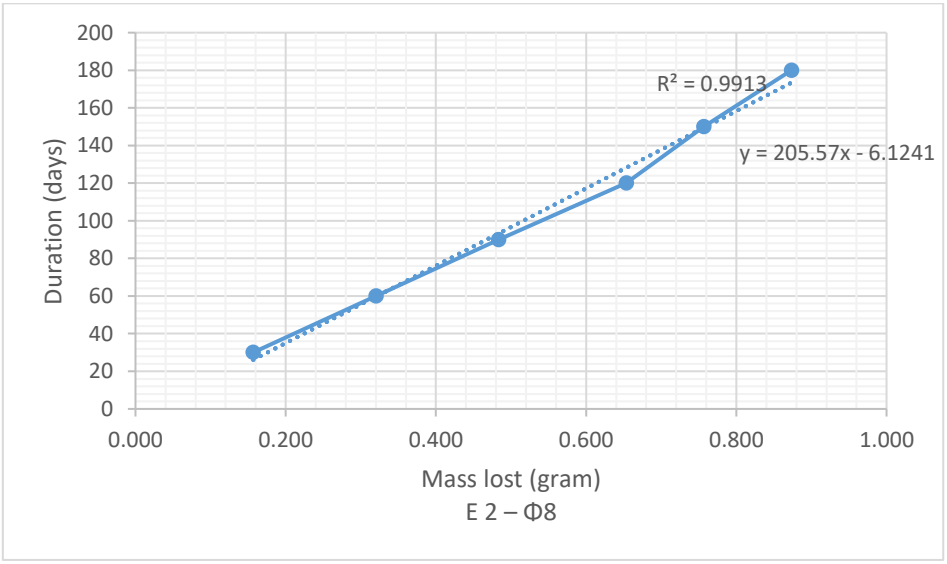
From the results of tests on the loss of mass of steels, correlations between the immersion time of the steels in a corrosive solution and the quantity of mass lost were established. These correlations concern all the diameters studied (8 mm, 10 mm and 12 mm) for each type (E1, E2, E3 and E4).

Figures (5, 6 and 7) show the experimental diagrams of the time required for the loss of a quantity of steel mass, for bars of nominal diameters 8 mm, 10 mm and 12 mm for types E1 (a), E2 (b), E3 (c) and E4 (d). The equations of the linear regression line and the coefficients of determination (R2) are also shown in the diagrams.

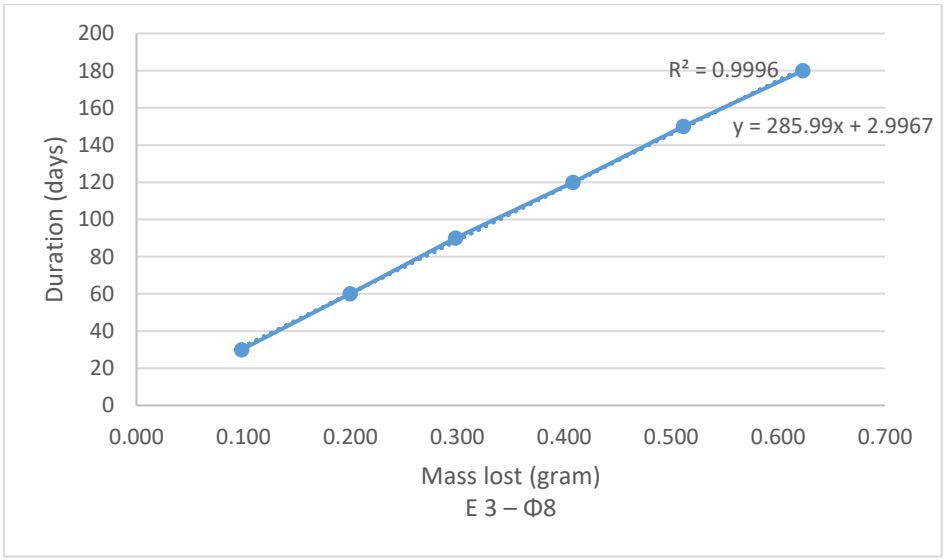
In the equations in figures (5, 6 and 7), "x" and "y" correspond respectively to the amount of mass lost and the duration of immersion in the corrosive solution.


200.000
180.000
160.000
140.000
120.000
100.000
80.000
60.000
40.000
20.000
0.000
Duration (days)
0.000
0.200
0.400
0.600
0.800
1.000
1.200
1.400
1.600
Mass lost (gram)
E 1 – Φ8
R² = 0.9836
y = 105.73x + 13.16

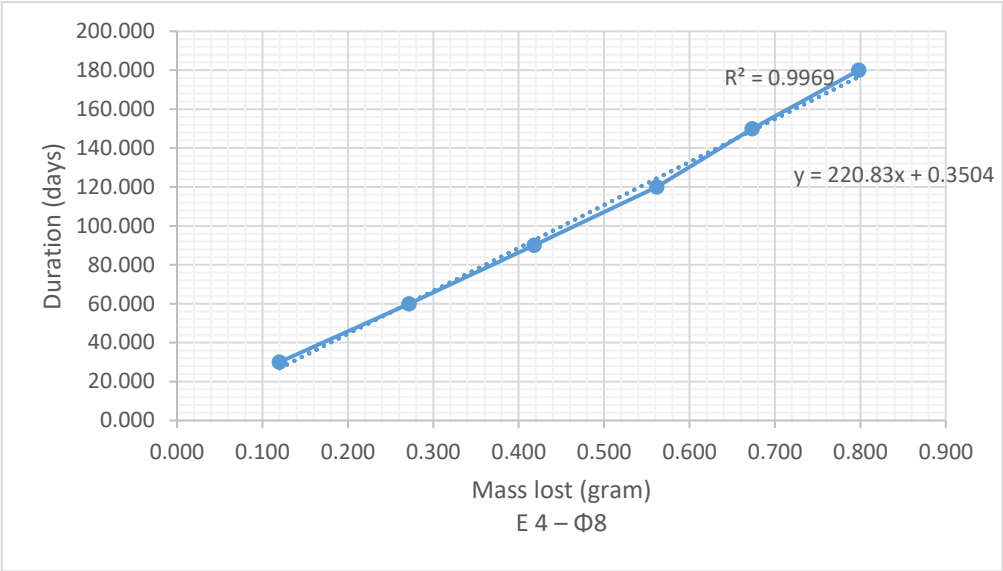
(a)


200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
Duration (days)
0.000
0.200
0.400
0.600
0.800
1.000
Mass lost (gram)
E 2 – Φ8
R² = 0.9913
y = 205.57x - 6.1241

(b)


200
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
Duration (days)
0.000
0.100
0.200
0.300
0.400
0.500
0.600
0.700
Mass lost (gram)
E 3 – Φ8
R² = 0.9996
y = 285.99x + 2.9967

(c)

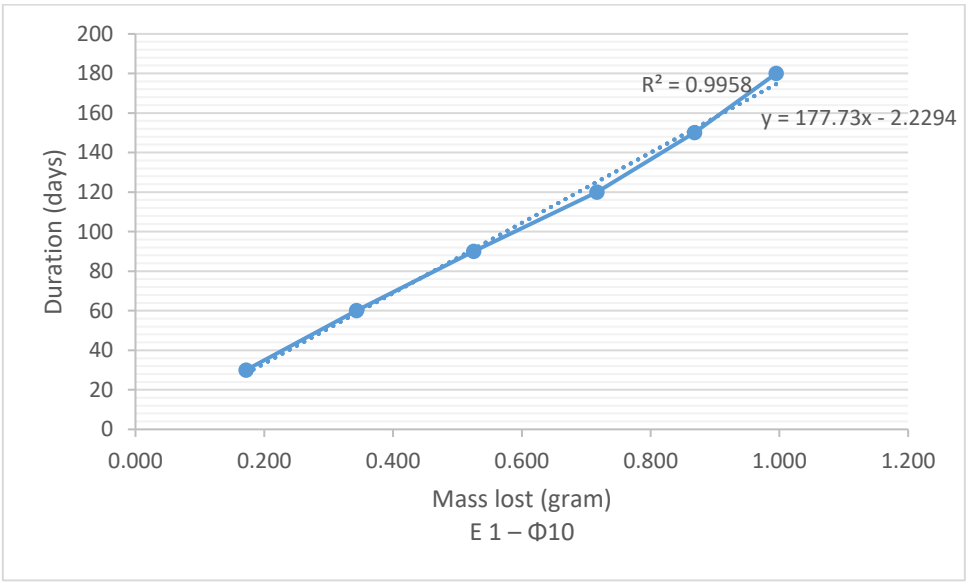


(d)

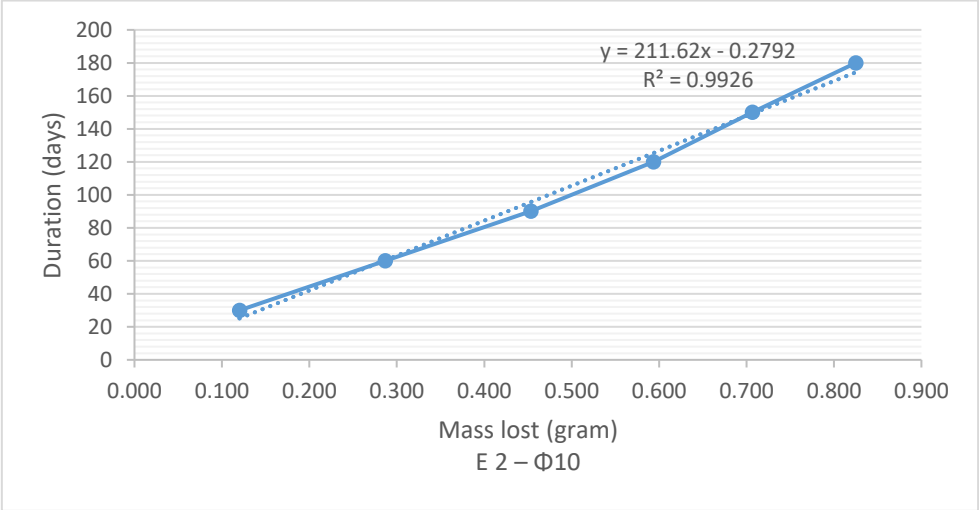
Experimental curve;

Linear regression line.

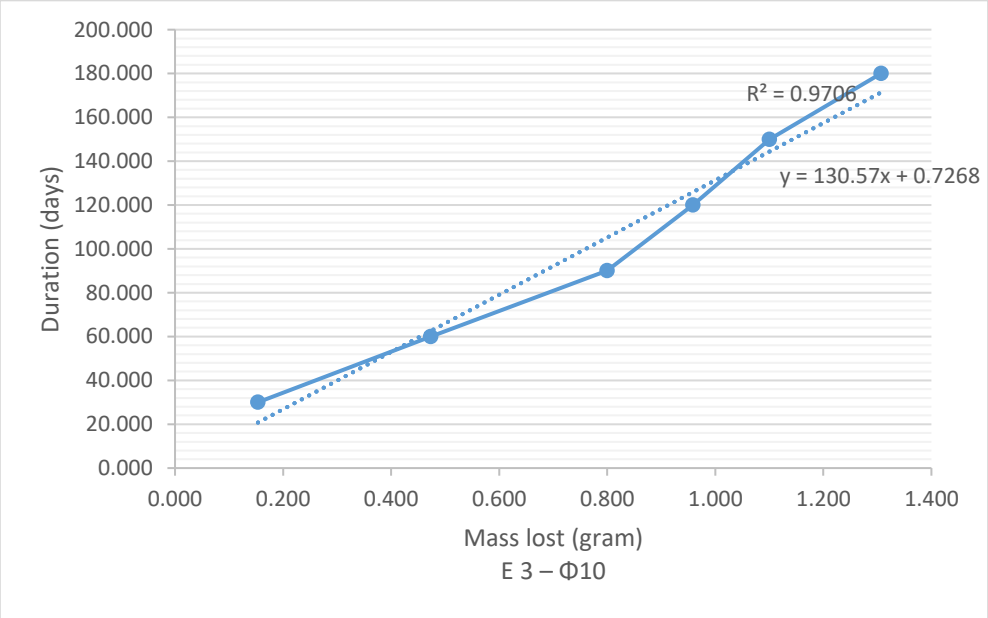
Fig. 5. Evolution of the immersion time as a function of the quantity of mass lost - Steels of types E1 (a), E2 (b), E3 (c) and E4 (d) for diameters 8mm



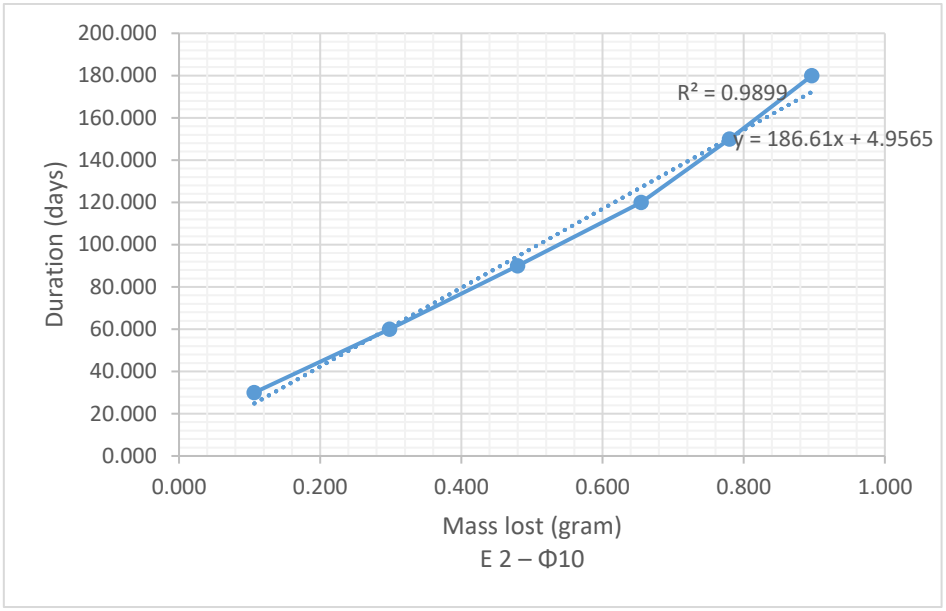
(a)


y = 211.62x - 0.2792
R² = 0.9926
Duration (days)
Mass lost (gram)
E 2 – Φ10

(b)


R² = 0.9706
y = 130.57x + 0.7268
Duration (days)
Mass lost (gram)
E 3 – Φ10

(c)

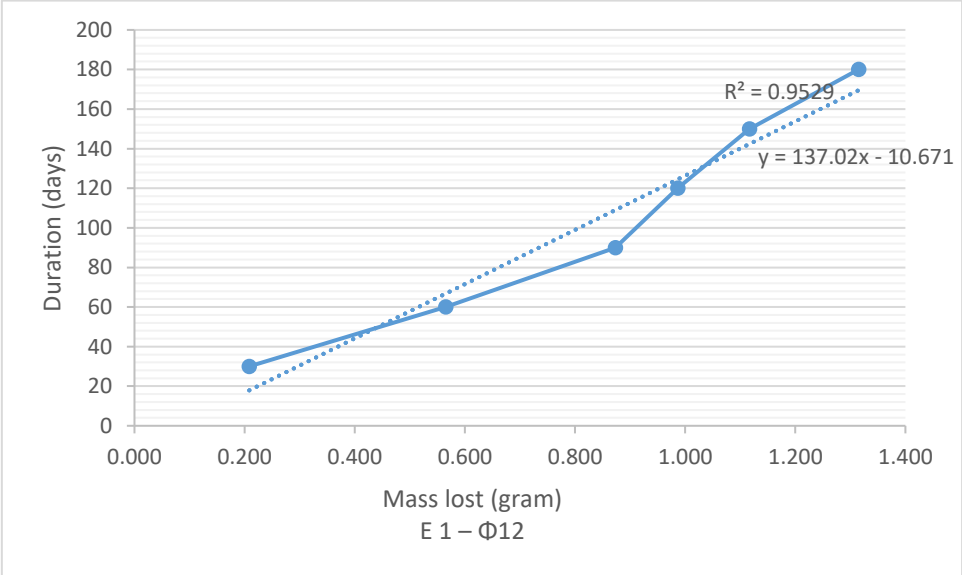


(d)

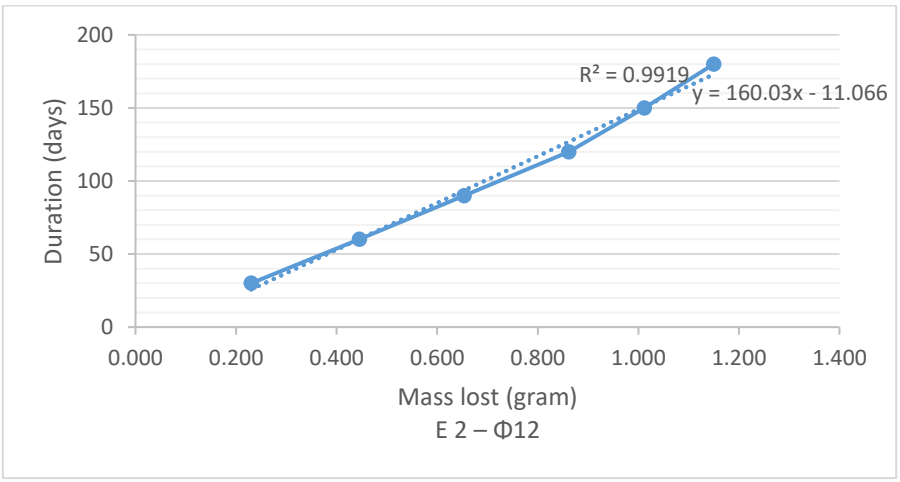
Experimental curve;

Linear regression line.

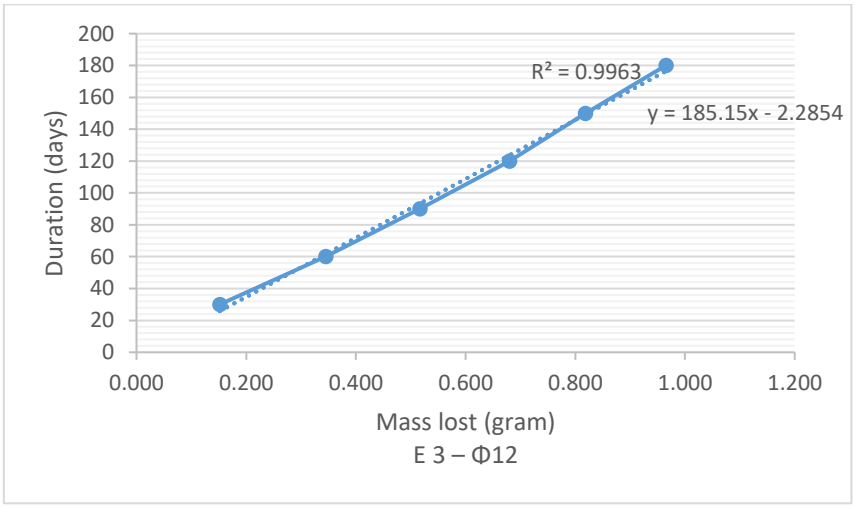
Fig. 6. Evolution of the immersion time as a function of the quantity of mass lost - Steels of types E1 (a), E2 (b), E3 (c) and E4 (d) for diameters 10mm



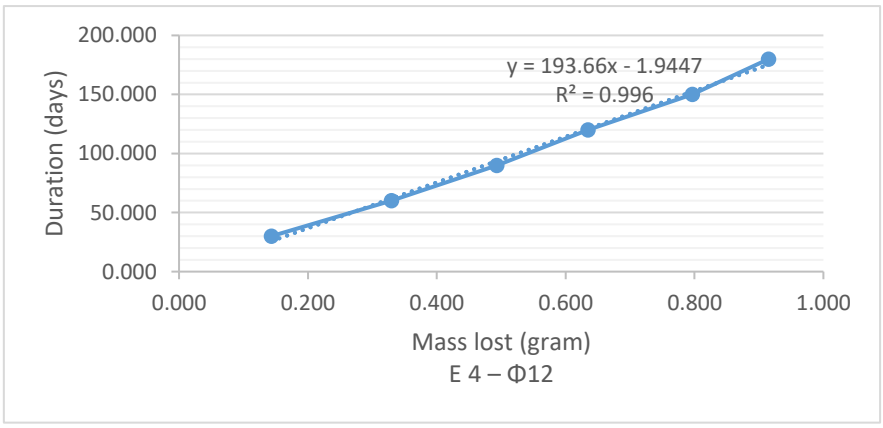
(a)



(b)



(c)



(d)

Experimental curve;

Linear regression line.

Fig. 7. Evolution of the immersion time as a function of the quantity of mass lost - Steels of types E1 (a), E2 (b), E3 (c) and E4 (d) for diameters 12mm

The results show that locally produced steels do not have the same corrosion behaviour. The relationships obtained from the linear regression lines, with good values of determination coefficients, make it possible to determine the time required to have a given quantity of mass loss.

Table (7) shows the useful time to achieve the loss of mass which initiates cracking for each type of steel studied, respectively for diameters 8mm, 10mm and 12mm.

Table 7. Time required to reach the corrosion rate of steels that causes cracking of asphalt concrete - Steels of types E1, E2, E3 and E4 for diameters 8 mm (a), 10 mm (b) and 12 mm (c) – Cnom = 20 mm

(a)

	Ø8			
	E1	**E2**	**E3**	**E4**
Initial mass (gram)	37.65	37.70	37.09	38.03
%C	6.322	6.315	6.405	6.268
Mass lost (gram)	2.381	2.381	2.376	2.384
Duration (days)	265	483	682	527

(b)

	Ø10			
	E1	**E2**	**E3**	**E4**
Initial mass (gram)	56.10	57.80	55.60	60.70
%C	4.489	4.376	4.523	4.200
Mass lost (gram)	2.518	2.529	2.515	2.550
Duration (days)	330	447	532	481

(c)

	Ø12			
	E1	**E2**	**E3**	**E4**
Initial mass (gram)	82,18	83,47	83,48	87,25
%C	3,254	3,212	3,753	3,096
Mass lost (gram)	2,674	2,681	3,133	2,701
Duration (days)	356	419	578	521

The results presented in Table (7) indicate that steels do not have the same duration to reach the corrosion rate that initiates cracking of asphalt concrete. This difference can be explained by the nature of the raw materials used in the manufacture of the products and the lack of independent control of the quality of the basic products. In addition, only locally manufactured steels type E3, for all diameters (8 mm, 10 mm and 12 mm), have a necessary duration that initiates the cracking of concrete longer than the duration of type E4 steels (control bars).

4 CONCLUSION

For the durability of constructions, it is essential to use quality materials. All the parameters that can go in the direction of the safety of the constructions must be taken into account. In the final report of May 2021 of a technical commission [2], following collapses, it is indicated that the poor quality of materials is one of the causes of building collapse observed in Senegal. In most cases, it is found that the steels are at a very advanced level of degradation. The results obtained in the context of our work make it possible to realize that the steels used in constructions do not have the same behavior in the face of corrosion. Thus, it will be essential to integrate this parameter for the certification of locally manufactured reinforcements. This will allow the actors of the construction to choose suitable bars according to the class of exposure of the structure. The results indicate that 66.67% of the locally manufactured steels studied (for bars of diameter 8 mm, 10 mm and 12 mm) have a corrosion time that initiates cracking of the asphalt concrete lower than that of the control bars imported from France. For type E1 steels with a diameter of 8 mm, the time to reach the corrosion rate that initiates cracking is almost half the duration of steels imported from France (Type E4).

These results may constitute basic elements for the classification of reinforced concrete steels used in constructions in Senegal. Knowledge of the behaviour of locally manufactured steels vis-à-vis corrosion also makes it possible to have elements

for the study of the effectiveness of corrosion inhibitors. Electrochemical tests can be carried out in addition to evaluate the corrosion kinetics of the different types of steels studied.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank the laboratory teams who assisted us during the conduct of the tests.

REFERENCES

[1] André Raharinaivo, Gilbert Grimaldi, Ginette Arliguie, Thierry Chaussadent, Valerie Pollet, Guy Taché, La corrosion et la protection des aciers dans le béton, Presses de L'Ecole Nationale Des Ponts et Chaussée- France, 1998.
[2] Republic of Senegal – Ministry of Housing Planning and Public Hygiene – Directorate General of Construction and Habitat - Final Report of the Technical Commission, 2021.
[3] Thang, A. L., Maurel, O., & Buyle-Bodin, F. «Numerical assessment of the structural behavior of prestressed concrete beams damaged by corrosion», Revue européenne de génie civil, 11 (1-2), 213-231, 2007.
[4] Al-Sulaimani G.J., Kaleemullah M., Basundul I.A., Rasheeduzzafar, «Influence of corrosion and cracking on bond behavior and strength of reinforced concrete Members», ACI Structural Journal, Tome 87, n°2, 1990, pp. 220-231.
[5] P.S. Mangat et M.S. Elgalf: Bond characteristics of corroding reinforcement in concrete beams. At. Struc., 32: 89–97, 1999a.
[6] P.S. Mangat et M.S. Elgalf: Flexural strength of concrete beams with corroding reinforcement. ACI Struc. Jour., 96: 149–158, 1999b.
[7] T. Uomoto et S. Mirsa: Behaviour of concrete beams and columns in marine environment when corrosion of reinforcing bars take place. ACI Special Publication, SP-109: 127–145, 1998.
[8] Fall Sy, E.H.A., Keinde, D. and Bodian, M. «Comparative Evaluation of the Chemical Composition and Physical Properties of Reinforced Concrete Steel Bars Used in Construction in Senegal», Open Journal of Civil Engineering, 13, 292-302, 2023.
[9] Thierry Vidal, Arnaud Castel & Raoul François, «Evaluation de l'état de corrosion et du comportement mécanique résiduel d'éléments en béton armé: méthode RESTOR», Revue Française de Génie Civil, 7: 2, 179-193, 2003.
[10] P. SANDBERG, « Critical evaluation of factors affecting chloride initiated reinforcement corrosion in concrete », Report TVBM-3068, Division of Building Materials, Lund Institute of Technology, (1995).
[11] M. Bodian, « Etude par les voies électrochimique, physique et mécanique, des effets de la corrosion des armatures métalliques du béton, sur les performances de l'adhérence acier-béton », Thèse de Cotuelle entre Université Cheikh Anta Diop de Dakar et INSA de Rennes, (2022).
[12] Jean VARRIOT: Chaudronnerie en aciers inoxydables, Techniques de l'Ingénieur, A 869.
[13] French standard - NF EN 10080 (2005) Steel for the reinforcement of concrete - Weldable reinforcing steel.
[14] Prabir, C.B., Shylamoni, P. and Roshan, A. D. (2004) Characterisation of steel reinforcement for RC structures: An overview and related issues. Indian Concrete Journal, 78, 19-30.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1281-1291
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Influence des rejets municipaux sur la qualité physico-chimique et biologique des écosystèmes aquatiques urbains: Cas de la rivière Massili (Burkina Faso, Afrique de l'Ouest)

[Influence of municipal discharges on the physico-chemical and biological quality of urban aquatic ecosystems: Case of the Massili River (Burkina Faso, West Africa)]

Kabore Idrissa[1], Bance Victor[1-2], Zangre Tatiana Dora Rebecca[1], and Oueda Adama[1]

[1]Laboratoire de Biologie et Ecologie Animales (LBEA), UFR-SVT, Université Joseph KI-ZERBO, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso

[2]Filière Agro-Sylvo-Pastorale, Centre Universitaire Polytechnique de Manga, Université Norbert ZONGO, BP 376. N14. Koudougou, Burkina Faso

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In West Africa, particularly in Burkina Faso, the urban freshwater bodies are amongst the most threatened exacerbating the urban environmental crises. Domestic and industrial discharges and fecal sludge are the main sources of urban water pollution. This systematic pollution, which deteriorates the physicochemical and biological condition of urban water ecosystems is a major concern for decision-makers and scientists. Thus, this study was undertaken to assess the effects of urban wastes on ecological status of physicochemical parameters et biological organisms. To do so, from September to October 2020, physicochemical and bacteriological parameters were analyzed using standard methods. Then, the macroinvertebrates were collected using hand net, and then identified in the laboratory. The results showed that the concentrations of physicochemical variables such as conductivity, COD, BOD5, nutrients and chlorides were high in downstream compared to those in upstream. The higher concentrations of total coliforms, Escherichia coli and *faecal streptococci* were reported in downstream. In regard of macroinvertebrates, the results revealed that taxonomic richness, the relative composition of polluo-sensitive taxa and the Shannon-Wiener index were very low in downstream. From our results, the urban freshwaters ecosystems are strongly impacted including waterborne diseases spreading, and for suitable management of these waterbodies and the well-being of riparian's population, it is crucial to strengthen the legislation on the discharge of domestic and industrial waste, and to promote appropriate systems for the waste treatment in our cities, and to train and raise public awareness of environmental citizenship where ecology meet society.

KEYWORDS: Pollution, Urban, freshwater, Physicochemical, Biology.

RESUME: En Afrique de l'Ouest, en particulier au Burkina Faso, les écosystèmes aquatiques urbaines sont de plus en plus menacés par les pressions anthropiques exacerbant ainsi les crises environnementales urbaines. Les rejets domestiques, industrielles et les boues de vidanges sont les principales sources de pollution des eaux urbaines. Cette pollution systématique qui affecte la qualité physico-chimique et biologiques des cours d'eau urbains est une préoccupation majeure pour les décideurs et les environnementalistes. Pour ce faire, nous avons conduit une étude sur le cours d'eau du Massili qui draine la ville de Ouagadougou afin d'évaluer l'impact des rejets domestiques sur la qualité physico-chimique et biologique. Ainsi, de septembre à octobre 2020, les variables physico-chimiques et bactériologiques ont été analysées suivant des méthodes standards. Ensuite, les macroinvertébrés ont été collectés à l'aide d'un filet troubleau puis identifiés au laboratoire. Les résultats obtenus montrent des concentrations très élevées des variables physico-chimiques enregistrés à l'amont. Les teneurs

Corresponding Author: Kabore Idrissa

en coliformes totaux, *Escherichia coli* et streptocoques fécaux responsables de maladies hydriques étaient également très élevées à l'amont. Quant aux macroinvertébrés, les indices taxonomiques, de diversités et la composition relative des taxa polluo-sensibles étaient très faibles à l'aval qu'en l'amont traduisant le très mauvais état physico-chimique et biologique du cours d'eau. Pour une meilleure gestion des villes, et le bonheur des populations riveraines, il est crucial de renforcer la législation sur les rejets et domestiques et industrielles, de promouvoir des systèmes adaptés de traitement des eaux usées, former et sensibiliser les populations sur la citoyenneté environnementale.

MOTS-CLEFS: Pollution, Ville, Eaux douces, Physico-chimie, Biologie.

1 INTRODUCTION

Les activités anthropiques intensives sont les principaux facteurs qui déséquilibre des écosystèmes aquatiques, au cours des dernières décennies. Dans les pays en voie de développement, les prises de conscience de l'importance de l'insalubrité environnementale, et urbaine sont d'actualités. L'urbanisation incontrôlée, accompagnée du faible niveau d'assainissement et l'absence de traitements adaptés des eaux usées et les rejets directs des boues de vidange dans le milieu naturel sont parmi les principales causes de pollution des eaux de surface dans les pays en voie de développement, en particulier les grandes zones urbaines ouest africaines [1, 2, 3, 4]. Selon des données de l'OMS, 2,4 milliards de personnes (soit la moitié de la population mondiale) n'ont pas accès aux infrastructures minimales d'assainissement [5] et cela contribue à accentuer la dégradation des eaux de surface, en particulier celles urbaines. Cependant ces masses d'eau urbaines jouent un rôle très important pour les communautés locales sur le plan socio-économique, scientifique, éducatif et récréatifs. Ces habitats aquatiques constituent également des refuges pour de nombreux organismes, malgré cela, ils restent très peu documentés.

Au Burkina Faso, le taux d'assainissement est estimé à 21,6% en 2018. Ainsi, beaucoup d'efforts restent à faire pour l'atteinte à l'horizon 2030 des Objectifs du Développement Durable (ODD) dont l'un des axes est de « Garantir l'accès de tous à l'eau potables et à l'assainissement et assurer une gestion durable des ressources en eau ». Avec le faible niveau d'assainissement, la ville de Ouagadougou, à l'instar des grandes villes africaines, est confrontée au problème de gestion des eaux usées d'origines diverses lié à la démographie croissante, à l'industrialisation, et aux mauvaises pratiques de maraiche-cultures (utilisation abusives des engrais chimiques et de pesticides) [6, 7, 8]. Ceux-ci entrainent l'augmentation des nutriments, des déchets liquides, solides, domestiques et industriels modifiant considérablement l'environnement aquatique et indirectement ou directement affectent la santé des populations installées près des cours d'eaux ([9, 10, 11]. L'assainissement collectif est sous la responsabilité de l'Office National de l'Eau et de l'Assainissement ([12, 13], au Burkina Faso dont l'une de ses missions est de mettre en place des systèmes adaptés de traitement des eaux usées (domestiques, industrielles, hospitalières). Ainsi, dans les grands centres urbains comme Ouagadougou, des stations d'épuration des eaux usées ont été installées, mais depuis leur installation et après plusieurs années de fonctionnement, peu ou presque pas d'études ont été menées sur l'état de santé des masses du Massili qui drainent une partie de la ville de Ouagadougou, un des affluents du fleuve Nakanbé, un important cours d'eau du Burkina Faso. Les eaux rejetées par ces stations pourraient être de très mauvaises qualités physico-chimiques, et affecter les organismes aquatiques, en particulier les invertébrés benthiques qui jouent un rôle important dans les réseaux trophiques des écosystèmes aquatiques, dans la dynamique du fonctionnement du milieu aquatiques car ils sont de plus en plus dans la surveillance environnementale [14, 15, 16]. D'où l'intérêt porté à cette étude sur les rivières urbaines qui a pour but de fournir des données et des informations scientifiques solides sur l'intégrité écologique de ces milieux récepteurs urbains en péril pour les prises de décision. Ce travail vise comme objectif principal d'évaluer l'impact des eaux rejetées sur l'intégrité physico-chimique et biologique des masses d'eau urbaines. Plus spécifiquement il s'agit de faire une caractérisation physicochimique, bactériologique et biologiques de la zone d'étude.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 SITES D'ÉTUDE

Le sous bassin hydrographique du Massili (Figure 2), avec une superficie de 4500 km^2 occupe la partie centrale du Burkina Faso, et draine toute la capitale Ouagadougou [17]). C'est un affluent du bassin du Nakanbé ([18] qui prend sa source au Nord du Burkina Faso où les précipitations annuelles ne dépassent pas 600 mm [19]. Le fleuve Nakanbé est l'un des importants cours d'eau du Burkina Faso car il draine plusieurs affluents sur lesquels sont construits de nombreux barrages [20]. C'est le cas du cours d'eau du Massili qui draine une partie de la ville de Ouagadougou, capitale de Burkina Faso, et reçoit toutes les eaux usées domestiques, industrielles, et les boues de vidanges de la municipalité. L'échantillonnage a concerné le bras de la rivières

Massili qui draine les zones d'habitations à forte concentration humaine et/ou de nombreuses activités y sont menées dans les environs tels que; les maraiche-cultures et la production de déchets résidentiels et industriel [21, 22]. Ainsi, trois points d'échantillonnage ont été sélectionnés sur ce bras (Figure 1): un point (S1) situé à 285 m d'altitude en amont, un deuxième point situé à 284 m d'altitude (S2) au niveaux du point de rejet de la stations d'épuration et un troisième point (S3) situé à 281 m d'altitude plus en aval. Les variables physico-chimiques et bactériologiques ont été mesurées dans les trois sites d'échantillonnage (S1-S3), tandis que les macroinvertébrés ont été collectés en amont (S1) et aval (S3) et pour des raisons pratiques.

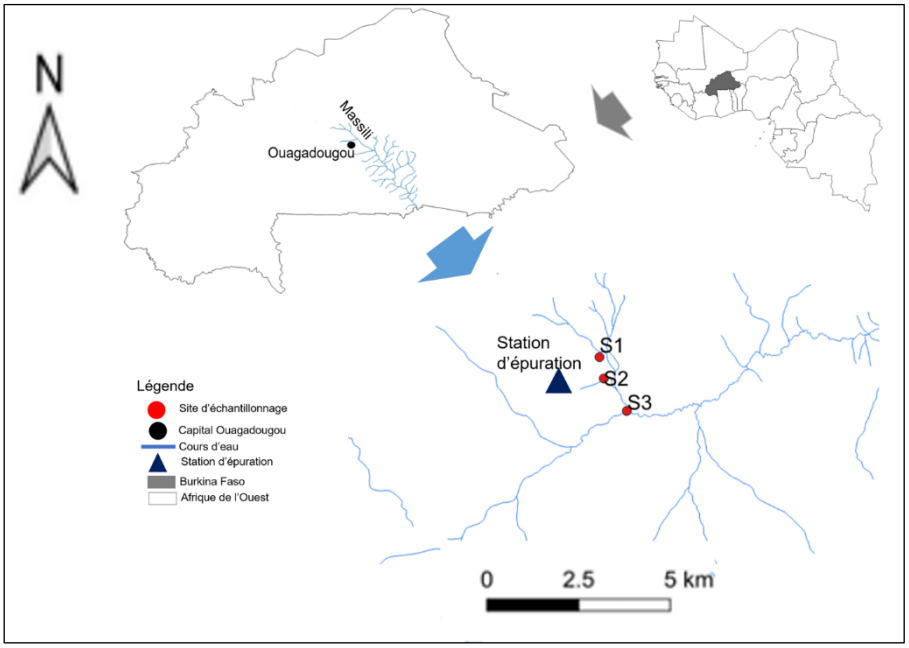


Fig. 1. Carte du Burkina Faso montrant les sites d'étude de la rivière Massili à Ouagadougou

2.2 COLLECTE DES DONNÉES PHYSICO-CHIMIQUES ET BACTÉRIOLOGIQUES

Les variables physico-chimiques clés tels que: le pH, les solides totaux dissous (STD), la température, la conductivité de l'eau ont été mesurés *in situ* à l'aide d'un multi-paramètre portatif de marque Hanna. A la suite de ces mesures, des échantillons d'eau ont été prélevés en utilisant des bidons stériles (volume= 1,5l) pour l'analyse des paramètres chimiques et bactériologiques au laboratoire suivant le protocole décrit dans [23]. Avant le prélèvement, les flacons sont rincés trois fois avec l'eau du site. Ensuite, ils sont totalement immergés puis remplis, et le bouchon est fermé hermétiquement sous l'eau pour éviter des bulles d'air et faciliter le transport, puis L'échantillon d'eau est immédiatement recouvert de papier aluminium et conservé dans une glacière contenant des « ices boxes » puis transporté au laboratoire pour analyse. Au laboratoire, les analyses ont concerné les ions: nitrate, nitrite, ammonium, ortho-phosphate, les matières en suspension (MES); la demande chimique en oxygène (DCO), la demande biochimique en oxygène (DBO5), les coliformes totaux, *Escherichia coli* et les streptocoques fécaux. Les ions chlorures ont été déterminés par la méthode de titration, tandis que les ions: nitrate, nitrite, ammonium et phosphore ont été analysés par la méthode spectrophotométrie (UV) ionique. Les matières en suspension (MES) ont été déterminées par la méthode gravimétrie (sec à 105◦C). La demande chimique en oxygène (DCO) est déterminée par la méthode au permanganate de potassium et la demande biochimique en oxygène après 5 jours (DBO_5) suivant la méthode respirométrique. Les indicateurs de contamination fécale: coliformes totaux, Escherichia coli et les streptocoques fécaux ont été mesurés à l'aide des méthodes normalisées de routine dont la technique de filtration sur membrane. Le milieu de culture utilisé est le milieu sélectif Chromocult ES agar pour les coliformes totaux et Escherichia coli et celui de Slanetz Bartley pour les Streptocoques fécaux. L'incubation a été faite d'une part à 37°C pour les coliformes totaux et les streptocoques fécaux, et d'autre part à 44°C pour *Escherichia coli*. Toutes les analyses ont été effectuées dans le Laboratoire national des analyses des eaux du Burkina Faso (LNAE, Burkina Faso) dans un délai de 48 heures après le prélèvement suivant les méthodes standard décrites par [23] avec une précision de 1% à 2%.

2.3 ECHANTILLONNAGE ET IDENTIFICATION DES MACROINVERTÉBRÉS

Les macroinvertébrés ont été prélevés à l'aide d'un filet troubleau (ouverture 25 x 25cm^2 et de 500 μm de maille) suivant l'approche d'échantillonnage multi-habitats selon [24] et décrit dans [14]. Un échantillon est le composite de 20 unités d'échantillon repartis entre les micro-habitats disponibles proportionnellement à leur surface. Les échantillons sont ensuite conservés dans un bocal contenant de l'alcool (90%), étiquetés, puis transportés au laboratoire pour le tri et l'identification des organismes. Une fois au laboratoire, les échantillons ont été rincés abondamment avec l'eau de robinet à l'aide de tamis de 100 µm de maille. Le contenu du tamis a été fractionné dans un bac à fond blanc et les organismes ont été triés à l'œil nu puis sous une loupe binoculaire de marque Motic. Les organismes triés ont été identifiés jusqu'au niveau famille sous la loupe binoculaire, à l'aide de clés d'identification et de manuels taxonomiques ([25, 26] puis dénombrés.

2.4 ANALYSES STATISTIQUES DES DONNÉES

Les valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques et bactériologiques ont été estimées puis comparées aux normes de déversement des eaux usées [27].

Pour l'analyse de la structure de communauté de macroinvertébrés, les indices de diversité (richesse taxonomique, indice de diversité de Shannon-Wiener (H'), l'abondance des taxa de macroinvertébrés et l'indice d'équitabilité de pielou (E) ont été utilisés suivant les équations 1 et 2.

$$H' = -\sum \left(\left(\frac{ni}{N} \log 2 \left(ni/N \right) \right) \right) \quad (1)$$

$$E = \frac{H'}{\log 2 \, (S)} \quad (2)$$

Avec : ***ni*** *le nombre d'individus du taxa de rang* ***i, N*** *le nombre total d'individus et S le nombre total de taxa recensé*.

L'impact des rejets sur les macroinvertébrés a été analysé en utilisant taxa proportions polluo-tolérants (% chironomids rouges) et des taxa polluo-sensibles (Ephéméroptères, Odonates %EO) due à l'absence totale de taxa très sensibles comme les Plécoptères et certains Trichoptères [14, 28] en utilisant respectivement les équations 3, 4.

$$\%\text{redChironomids} = \frac{\text{abondance des Chironomidae}}{\text{abondance totale}} \times 100 \quad (3)$$

$$\%\text{EO} = \frac{\text{abondance des taxa EOT}}{\text{abondance totale}} \times 100 \quad (4)$$

Les relations entre les variables physico-chimiques et les indices biologiques ont été établies en utilisant la corrélation de Spearman permettant de mettre en évidence l'influence des variables physico-chimiques sur les organismes biologiques au seuil de significativité de ($p<0,01$ et $p<0,05$, test de corrélations de Spearman).

3 RÉSULTATS

3.1 PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES

Le tableau I présente les résultats des variables physico-chimiques enregistrées dans les masses d'eau urbaines. Globalement, l'eau du site est alcaline car les valeurs moyennes du pH étaient nettement supérieures à 8 en amont qu'en aval. Les températures obtenues indiquaient que les masses d'eau étaient globalement chaude avec des valeurs moyennes (> 27°C) dans les trois sites d'échantillonnage (S1-S3). Les valeurs moyennes de la conductivité montraient une forte minéralisation des masses d'eau dans les sites S2 (1588 µS/cm) et S3 (1921 µS/cm). Les STD étaient plus élevés en S3 (957,33 mg/l), suivi de S2 (792,00 mg/l) et de S1 (107,66 mg/l), tandis que les teneurs moyennes de MES étaient plus élevée à S1 (98 mg/l), suivi de (76,33 mg/l) et de S3 (59,67 mg/l). La demande chimique en oxygène (DCO) étaient généralement très élevée en S3 (822 mg/l) suivi de S2 (419.67 mg/l) et de S1 (104,33 mg/l). Des variations des valeurs moyennes de la DBO_5 sont également observées dans les trois sites; S1 (20mg/l), S2 (130 mg/l) et S3 (77 mg/l) respectivement (Tableau 1). Les masses d'eau étaient également très chargées en nutriments. Les valeurs moyennes des nitrates étaient très élevées en S2 (234 mg/l) et S3 (245,77 mg/l). Ces mêmes tendances sont enregistrées avec les concentrations moyennes des masses d'eau urbaines en ortho-phosphate S2 (15,6mg/l) S3 (20,17 mg/l). Quant aux nitrites et ammonium, les teneurs moyennes présentaient le même profil mais avec une concentration moyenne plus élevée en S2 (0,92 mg/l) qu'en S3 (0,75mg/l) pour les nitrites; S2 (63,84 mg/l) et S3 (58,92 mg/l)

pour les concentrations moyennes en ammonium. Quant aux chlorures, les teneurs moyennes sont respectivement de 6,74 mg/l en amont, 25,32 mg/l en aval et 25,05 mg/l à l'exutoire (Tableau 1).

Tableau 1. Variations des variables physico-chimiques enregistrées dans les sites

Sites / Paramètres	S1	S2	S3	S1	S2	S3
	Min/Max			Moyennes		
pH	7,72/8,54	8,15/8,88	8,16/8,70	8,1	8,53	8,50
Température (°C)	26,39/28,50	28,3/31,63	27,60/31,60	27,46	30,01	29,00
Conductivité (µS/cm)	138,00/340,00	610,00/2345,00	1520,00/2392,00	217,33	1588,00	1921,33
TSD (mg/l)	68,00/168,00	300,00/1172,00	760,00/1187,00	107,66	792,00	957,33
Ammonium (mg/l)	1,10/4,52	55,43/80,33	51,68/68,82	3,14	63,84	58,92
Nitrate (mg/l)	65,30/128,10	80,20/497,20	85,30/531,90	96,16	233,63	245,76
Chlorure (mg/l)	2,84/14,00	20,51/28,10	18,92/35,50	6,74	25,05	25,32
Ortho (mg/l)	0,99/28,97	11,53/28,77	3,23/27,44	10,47	20,17	15,60
MES (mg/l)	29,00/191,00	59,00/109,00	56,00/66,00	98,00	76,33	59,66
DCO (mg/l)	-	444,00/1159,00	328,00/542,00	-	822,00	419,66
DBO_5 (mg/l)	4,00/50,00	100,00/180,00	40,00/120,00	20,00	130,00	76,66

3.2 INDICATEURS DES CONTAMINATIONS FÉCALES

Le tableau II présente les valeurs moyennes des indicateurs de contamination fécales enregistrés dans les masses d'eau urbaine. Les concentrations moyennes en coliformes totaux diminuaient de l'amont vers l'aval; Elles étaient plus élevées en S2 (87000 UFC), suivi de S1 (28 533UFC) et de S3 (18700UFC). Quant aux Streptocoques fécaux, les concentrations moyennes étaient plus élevées en S3 (35167UFC) et relativement faibles à S2 (2137 UFC). Cette même tendance a été observées pour les teneurs en *Escherichia coli* en S3 (27767 UFC).

Tableau 2. Charge moyenne des indicateurs des contaminations fécales enregistrés dans les trois sites. (UFC) Unité Formant Colonie

Paramètre /Sites	S1	S2	S3
Coliformes totaux (UFC)	28533	87000	18700
Streptocoques fécaux (UFC)	3934	2137	35167
Escherichia coli (UFC)	6500	6434	27767

3.3 COMMUNAUTÉ DES MACROINVERTÉBRÉS

3.3.1 COMPOSITION TAXONOMIQUE ET ABONDANCE DES MACROINVERTÉBRÉS

Au total, 7998 spécimens de macroinvertébrés ont été échantillonnés dont 4555 en S1 et 3443 S3. Ces spécimens sont répartis en trois (03) classes, huit ordres et 23 familles (Tableau 2). Parmi les huit Ordres rencontrés, les Annélides, les Lépidoptères et les Ephéméroptères ont été rencontrés uniquement S1. Les groupes tolérants des Diptères sont les plus dominants, suivis des Hémiptères. Trois taxa des Odonates ont été enregistrés en S1 tandis qu'en S3 une seule famille a été rencontrée (Tableau 2). Les Gastéropodes étaient plus présents en S3 qu'en S1.

Tableau 3. Liste de composition des macroinvertébrés inventoriées dans sites S1 et S3

Classe	Ordre	Famille	S1	S3
Insectes	Diptères	Chironomidae	2173	337
		Culicidae	816	2064
		Ephydridae	15	25
		Tabanidae	3	93
		Syrphidae	5	47
	Hemiptères	Corixidae	221	553
		Nepidae	9	1
		Belostomatidae	6	1
		Gerridae	2	0
		Veliidae	1	0
		Ranatridae	1	0
		Notonectidae	539	27
	Ephéméroptères	Baetidae	195	0
	Odonates	Gomphidae	2	0
		Coenagriidae	105	0
		Libellulidae	109	2
	Coléoptères	Dysticidae	125	284
		Hydrophilidae	157	2
	Lépidoptères	Pyralidae	11	0
Vers	Annélides	Hirudinae	46	0
Mollusques	Gastéropodes	Bulinidae	14	3
		Lymnaeidae	0	1
		Thiaridae	0	3
Nombre total d'individus			4555	3443

3.3.2 STRUCTURE DE LA COMMUNAUTÉ DES MACROINVERTÉBRÉS

Les valeurs des indices de structure des communautés de macroinvertébrés et polluo-sensibles étaient plus élevés en S1 (amont) qu'en S3. En termes de richesse taxonomique, 21 taxa ont été recensés en S1 et 15 taxa en S3. La valeur de l'indice de diversité de Shannon et d'équitabilité de Piélou étaient relativement plus élévés en S1 (H= 1,55; E= 0,58) qu'en S3 (H= 1,23; E= 0,53). En absence de taxa très sensibles tels que les Plécoptères et Trichoptères, les taxa polluo-sensible comme les Ephéméroptères dominés par les baetids et les Odonates (%EO) présentaient des valeurs élevées en S1 (9,02%) et très faibles en S3 (0,05%). Les taxa polluo-tolérants comme les chironomids rouges étaient majoritaires dans tous les sites, traduisant les très mauvaises conditions physico-chimiques des habitats aquatiques urbains.

Le tableau 4 établit les relations entre les paramètres physico-chimiques et biologiques. La richesse taxonomique était fortement et négativement corrélée à la conductivité, au TSD, aux Chlorure et à la DCO ($R > -0,80$; $p<0,05$), tandis que dans la plupart des cas les pourcentages des chironomids rouges étaient négativement corrélés aux variables physico-chimiques traduisant leur opportunismes face aux stress environnementaux.

Tableau 4. Matrice de corrélation de Spearman montrant les relations entre les physico-chimiques et les indices de la communauté des macroinvertébrés. (E) Indice d'équitabilité de pielou, (H) Shannon-Wiener, (%ChiroRg) Pourcentage des chironomids rouges, (%EO) pourcentage des Ephéméroptères et des Odonates.

Paramètres abiotiques/ indices biologiques	Richesse taxaomique	H	E	%ChiroRg
pH	-0.71	-0.49	-0.03	-0.26
Température	0.20	-0.54	-0.31	0.43
Conductivité	**-0,943****	-0.66	0.03	-0.49
TDS	**-0,943****	-0.66	0.03	-0.49
Ammonium	-0.49	-0.71	-0.37	-0.37
Nitrates	-0.20	-0.26	-0.09	0.26
Chlorure	**-0,829***	-0.60	0.09	-0.43
Ort	-0.37	0.09	0.43	0.09
MES	-0.14	0.66	0.66	-0.20
DCO	**-0,943****	-0.66	0.03	-0.49
DBO5	-0.43	-0.77	-0.66	-0.71

*** significatif à p<0,01; * significatif à p<0,05*

4 DISCUSSION

L'intensification des mauvaises pratiques agricole et l'augmentation de productions des déchets résidentiels et industriels dans les centres urbains rendent les écosystèmes aquatiques très vulnérables, entrainant la dégradation de la qualité des eaux [29, 30, 7, 31]. Cela s'explique par les très mauvaises conditions des variables physico-chimiques et bactériologiques enregistrées dans la présente étude. Les valeurs moyennes du pH sont supérieures à 8 dans la plupart des sites visités. Cette élévation des valeurs de pH (basique) montre que les eaux étudiées seront agressives dans un futur proche si des mesures de remédiations urgentes ne sont pas prises. Dans la plupart des sites, les températures maximales des eaux sont supérieures à 30°C et pourraient constituer un problème environnemental. Ces auteurs [32, 33] rapportent que l'élévation de la température favoriserait la prolifération de microorganisme présent les cours d'eaux naturels où de grandes quantités d'eaux usées y sont rejetées. Les moyennes élevées de la conductivité électrique obtenues ici montrent que les eaux sont fortement minéralisées. Cette forte minéralisation est due aux apports superficiels liée aux activités anthropiques intensives [14, 9]. Les masses d'eau sont très chargées en nutriments due aux fortes pressions anthropiques aux abords des plans d'eau. Ainsi, dans les trois sites échantillonnés, les concentrations des masses d'eau en ortho phosphates, ammonium et nitrates restent très élevées que celles autorisées par la norme en vigueur. Cela pourrait se justifier par l'épandage anarchique des boues de vidanges provenant des fosses septiques, les déjections des animaux domestiques parfois en divagation dans les grandes mégalopoles africaines, et entraînés par ruissellement vers ces cours d'eau. En plus, les fortes teneurs en ions ortho phosphates peut s'expliquer par une forte utilisation des détergents à des fins domestiques liées aux mauvaises installations des latrines, et évacuation eaux usées [34, 35,36]. Dans les sites, les fortes teneurs moyennes de MES et TSD obtenues sont probablement dues aux grandes quantités de débris de matières organiques et inorganiques causer par les actions de l'Homme. Les fortes valeurs des chlorures supérieures à 25mg/l montrent que ces écosystèmes aquatiques urbains sont sujets aux rejets des eaux usées car les chlorures sont le plus souvent associées aux usées. En effet, l'urbanisation intensive due à la démographie galopante et le faible taux d'assainissent liée aux mauvaises canalisations et le manque de systèmes de traitement des eaux usées domestiques pourraient considérablement modifier l'environnement naturel aquatiques et sa faune [37, 38]. Les fortes valeurs de la DCO et la DBO, avec des valeurs moyennes supérieurs respectivement à 100 mg/l et 40 mg/l, indiquent une forte dégradation de la qualité des eaux urbaines. Les valeurs élevées de DCO obtenues dans certains sites sont dues aux rejets des eaux domestiques et aux mauvaises pratiques agricoles. En plus, certains cours d'eaux de la ville de Ouagadougou, comme de nombreuses villes africaines sont transformés en dépotoirs, et reçoivent des déchets de toutes sortes incluant de nombreuses substances chimiques qui dégradent la qualité de l'eau [2, 39, 40]. Les valeurs moyennes élevées de DBO5 observées s'expliqueraient par le développement considérable des microorganismes favorisant une consommation importante de l'oxygène présent dans le milieu. Certains auteurs ont aussi démontré que l'augmentation du nombre des microorganismes dans les masses d'eau urbaines serait due à la nature des eaux, aux teneurs MES et à l'élévation des températures [41, 42]. D'une manière générale, les résultats de notre étude montrent une forte contamination des eaux transitant par la station d'épuration, d'où la nécessité d'utilisé entre autres le rapport DCO/DBO5 dans les expertises de monitoring des performances des stations d'épuration. Dans

cette étude, le rapport DCO/DBO5 est supérieur à 3 traduisant l'énormité des quantités de matières oxydables non biodégradables contenues dans les masses d'eau urbaines.

L'analyse bactériologique met en exergue une très forte contamination fécale des masses eaux. Les concentrations des Coliformes totaux, Streptocoques fécaux et de *Escherichia coli* sont plus élevées dans les échantillons d'eaux prélevés, et le plus souvent en aval qu'à l'amont. Cela s'explique par le fait que des quantités énormes d'excréments humains sont déversés à l'air libre dans la partie amont du cours d'eau puis entraînées avec les eaux de ruissellement dans la partie aval. Ces résultats sont similaires entre autres, à ceux rapportés par [43] dans la rivière N'zi dans la commune de N'zianouan, [42] dans les eaux de surface de la commune de Divo en Côte d'Ivoire, [9] dans la rivière Zio au Togo. Ces auteurs ont démontré que les diverses perturbations humaines dégradent la qualité de l'eau et peut exposer la population à des risques de santé car ces eaux sont consommées sans traitement préalable plus loin en aval en milieu rural. Selon plusieurs auteurs, la dégradation de la qualité de l'eau et de l'habitats affecte la survie des organismes aquatiques, en particulier les macroinvertébrés [6, 44, 45, 7].

Les résultats montrent que les communautés de macroinvertébrés sont composées majoritairement d'Insectes suivi de Mollusques et des Annélides, reflétant la liste traditionnelle des macroinvertébrés en zone tropicale. La dominance des Insectes s'explique par leur grande capacité à coloniser divers milieux, même les habitats aquatiques les plus dégradés comme c'est le cas dans notre étude. Ces résultats sont similaires à ceux de [46, 47,14, 9, 6] rapportés en zone sub-saharienne. La diversité est plus élevée en S1 (21 taxa) qu'en S3 (15 taxa) traduisant les mauvaises conditions des habitats des macroinvertébrés, d'où la domination des groupes des Diptères réputés être très tolérants face aux stress environnementaux [14,7, 16]. Cela se reflète au niveau de la valeur de l'indice de Shannon inférieure à 2 traduisant une faible diversité, car selon plusieurs auteurs, lorsque les conditions du milieu sont défavorables, la biodiversité diminue et les taxa les plus tolérants prolifèrent pendant que les taxa sensibles régressent ou disparaissent, d'où l'absence quasi-total de certains taxa comme les Trichoptères et de Plécoptères [14, 9, 48, 49]. Les Ephéméroptères sont représentés par le seul taxon des Baetidae, reconnus être polluo-tolérants [28]. Tous les indices calculés révèlent les mauvaises conditions des masses d'eau échantillonnées. Les résultats montrent aussi que le système d'épuration est déficient dans le traitement des eaux usées, expliquant la diminution de la biodiversité du site (S3) situé en aval et de mauvaise condition physico-chimiques et bactériologiques enregistrées à l'exutoire et en aval de la station. Les relations entre les variables environnementales et les indices biologiques observées dans cette étude montrent que les organismes biologiques dépendent de la physico-chimie de l'eau pour leur survie [50, 51, 52]. Par exemple, les fortes concentrations des matières en suspensions dans l'eau pourraient affecter négativement la vie des organismes, et en particulier ceux à respiration branchiales [14, 52]. Au regard des résultats obtenus retenons que les masses d'eau urbaines sont dans un état de dégradation avancées d'où la nécessité de prendre des mesures urgentes pour protéger et réhabiliter ces plans d'eau, indispensables pour le bien-être des populations riveraines.

5 CONCLUSION

Cette étude a prouvé que les masses d'eau urbaines sont de très mauvaises qualités, et les fortes contaminations fécales constatées pourraient constituer un problème de santé publiques pour les populations riveraines. Le très faible taux d'assainissent, les mauvaises installations d'évacuations des eaux usées, l'épandage des boues de vidanges et le non fonctionnement des stations d'épuration sont entre autres des facteurs qui aggravent les crises environnementales et dégradent la qualité des masses d'eau dans les grands centres urbains de l'Afrique de l'Ouest, et en particulier au Burkina Faso. Tout cela n'est pas sans conséquence sur la survie des organismes aquatiques, et les macroinvertébrés dont les abondances, la composition des taxa sensibles et les diversités diminuent drastiquement suivant le gradient de pollution comme prouvé dans la présente étude. Pour ce faire des actions urgentes et des mesures doivent être entreprises pour anticiper de futures grandes crises environnementales des grandes villes ouest africaines.

REMERCIEMENTS

Nous remercions le laboratoire national d'analyse de l'eau (LNAE) pour le soutien dans l'analyse de la physico-chimie et bactériologie.

CONFLIT D'INTÉRÊTS

Les auteurs déclarent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêts pour cet article.

REFERENCES

[1] J. G. T. Youmbi, R. Feumba, V. T. Njitat, G.de Marsily and G. E. Ekodeck, «Pollution de l'eau souterraine et risques sanitaires à Yaoundé au Cameroun», *Comptes Rendus Biologies,* 336 (5-6), 310-316, 2013.

[2] I. Kaboré, O. Moog, A. Ouéda, J. Sendzimir, R. Ouédraogo, W. Guenda and A. H. Melcher, Developing reference criteria for the ecological status of West African rivers. *Environmental monitoring and assessment,* 190, pp.1-17, 2018.

[3] P. F. Nguema, B. Efon, C. Defo, Z. M. Mounir et E. K. Oum, «Impacts des pratiques d'hygiène et d'assainissement sur les eaux de surface et souterraines dans la ville de Yaoundé, Cameroun», Afrique SCIENCE 19 (2), pp. 68 – 80, 2021.

[4] S. N. Tshiesese, «Dégradation écologique des conditions d'habitabilité des parcelles situées sur les servitudes de la rivière yolo dans la commune de Lemba (RDC): Cas des quartiers Foire, Molo, Kimpwanza et Salongo», *International Journal of Innovation and Applied Studies,* Vol. 39 No. pp. 1123-1138, 2023.

[5] ACF (Action Contre la Faim), «Eau – Assainissement – Hygiène pour les populations à risque», 2006.

[6] S. Sanogo, I. Compaoré, I. Senou, M. B. Somda, R. B. Ouedraogo, B. Ouattara and T. A. Kabré, «Etude comparée de la structuration des macroinvertébrés benthiques de cours d'eau urbain et péri-urbain à l'ouest du Burkina Faso», *International Journal of Development Research,* 11 (01), pp. 43173-43184, 2021.

[7] I. Kaboré, L.Tampo, V. Bancé, C. Daboné, M. Komandan, H.J. Ayoro and A. Oueda, «Preliminary biological data of Sahel wetland ecosystems in Burkina Faso: Implications for ecological health assessment», *Frontier in Conservation Science,* 3: 913333, 2022b.

[8] R. N. Nsandji, A. K. Mwamba, C. M. Kyela, I. A. Zabo, A. B. Ekwakwa and C. M. Mukendi, «Niveaux de contamination en plomb, cadmium et arsenic des cultures produites au périmètre maraicher de Kasavubu/Saio «Cas d'Amaranthus hybridus»». *Afrique SCIENCE,* 22 (2), pp.142-157, 2023.

[9] L. Tampo, I. Kaboré, H. E. Alhassan, A. Ouéda, M. L. Bawa and G. D. Boundjou, «Benthic macroinvertebrates as ecological indicators: Their sensitivity to the water quality and human disturbances in a tropical river», Frontier in Water, 3: 662765, 2021.

[10] H. H. Mangenda, F. M. Tshibuabua, C. E. Bokako, F. Dihoka and D. Kandala, «Urban growth and environmental degradation in the municipality of Kalamu, Kinshasa», 2023. [Online] Available: https://hal.science/hal-04151946v1/document.

[11] M. L. Béguec, E. Petit, L. Vacher, H. Agogué and M. Ndione, «Les usagers d'une plage péri-urbaine face à la contamination microbiologique des eaux de baignade» *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement,* 23 (1), 2023.

[12] ONEA (Office National de l'Eau et de l'Assainissement), 2011. Plan stratégique national 2011-2015.

[13] ONEA, (Office National de l'Eau et de l'Assainissement), 2016. L'Assainissement collectif de la ville de Ouagadougou.

[14] I. Kaboré, O. Moog, M. Alp, W. Guenda, T. Koblinger, K. Mano, A.Oueda, R. Ouedraogo, D. Trauner, and A. H. Melcher, «Using macroinvertebrates for ecosystem health assessment in semi-arid streams of Burkina Faso». *Hydrobiologia 766,* pp. 57–74, 2016.

[15] N. Costas, I. Pardo, L. Méndez-Fernández, M. Martínez-Madrid and P. Rodríguez, «Sensitivity of macroinvertebrate indicator taxa to metal gradients in mining areas in Northern Spain». *Ecological Indicator* 93, pp. 207–218, 2018.

[16] L. Tampo, I. Kaboré, S. L. A. S. Mande and L. M. Baw, Water quality and aquatic ecosystem assessment using water quality indices in West Africa: challenge and perspectives.

[17] M. B. Lamizana/Diallo, S. Kenfack, and J. Millogo/Rasolodimby,. Evaluation of the physicochemical quality of water from a temporary stream of Burkina Faso - the case of the Massili in Kadiogo. South Sci. Technol. 16, pp. 23–28, 2008.

[18] DGRE (Direction Générale des Ressources en Eau Synthèse du suivi des ressources en eau Situation en 2016 (Situation en 2016 du suivi des ressources en eau au Burkina Faso). MEA (Ministère de l'eau et de l'assainissement, Burkina Faso), 2017.

[19] A. P. Belemtougri, A. Ducharne, F. Tazen, L. Oudin and H. Karambiri, «Understanding key factors controlling the duration of river flow intermittency: case of Burkina Faso in West Africa», *J. Hydrol. Reg. Stud.,* Volume 7 (37), 100908, 2021.

[20] P. Cecchi, A. Meunier-Nikiema, N. Moiroux and B. Sanou, «Towards an atlas of lakes and reservoirs in Burkina Faso», (2008). [Online] Available: https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/17170/17170.pdf?sequence=1.

[21] M. Haro, I. Guiguemde, F. Diendere, I. Bani, M. Kone, M. Soubeiga et & A. Bary, Effect of the Kossodo Industrial wastewater discharges on the physico chemical quality of Massili River in Burkina Faso. *Research Journal of Chemical Sciences* Volume 3, Issue (2), pp. 85-91, 2013.

[22] P. M. Bagré, R. Yonaba, A. B. Sirima and Y. S. C. Somé, «Influence des changements d'utilisation des terres sur les débits du bassin versant du Massili à Gonsé (Burkina Faso)», *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement,* 23 (1), (2023).

[23] J. Rodier, B. Legube, N. Merlet, 2009. L'analyse de l'eau. Dunod, Paris. https://www.academia.edu/39607924/Jean_Rodier_Bernard_Legube_Nicole_Merlet_Collectif_Lanalyse_de_leau_Dunod_2009_.

[24] O. Moog, Deliverable 8 – part 1, «manual on pro-rata multi-habitat sampling of benthic invertebrates from wadeable rivers in the HKH-region». BOKU (Vienna: University of Natural Resources and Applied Life Sciences), p. 28, 2007. Available at: www.assess-hkh.at.

[25] C. Lévêque, J.R, Durand, Flore et Faune aquatiques de l'Afrique Sahelo Soudanienne, Tome II. Editeurs scientifiques hydrobiologiques. O. R. S. T. O. M, p. 108, 1981.

[26] H. Tachet, P. Richoux, M. Bournaud, P. Usseglio-Polatera. Invertébrés d'eau douce: systématique, biologie, écologie - CNRS éditions Paris, 2010.

[27] MEE, M. de l'Eau et de l'Environnement, 2015. Decret N°2015-1205 portant normes et conditions de déversement des eaux usées.

[28] I. Kaboré, A. Ouéda, O. Moog, P. Meulenbroek, L. Tampo, V. Bancé and A. H. Melcher. Benthic invertebrates-based biotic index to assess the ecological status of West African sahel rivers, Burkina Faso. J. Environ. Manage. 307 (16), 114503, 2022.

[29] A. Adjagodo, M. A. D. Tchibozo, N. K. Ahouangnivo and R. Lawani, "Flow of pollutants linked to anthropic activities and risks on worldwide surface water resource (literature review) ". *LARHYSS Journal* (28), pp. 7-23. 2016.

[30] D. Millogo, M. M. Bazié, Y. Koussoubé, P. N. Zombré and E. C. D. Da, "Assessment of agricultural and mining pollutions of waterbodies within the Nakanbé Basin (Burkina Faso): The case of the Goinré, Ziga and Bagré reservoirs", *Journal of Water Resource and Protection,* 10 (1), pp. 41-58, (2018).

[31] C. C. M. Dos Santos, A. R.Nauar, J. A. Ferreira, C. da Silva Montes, F. R. Adolfo, G. Leal, G.M. Reis, J. Lapinsky, L. M. de Carvalho and L. L. Amado, "Multiple anthropogenic influences in the Pará River (Amazonia, Brazil): A spatial-temporal ecotoxicological monitoring in abiotic and biotic compartments". *Chemosphere,* 323, 138090, 2023.

[32] R. Montañés, R. Solera and M. Pérez, "Anaerobic co-digestion of sewage sludge and sugar beet pulp lixiviation in batch reactors: Effect of temperature". *Bioresource technology,* 180, pp. 177-184, 2015.

[33] T. A. E. Obougou, F. Y. Ateba, D. N. Mindongo, M. Djamila, J. G. N.Tchapgnouo and A. Ombolo, " (Physico-chimie et bactériologie des eaux du Lac Municipal d'Ebolowa (LME) et risques pour la santé humaine et environnementale". *Afrique SCIENCE,* 21 (3), pp.76-88, 2022.

[34] J. El Addouli, A. Chahlaoui, A. Berrahou, A. Chafi, A. Ennabili and L. Karrouch, "Influence des eaux usées, utilisées en irrigation, sur la qualité des eaux de l'Oeud Bouishak–région de Meknes (centre-sud du Maroc) ". *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn, 3* (1), 56-75, 2009.

[35] S. Chidiac, P. El Najjar, N. Ouaini, Y. El Rayess and D. El Azzi, "A comprehensive review of water quality indices (WQIs): history, models, attempts and perspectives". *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology,* 22 (2), 349-395, 2023.

[36] D.Tibebe, Y. Tesfaye, & Y. Kassa, "The impact of sewage effluents on water quality of Lake Hawassa, Ethiopia". *BMC chemistry,* 17 (1), 42, 2023.

[37] F. Lemessa, B. Simane, A. Seyoum and G. Gebresenbet, "Assessment of the Impact of Industrial Wastewater on the Water Quality of Rivers around the Bole Lemi Industrial Park (BLIP), Ethiopia». Sustainability, 15 (5), 4290, 2023.

[38] N. A. S. Feisal, N. H. Kamaludin, M. F. A. Sani, D. K. A. Ahmad, M. A. Ahmad, N. F. A. Razak, and T. N. B. T. Ibrahim, "Anthropogenic disturbance of aquatic biodiversity and water quality of an urban river in Penang, Malaysia". *Water Science and Engineering,* (2023).

[39] H. A. Kebede and W. A. Ayenew,. Solid waste disposal site selection analysis using geospatial technology in Dessie city Ethiopia. *Heliyon 9, e18865,* 2023.

[40] M. Ngatia, S. M. Kithiia and M. Voda, "Effects of Anthropogenic Activities on Water Quality within Ngong River Sub-Catchment, Nairobi, Kenya". *Water, 15* (4), 660, 2023.

[41] J. P. Mehounou, R. G. Josse, P. Dossou-Yovo, S. F. Senou, and R. M. Toklo, Caractérisation physico-chimique et microbiologique des eaux souterraines et superficielles dans la zone de production cotonnière d'Aplahoué. *Journal of Applied Biosciences, 103,* pp. 9841-9853, 2016.

[42] S. A. Yao Kouassi, E. Ahoussi Kouassi, "Caractérisation physico-chimique des eaux de surface dans un environnement minier du centre-ouest de la Côte d'Ivoire: Cas du département de Divo". *European Scientific Journal, ESJ,* 16 (12), pp.293-315,2020.

[43] K. E. Ahoussi, Y. B. Koffi, A. M. Kouassi, G. Soro, N. Soro and J. Biémi, "Étude des caractéristiques chimiques et microbiologiques des ressources en eau du bassin versant du N'zi: cas de la commune de N'zianouan (Sud de la Côte d'Ivoire)", *International Journal of Biological and Chemical Sciences,* 6 (4), pp. 1854-1873, 2012.

[44] V. Bancé, A. Ouéda, I. Kaboré, H. Zerbo and B. G Kabré, "Ecological status of a newly impounded sub-saharan reservoir based on benthic macroinvertebrates community (Burkina Faso, West Africa)", *Journal of Ecology and The Natural Environment,* 13 (1), pp.1-10, 2021a.

[45] V. Bancé, A. Ouéda, I. Kaboré, I. Ouédraogo, K. Mano, P. D. Weesie, G. B. Kabré," Influence of micro-habitats on the distribution of macroinvertebrates in Burkina Faso (West Africa)", *International Journal of Aquatic Biology,* 9 (3), p.177-186, 2021b.

[46] O. E. Edia, K. Y. Bony, K. F. Konan, A. Ouattara and G. Gourène, "Distribution of aquatic insects among four costal river habitats (Côte d'Ivoire, West-Africa)", *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences, 2* (8), pp. 68-77, 2013.

[47] A. I. Camara, D. Diomandé, G. Gourène, "Impacts des eaux usées et de ruissellement sur la biodiversité des macroinvertébrés de la rivière Banco (Parc National du Banco, Côte d'Ivoire)", *Science de la vie, de la terre et agronomie* 2 (1), 2014

[48] M. B. Fekadu, S. Agembe, C. K. Kiptum and M. Mingist, "Impacts of anthropogenic activities on the benthic macroinvertebrate assemblages during the wet season in Kipsinende river, Kenya". *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 22* (6), TRJFAS18410, 2022.

[49] M. J. Feio, R. M. Hughes, S. R. Serra, S. J. Nichols, B. J. Kefford, M. Lintermans, R.Robinson, O.N. Odume, M. Callisto, D. R. Macedo J.S. Harding, A.G. Yates, W. Monk, K. Nakamura, T. Mori, M. Sueyosh, N. Mercado- Silva, K. Chen, M.J. Baek, Y.J. Bae, R.D. Tachamo-Sha, D.N. Shah, I. Campbel, N. Moya, F.O. Arimoro, U.N. Keke, T.M. Renato. C.B.M. Alves, P.S. Pompeu Sharma, S. "Fish and macroinvertebrate assemblages reveal extensive degradation of the world's rivers", *Global Change Biology, 29* (2), 355-374, 2023.

[50] T. Mwedzi, N. Siziba, O. N. Odume, E. Nyamazana and I. Mabika, "Responses of macroinvertebrate community metrics to urban pollution in semi-arid catchments around the city of Bulawayo, Zimbabwe". *Water SA, 46* (4), pp. 583-592, 2020.

[51] G. Duque, D. E. Gamboa-García, A. Molina and P. Cogua, "Influence of water quality on the macroinvertebrate community in a tropical estuary (Buenaventura Bay) ". *Integrated environmental assessment and management, 18* (3), pp.796-812, 2022.

[52] M. Cabrera, M. V. Capparelli, C. Ñacato-Ch, G. M. Moulatlet, I. López-Heras, M. D. González, D. Alvear-S and A. Rico, "Effects of intensive agriculture and urbanization on water quality and pesticide risks in freshwater ecosystems of the Ecuadorian Amazon". *Chemosphere,* 337, 139286, 2023.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1292-1298
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Etiologies et prévalence des bisalbuminémies associées aux néphropathies découvertes sur électrophorèse des protéines sériques sur capillaire au Laboratoire de Biochimie CHU Ibn Rochd de Casablanca Maroc

[Etiologies and prevalence of bisalbuminemias associated with nephropathies discovered on capillary serum protein electrophoresis at the biochemistry laboratory of the university hospital Ibn Rochd in Casablanca Morocco]

Essayh Yousra[1-3], Lassouli Kawtar[1-3], Cheikh Sara[3-4], Morjan Asmaa[1-2-3], Benghanem Gharbi Mohammed[3-4], and Kamal Nabiha[1-2-3]

[1]Laboratoire de biochimie, CHU Ibn Rochd de Casablanca, Morocco

[2]Laboratoire d'Immunologie Clinique et d'Immuno-Allergie (LICIA), Faculté de Médecine et de Pharmacie, Université Hassan II, Casablanca, Morocco

[3]Faculté de Médecine et de Pharmacie, Université Hassan II, Casablanca, Morocco

[4]Service de néphrologie, CHU Ibn Rochd de Casablanca, Morocco

Copyright © 2023 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: Bisalbuminemia is a rare electrophoretic abnormality of the albumin fraction, characterized by a doubling of this fraction on the electrophoretic trace of serum proteins, reflecting the presence in the same individual of normal plasma albumin and structurally altered albumin, which may be of acquired etiology, rarely hereditary. The aim of this article is to study the etiologies and prevalence of bisalbuminemias associated with nephropathies discovered on serum protein electrophoresis at the biochemistry laboratory of the university hospital Ibn Rochd in Casablanca. This is a retrospective study of serum protein electrophoretic capillary tracings revealing bisalbuminemia in patients hospitalized in the nephrology department at university hospital Ibn Rochd in Casablanca over an 18-month period. 29 electrophoretic profiles out of 242 showed bisalbuminemia, i.e. 12% of all electrophoretic tracings in 29 patients presenting with acute or chronic nephropathy. The average age was 45±22 years, with a sex ratio (M/F) of 2.22. The etiologies of the nephropathies were dominated by renal amyloidosis with 24.14%, followed by minimal glomerular lesion nephropathies, extramembranous glomerulonephritis and lupus nephropathies with 17.24% each, and finally membranoproliferative glomerulonephritis with 6.9%. Among secondary etiologies, betalactam use was highlighted in 13.8% of cases, no patient in the series had a labelled pancreatopathy, and the presence of a monoclonal gammapathy was objectified in only one case in the series. This study illustrates the varied etiologies of bisalbuminemia associated with nephropathy, requiring detailed knowledge to enable proper interpretation of electrophoretic profiles.

KEYWORDS: Bisalbuminemia, Bis-ethylated albumin, Serum protein electrophoresis, Albumin variant, Renal diseases.

RESUME: La bisalbuminémie est une anomalie électrophorétique rare de la fraction d'albumine, caractérisée par un dédoublement de cette fraction sur le tracé électrophorétique des protéines sériques traduisant la présence chez un même individu d'une albumine plasmatique normale et d'une albumine de structure modifiée pouvant être d'étiologie acquise, rarement héréditaire. L'objectif de cet article est d'étudier les étiologies et la prévalence des bisalbuminémies associées aux

Corresponding Author: Essayh Yousra

néphropathies découvertes sur électrophorèse des protéines sériques au laboratoire de biochimie CHU Ibn Rochd de Casablanca. Il s'agit d'une étude rétrospective des tracés électrophorétiques des protéines sériques sur capillaire révélant une bisalbuminémie chez des patients hospitalisés au service de néphrologie au CHU Ibn Rochd de Casablanca sur une période de 18 mois. 29 profils électrophorétique parmi 242 ont objectivé une bisalbuminémie soit 12% de l'ensemble des tracés électrophorétiques chez 29 patients se présentant pour tableau de néphropathie aigue ou chronique. La moyenne d'âge était de 45±22 ans et une sex-ratio (H/F) de 2.22. Les étiologies des néphropathies étaient dominées par l'amylose rénale avec 24,14%, suivie des néphropathies à lésions glomérulaires minimes, de glomérulonéphrite extramembraneuse et de néphropathies lupiques avec 17,24% chacune, et enfin de glomérulonéphrite membranoproliferative avec 6,9%. Parmi les étiologies secondaires, la prise des bêtalactamines a été soulignée dans 13,8% des cas, aucun patient de la série ne présentait de pancréatopathie étiquetée et la présence d'une gammapathie monoclonale a été objectivée chez un seul cas de la série. Cette étude objective les étiologies variées des bisalbuminémies associées aux néphropathies nécessitant une connaissance détaillée permettant une interprétation adéquate des profils électrophorétiques.

MOTS-CLEFS: Bisalbuminémie, Albumine bis-éthylisée, Electrophorèse des protéines sériques, Albumine modifiée, Néphropathies.

1 INTRODUCTION

La bisalbuminémie est une anomalie électrophorétique rare de la fraction d'albumine, caractérisée par un dédoublement de cette fraction sur le tracé d'électrophorèse des protéines sériques traduisant la présence chez un même individu d'une albumine sérique normale et d'une albumine bis-éthylisée (BEA) pouvant être d'étiologie acquise, rarement héréditaire [1].

La prévalence de la bisalbuminémie varie considérablement en fonction de la population étudiée et de la méthodologie utilisée pour la détecter. Par ailleurs, plusieurs études ont objectivé l'augmentation de prévalence de bisalbuminémie chez les patients suivis pour néphropathies [2], [3].

L'objectif de ce travail est d'étudier les étiologies et la prévalence des bisalbuminémies associées aux néphropathies découvertes sur électrophorèse des protéines sériques au laboratoire de Biochimie CHU Ibn Rochd de Casablanca.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

Il s'agit d'une étude rétrospective des tracés d'électrophorèse des protéines sériques (EPS) réalisés au laboratoire de biochimie révélant une bisalbuminémie chez des patients hospitalisés au service de néphrologie au CHU Ibn Rochd de Casablanca étalée sur une période de 18 mois (De Janvier 2021 à Mai 2022).

L'électrophorèse a été réalisée sur analyseur capillaire (Capillarys 3ème générations de la société Sebia) sur des prélèvements des patients à jeun, effectués sur des tubes secs après centrifugation. L'aspect de chaque échantillon a été noté, les échantillons hémolysés, opalescents et lactescents ont été exclus.

Le recueil des données pour chaque patient a été réalisé à l'aide du système informatique du laboratoire via le logiciel KALISIL, et l'exploitation des dossiers médicaux. Les doublons épidémiologiques ont été exclus. L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel Excel.

3 RÉSULTATS

Au cours de la période d'étude, 242 prélèvements de sérums ont été reçus et traités mettant en évidence 29 profils électrophorétiques objectivant une bisalbuminémie, soit 12% de l'ensemble des tracés électrophorétiques chez 29 patients se présentant pour tableau de néphropathie aigue ou chronique. La moyenne d'âge des patients était de 45±22 ans et une sex-ratio (H/F) de 2.22.

Tableau 1. Résultats d'exploitation des données

Patients	Résultats
Sexe ratio	2,22
Age	45±22 ans
Néphropathies connues	28 cas
Prise de béta-lactamines	4 cas
Pancréatopathie	0 cas connus
Gammapathie monoclonale	1 cas

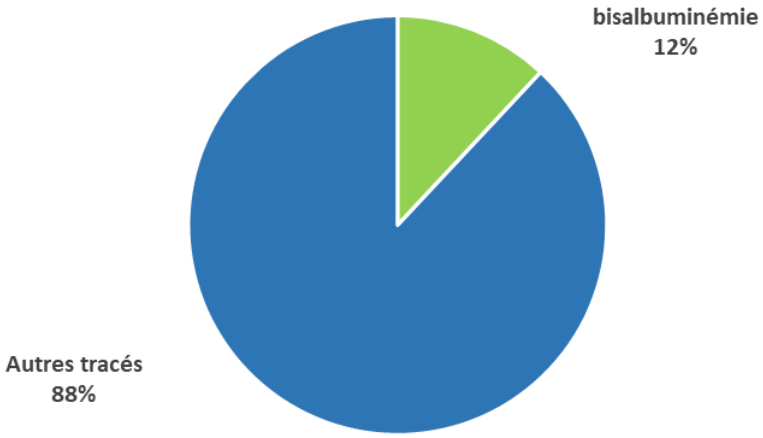


Fig. 1. Pourcentage des bisalbuminémies de la série

Les étiologies des néphropathies étaient dominées par l'amylose rénale avec 24,14%, suivie des néphropathies à lésions glomérulaires minimes (LGM), de glomérulonéphrite extramembraneuse (GEM) et de néphropathies lupiques avec 17,24% chacune, et enfin de glomérulonéphrite membranoproliferative (GNMP) avec 6,9%. Par ailleurs, 13,79% des cas présentaient d'autres étiologies notamment un cas d'insuffisance rénale aigue, un cas d'insuffisance rénale chronique terminale, un cas de syndrome néphrotique impur, un cas d'hyalinose segmentaire et focale et un cas d'une femme enceinte n'ayant pas bénéficié de ponction biopsie rénale et donc sans diagnostic histologique.

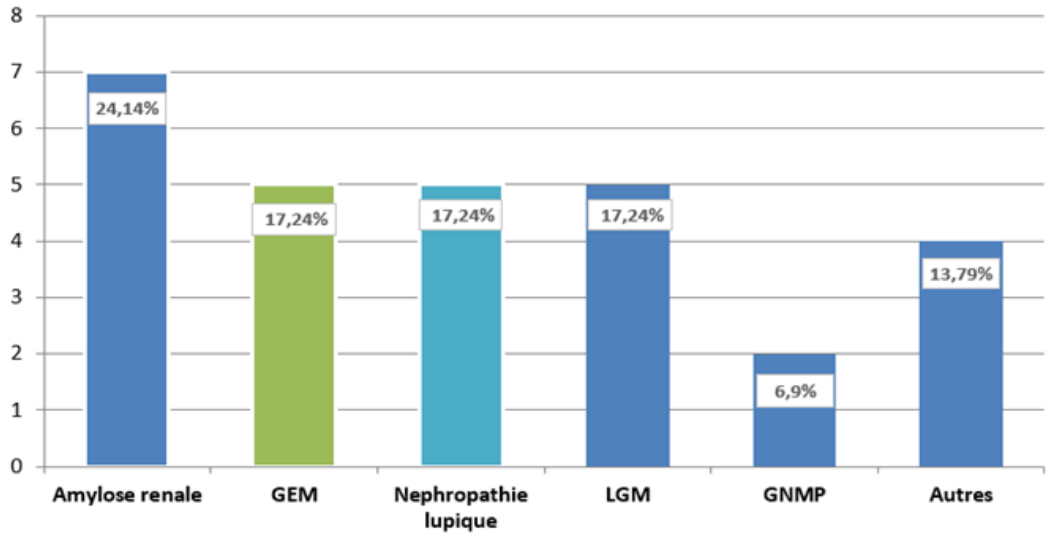


Fig. 2. Etiologies des néphropathies des patients de la série

La prise des bêtalactamines a été soulignée dans 13,8% des cas et écartée dans 86,2% des cas. Aucun patient de la série ne présentait de pancréatopathie étiquetée, cependant, aucun patient n'a bénéficié de bilan biologique ni scanographique pouvant objectiver la présence de faux kystes du pancréas. Une gammapathie monoclonale a été objectivée chez un seul patient, soit 3,45% des cas, écartée dans 89,65% et en cours d'exploration dans 6,9% des cas.

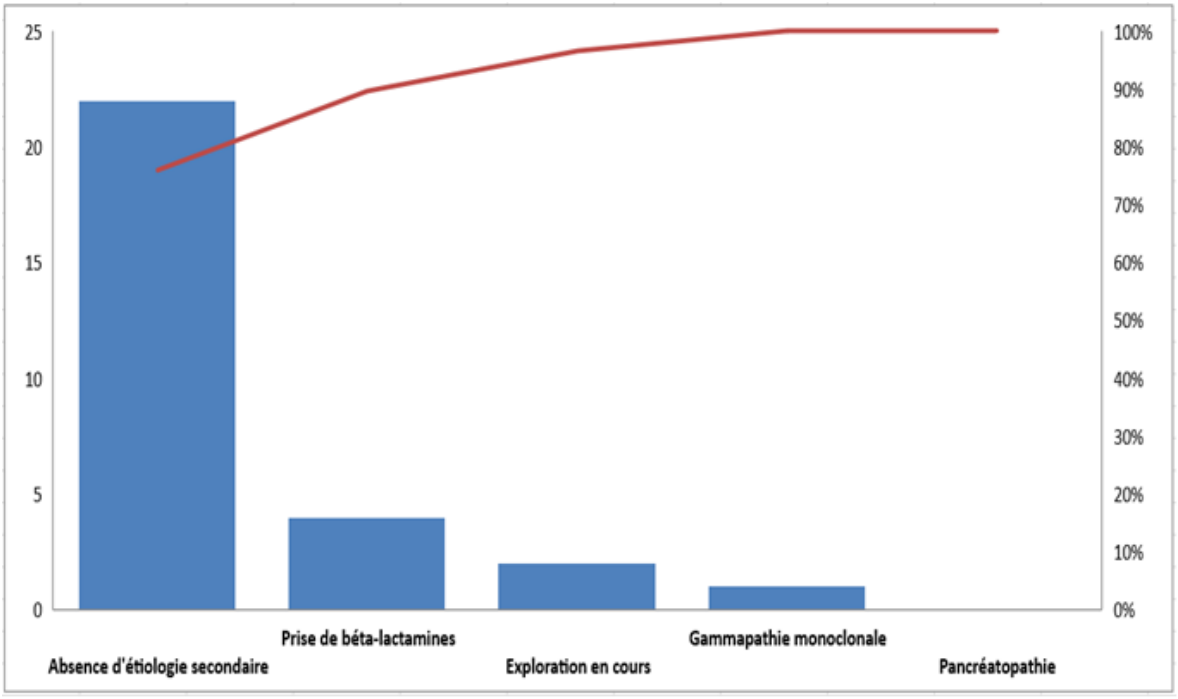


Fig. 3. Etiologies des bisalbuminémies secondaires

4 DISCUSSION

L'électrophorèse des protéines sériques est une analyse de routine visant à rechercher les modifications qualitatives et semi quantitatives du profil des protéines sériques. Cette analyse renseigne, entre autres, sur la présence des immunoglobulines monoclonales, l'inflammation, le syndrome néphrotique, les déficits immunitaires... [4], [5].

L'albumine est la protéine majeure du compartiment circulatoire de l'organisme humain. Elle joue un rôle fondamental dans le maintien de la pression oncotique intravasculaire et dans le transport de nombreuses substances endogènes et exogènes. Sa concentration plasmatique peut subir de nombreuses variations physiologiques et pathologiques. Les bisalbuminémies sont des anomalies qualitatives souvent détectées fortuitement par électrophorèse des protéines sériques, ces bisalbuminémies sont congénitales et permanentes ou acquises et transitoires [6].

Comparée à la forme normale, l'albumine modifiée peut présenter une migration plus anodique (type rapide), ou plus cathodique (type lent) selon la variation de son point isoélectrique. Sur les supports électrophorétiques (acétate de cellulose ou gel d'agarose), les bisalbuminémies sont mises en évidence par un dédoublement partiel de la bande d'albumine ou par l'apparition d'une seconde bande bien individualisée du côté anodique ou cathodique. Ceci se traduit, après intégration densitométrique, par un tracé électrophorétique comportant un pic avec un épaulement ou deux pics bien différenciés. La seconde bande d'albumine visualisée peut être soit en quantité égale soit en proportion différente de la molécule d'albumine normale. Les bisalbuminémies n'ont en général pas de signification pathologique, à l'exception de celles associées à un pseudo kyste du pancréas [7], [8].

Par ailleurs, la présente étude rejoint les données de la littérature ayant démontré un pourcentage de 12% de cas de bisalbuminémie associée à des néphropathies d'étiologies diverses par rapport à une étude menée en Chine, la prévalence de la bisalbuminémie était de 11,6% chez les patients atteints de néphropathies diabétiques et de 8,5% chez les patients atteints de néphropathies liée à l'hypertension. D'autres études ont montré que la prévalence de la bisalbuminémie est également élevée chez les patients atteints de maladies rénales auto-immunes telles que le lupus érythémateux disséminé et la glomérulonéphrite. D'autres facteurs de risque ont été décrits incluant le tabagisme, l'alcoolisme et l'obésité. Des études ont

également montré que la bisalbuminémie est plus fréquente chez les personnes atteintes de certaines maladies génétiques telles que la maladie de Fabry ou la maladie d'Alport [2], [9].

Il est important de comprendre les causes et la fréquence des bisalbuminémies en néphrologie pour améliorer les soins des patients. Les bisalbuminémies sont caractérisées par une augmentation de la protéine albumine dans les urines, ce qui peut être causé par une variété de troubles rénaux. Selon une étude menée au Maroc, les causes les plus fréquentes des bisalbuminémies sont la glomérulonéphrite (GN), le diabète sucré et l'hypertension artérielle (HTA). Une autre étude a révélé que la prévalence de la bisalbuminémie est élevée chez les patients atteints de maladies rénales chroniques (MRC), en particulier chez les patients atteints de néphropathies diabétiques. Les patients atteints de bisalbuminémie ont également un risque accru de développer des complications rénales telles que l'insuffisance rénale et l'hypertension rénovasculaire. Il est donc crucial de dépister et de traiter efficacement les bisalbuminémies associées aux néphropathies pour protéger la fonction rénale à long terme [10], [11].

L'étiologie héréditaire est de transmission autosomique codominante retrouvée chez plusieurs membres d'une même famille. Chez un sujet hétérozygote, les deux types d'albumine seront exprimés se traduisant par une expression identique des deux allèles, qui contrôlent chacun la biosynthèse de la moitié de la quantité totale d'albumine [12]. Par ailleurs, seule une exploration des étiologies acquises a été de mise, aucune étude génétique n'a été réalisée chez les patients de cette série.

Les étiologies acquises ou pseudo bisalbuminémies ne sont observées que de façon transitoire sur le tracé électrophorétique, elles seront également mises en évidence par deux bandes plus ou moins bien séparées, celle de migration la plus anodique correspondant le plus souvent à l'albumine modifiée. Trois causes majeures de pseudo-bisalbuminémies ont été citées: la liaison à l'albumine d'antibiotiques présentant un cycle β-lactame, la protéolyse limitée de l'albumine par des enzymes pancréatiques et la liaison à l'albumine de certaines immunoglobulines monoclonales [1], [11].

Cette étude a objectivé un pourcentage de 13,8% de prise des Béta-lactamines et 3,45% de gammapathie monoclonale sans possibilité d'indiquer la présence ou l'absence de pathologie pancréatique par manque de réalisation des examens spécifiques.

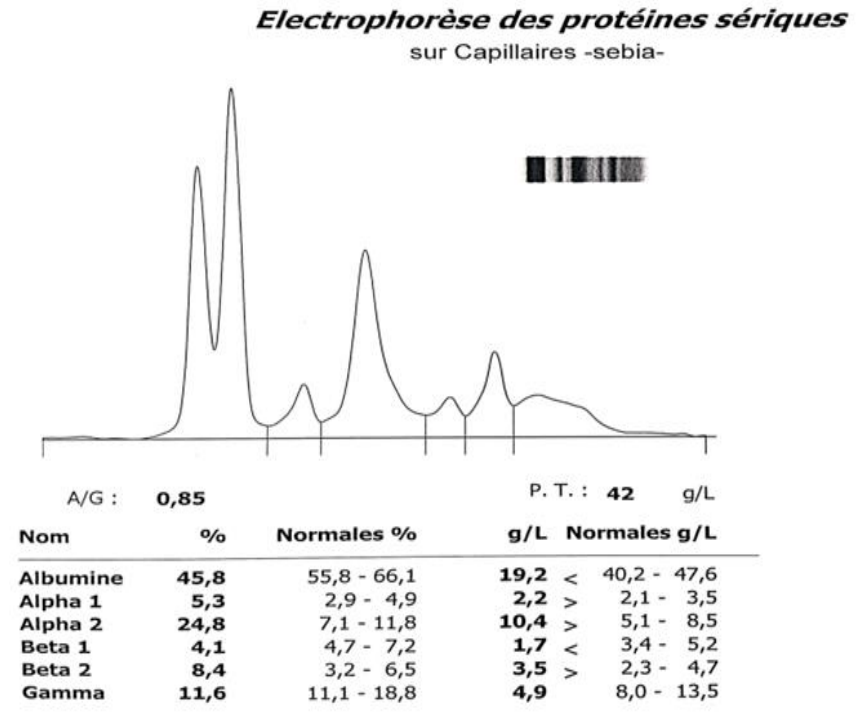
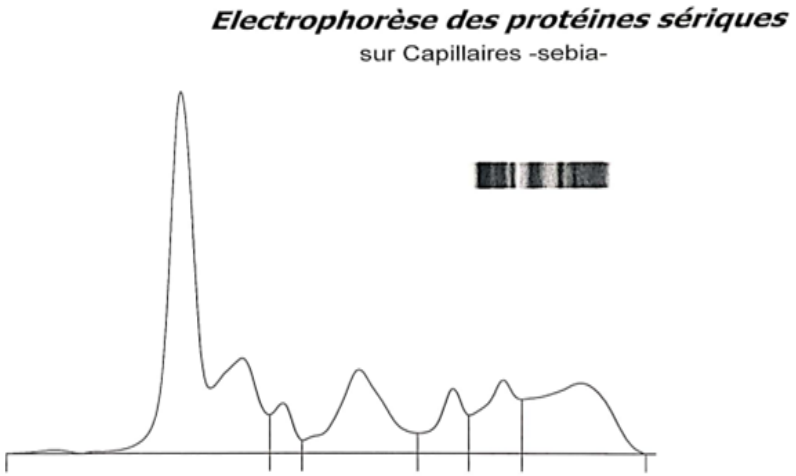


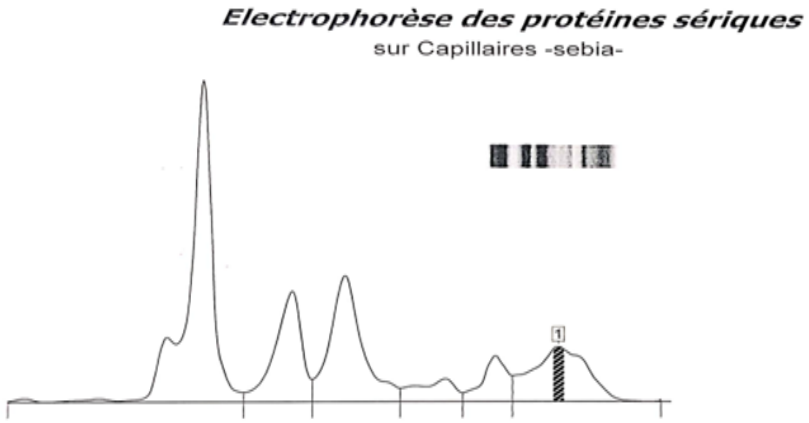
Fig. 4. Profil électrophorétique montrant une bisalbuminémie chez un patient suivi pour néphropathie à lésions glomérulaires minimes sans étiologie secondaire élucidée



A/G : **0,92** P. T. : **60** g/L

Nom	%	Normales %	g/L		Normales g/L
Albumine	**47,9**	55,8 - 66,1	**28,7**	<	40,2 - 47,6
Alpha 1	**3,5**	2,9 - 4,9	**2,1**		2,1 - 3,5
Alpha 2	**14,9**	7,1 - 11,8	**8,9**	>	5,1 - 8,5
Beta 1	**6,3**	4,7 - 7,2	**3,8**		3,4 - 5,2
Beta 2	**9,1**	3,2 - 6,5	**5,5**	>	2,3 - 4,7
Gamma	**18,3**	11,1 - 18,8	**11,0**		8,0 - 13,5

Fig. 5. Profil électrophorétique montrant une bisalbuminémie chez une patiente suivie pour néphropathie lupique avec prise des Béta-lactamines



A/G : **0,63** P. T. : **40** g/L

Nom	%	Normales %	g/L		Normales g/L
Albumine	**38,5**	55,8 - 66,1	**15,4**	<	40,2 - 47,6
Alpha 1	**14,9**	2,9 - 4,9	**6,0**	>	2,1 - 3,5
Alpha 2	**20,6**	7,1 - 11,8	**8,2**	>	5,1 - 8,5
Beta 1	**4,5**	4,7 - 7,2	**1,8**	<	3,4 - 5,2
Beta 2	**5,9**	3,2 - 6,5	**2,4**		2,3 - 4,7
Gamma	**15,6**	11,1 - 18,8	**6,2**		8,0 - 13,5

Protéine monoclonale	%	g/L
1	3,1	1,2

Fig. 6. Profil électrophorétique montrant une bisalbuminémie chez une patiente suivie pour Glomérulonéphrite extramembraneuse, associée à une immunoglobuline monoclonale

Notre série présente des limites concernant le recueil des données, une exploration plus avancée dans des études ultérieures est nécessaire afin de compléter ces résultats.

5 CONCLUSION

La bisalbuminémie constitue une anomalie qualitative d'étiologies variées, cette étude objective une prévalence importante de son association aux néphropathies, par ailleurs, seules certaines étiologies secondaires ont été vérifiées, les étiologies héréditaires non explorées ne peuvent être écartées. L'exploration des tracés électrophorétiques objectivant une bisalbuminémie nécessite une connaissance détaillée permettant une interprétation adéquate des profils électrophorétiques.

CONFLITS D'INTÉRÊTS

Les auteurs ne déclarent aucun conflit d'intérêts.

REFERENCES

[1] K. Bach-Ngohou, S. Schmitt, D.Le Carrer D. Masson, M. Denis. Dysalbuminemies.pdf [En ligne]. Disponible: http://medicalux.fr/www/nicbook/Biblio/Dysalbuminemies.pdf

[2] Li, X., et al. Prevalence and risk factors of bis-ethylated albumin in patients with type 2 diabetes mellitus and diabetic nephropathy. Journal of Diabetes Research. (2019).

[3] Ejaz, A., Krishna, M., Wasiluk, A. et al. Bisalbuminemia in chronic kidney disease. Clin Exp Nephrol 8, 270–273 (2004). https://doi.org/10.1007/s10157-004-0291-1.

[4] Bouayadi O, Bensalah M, Rahmani N, Assoufi S, Choukri M. Electrophorèse des protéines sériques: étude de 410 profils électrophorétiques. Pan Afr Med J [En ligne]. 8 avr 2019 [cité le 26 févr 2023]; 32: 161. Disponible: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6607294/.

[5] Aurélie Albert, Maryline Gaume, Sylvie Ughetto, Vincent Sapin, Anne Fogli. Évaluation du couplage protéinémie + électrophorèse des protéines sériques totales par technique capillaire (Capillarys 2, Sebia): expérience clermontoise. Ann Biol Clin. 2010; 68 (6): 657-67.

[6] Lefrère B, Dedôme E, Garcia-Hejl C, Ragot C, Chianea D, Delacour H, et al. Les bisalbuminémies: à propos d'un cas.

[7] La Revue de Médecine Interne [En ligne]. 1 déc 2018 [cité le 25 déc 2021]; 39 (12): 950 4. Disponible: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0248866318305812.

[8] Ouzzif Z, Derouiche M. Bisalbuminémie héréditaire chez un patient diabétique et hypertendu. Ann Biol Clin 2002; 60: 707-10.

[9] Galezowski N, Jouanique-Bayrod C, Dazza F, Gehrig D, Trivin F, Herreman G. Bisalbuminémie révélant une hyperparathyroïdie primaire avec faux kyste du pancréas fistulé. Rev Med Int 1997; 18: 720-3.

[10] Akhmouch I, Alayoud A, Bahadi A, Zajjari Y, Montasser D, El Allam M, Oualim Z. Bisalbuminemia during remission of nephrotic syndrome. Saudi J Kidney Dis Transpl 2012; 23: 1251-3.

[11] El Hassani, A., et al. «Glomerulonephritis and proteinuria in Morocco: a study of 100 cases.» Journal of nephrology, vol. 19, no. 4, 2006, pp. 556-561.

[12] Hadrach S, et al. Les bis albuminémies rapportées au laboratoire de la biochimie de CHU Ibn Rochd de Casablanca; [cité le 24 août 2022]. Disponible: http://www.ijias.issr-journals.org/abstract.php?article=IJIAS-19-011-05.

[13] Le Treut A, Catheline M, Cloarec L. Inherited and familial bisalbuminemia: acquired transient bisalbuminemia (in French). Pathol Biol (Paris) 1977; 25: 45–55.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1299-1311
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Evaluation de la qualité des eaux de forages et de puits destinées à la consommation humaine: Approches d'analyses multivariées

[Assessment of the borehole and well water quality intended for human consumption: Multivariate analysis approaches]

Kandana Marthe Yéo[1], Aya Nelly Berthe Kouadio[2], and Droh Lanciné Goné[2]

[1]Centre de Recherche Ecologique, Université Nangui Abrogoua, 08 BP 109 Abidjan 08, Côte d'Ivoire

[2]Laboratoire de Géosciences et Environnement, Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 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 poor condition of Grand-Bassam's boreholes and the drinking water wells of the local population led to an assessment of their hygienic quality. Several data analysis approaches were performed on 4 boreholes and 17 well water samples. Indeed, physico-chemical and bacteriological analysis, as well as Water Quality Index and Principal Component Analysis were used to differentiate the characteristics of borehole and well water in order to determine the level and origin of water pollution. The results showed that all chemical borehole water quality was poor, while of 35% and 65% of well chemical water quality were good and satisfactory, respectively. Owns to soil nature, the iron and manganese contents were 0.73 ± 0.23 mg.L^{-1} and 0.1 ± 0.07 mg.L$^{-1,}$ respectively. The high presence of *fecal streptococci, salmonella* and *shigella* in the borehole water, as well as *Escherichia coli,* total coliforms and fecal coliforms in the well water, thereby underscoring the poor microbiological quality of water (90,53% of borehole and 92% of well), which is contaminated by septic tank water. Furthermore, the high presence of S*almonella* in borehole water suggests that it may contain hydrogen sulfide, which is responsible for its unpleasant odors.

KEYWORDS: Borehole, Water quality index, Principal Component Analysis, Faecal pollution.

RESUME: La mauvaise odeur des eaux de certains forages et puits consommées par une frange de la population de Grand-Bassam a suscité l'évaluation de leurs qualités hygiéniques. Afin de déterminer le niveau et l'origine de cette pollution, les eaux de 4 forages et 17 puits ont fait l'objet d'analyses physico-chimiques et bactériologiques sélectives et l'Indice de Qualité des Eaux et l'Analyse en Composante Principale ont été effectués. Les résultats montrent des valeurs élevées de fer (0,73 ± 0,23 mg.L^{-1}) et de manganèse (0,1 ± 0,07 mg.L^{-1}) provenant du sol, responsable de la mauvaise qualité chimique des eaux. Il ressort qu'au niveau chimique, toutes les eaux de forage sont de mauvaise qualité contre 35 % et 65 % d'eau de puits de bonne et satisfaisante qualité. Au niveau microbiologique, 68 % et 60 % des eaux de forage et de puits sont impropres à la consommation. La mauvaise qualité microbiologique des eaux de forage est due à l'abondance de streptocoques fécaux, *salmonena* et *shigella* et celle des puits est liée aux fortes charges de *Escherichia coli,* de coliformes totaux et fécaux. Cette pollution d'origine fécale des eaux proviendrait de la communication entre ces ouvrages et les fosses septiques. Par ailleurs, la forte présence des *Salmonella* dans les eaux de forages témoigne que celles-ci pourraient contenir de l'hydrogène sulfuré responsable de leurs mauvaises odeurs.

MOTS-CLEFS: Eau souterraine, Indice de qualité des eaux, Analyse en Composante Principale, Pollution fécale.

1 INTRODUCTION

L'eau de consommation doit répondre d'une part aux critères de qualité physico-chimique qui correspondent aussi bien à l'absence d'éléments chimiques indésirables ou toxiques qu'à une teneur naturelle en sels minéraux équilibrée [1], et d'autre part, elle doit être exemptée d'agents pathogènes car l'eau contaminée est source de maladies comme les gastroentérites, l'hépatite virale, douleurs abdominales, typhoïdes, leptospirose…qui causent la mortalité de millions de nourrissons et d'enfants chaque année [2]. De ce fait, la nécessité de contrôler la qualité de l'eau consommée par la population est une obligation.

En Côte d'Ivoire, de nombreuses études réalisées sur la qualité des eaux de forages et puits ont montré des niveaux de risques sanitaires élevés liés à la consommation humaine d'eau de mauvaise qualité ([3], [4]). Ces eaux constituant généralement la principale ressource en eau potable des populations sont sous la dépendance d'un ensemble de facteurs naturels et anthropiques qui entraînent la détérioration de leur

qualité hygiénique [5]. Dans la ville de Grand-Bassam, les eaux de forage de certains ménages ont une mauvaise odeur et font l'objet de plusieurs plaintes. La détérioration de ce paramètre organoleptique pourrait témoigner de la dégradation de la qualité chimique et bactériologique de ces eaux. Face à cette situation, la prévention et le contrôle de la pollution des eaux souterraines de cette ville s'imposent et doivent reposer sur une analyse fiable de la qualité de l'eau et de l'identification des sources de polluants [6]. Les données de surveillance sont généralement analysées à l'aide de méthodes statistiques [7], notamment l'analyse en composante principale (ACP), la matrice de corrélation (MC), l'analyse factorielle (FA), l'analyse discriminante (DA), la régression linéaire multiple (RLM), l'analyse de la variance (ANOVA) et les indices de qualité de l'eau (IQE) qui se sont avérées utiles pour expliquer l'origine de la pollution. Certaines études récentes qui ont été couronnées de succès grâce à l'utilisation des analyses multivariées incluent les travaux de ([8], [9], [10]). Ces chercheurs ont montré que les approches statistiques multivariées peuvent être utilisées pour réduire les dimensions des données, faire ressortir les variables statistiquement significatives qui sous-tendent les variations de la qualité de l'eau, évaluer la relation entre les variables et identifier les sources de pollution de ces eaux etc. Vue l'urgence et la nécessité de la consommation quotidienne de ces eaux et l'exposition probable de cette population aux risques sanitaires, il est impérieux de déterminer la qualité chimique et microbiologique des eaux de puits et forages et utiliser les outils statistiques pour déterminer le degré et les sources de pollution.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La ville de Grand Bassam est localisée au Sud-Est de la Côte-d'Ivoire sur le littoral dans la région du Sud Comoé, entre 05° 21' de latitude Nord et 03° 46' de longitude Ouest, à 43 Km au Sud-Est d'Abidjan (Figure 1). Elle couvre une superficie totale de 127 Km^2 environ et est limitée au Sud par l'Océan Atlantique, au Sud-Est par la ville de Bonoua, au Nord-Est par la ville d'Alépé, au Nord par la ville de Bingerville et à l'Ouest par celle d'Abidjan [11]. Son climat sub-équatoral est caractérisé par deux saisons de pluies (Avril-Juillet et Septembre - Octobre) alternées par deux saisons sèches (Août-Septembre et Décembre-Mars). La pluviométrie et la température annuelle sont respectivement 2 149,6 mm et 27,9 °C [11].

Grand-Bassam est située dans la zone centrale du bassin sédimentaire du Sud de la Côte d'Ivoire et est caractérisée par des plaines dont les altitudes dépassent rarement les 50 m. Les sables des cordons marins et les sables argileux quaternaires renferment des eaux douces connues sous le nom de "nappe du Quaternaire". La perméabilité des terrains superficiels dans lesquels se développe la nappe du quaternaire se situe entre 10^{-4} $m.s^{-1}$ et 10^{-3} $m.s^{-1}$ pour les sables argileux et 10^{-3} $m.s^{-1}$ pour les sables des cordons marins [12]. Les sols ferralitiques et hydromorphes des bas-fonds y prédominent.

2.2 ECHANTILLONNAGE ET ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE ET MICROBIOLOGIQUE DES EAUX

Les forages et puits ont été choisis en fonction de leurs accessibilités, leurs usages, leurs bonnes répartitions spatiales et des pressions anthropiques exercées sur ces ouvrages. Sur la base de ces critères ci-définis, quatre (4) forages (F1 à F4) et dix-sept (17) puits (P1 à P17) dont les coordonnées géographiques ont été relevées par un GPS de marque MLR SP 12X ont été retenus (Figure 1). Les forages sont situés dans des concessions propres avec de bon système de protection (Tableau I).

Chaque forage et puits ont fait l'objet de deux prélèvements par campagne (Trente-quatre (34) échantillons d'eau de puits et huit (8) échantillons d'eau de forages) en mai 2022. L'un des échantillons est destiné à l'analyse des paramètres chimiques et l'autre à l'analyse des paramètres microbiologiques. Pour les analyses chimiques, les échantillons d'eau de puits ont été prélevés à l'aide d'une puisette et ceux des forages directement au robinet du système d'équipement du forage dans des flacons en polyéthylène de 500 mL préalablement lavés et étiquetés. Concernant les analyses microbiologiques, les prélèvements ont été fait dans des flacons en bouteille préalablement stérilisés à l'autoclave à 121°C.

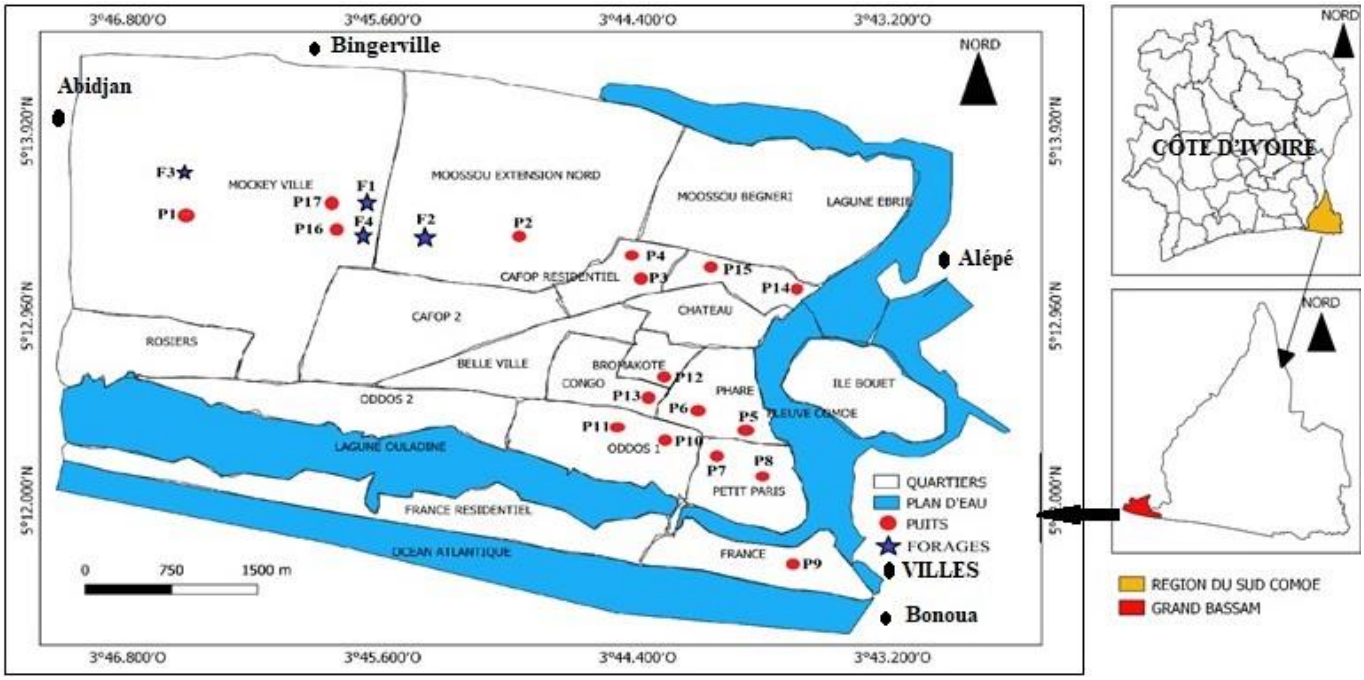


Fig. 1. Localisation de la zone d'étude et des forages et puits échantillonnés

Tableau 1. Caractéristiques environnementales des forages et puits

Ouvrages		Niveau d'eau (m)	Distance puits-fosse septique (m)	Conditions environmentales des puits et forages
Forage	Minimum	7	14	Ouvrages situés dans des concessions propres avec un bon système de protection
	Moyenne	13	16,45	
	Maximum	18	19	
	Ecartype	4,69	2,77	
Puits	Minimum	0,47	1,9	Ouvrages situés dans des concessions propres comme insalubres, sans systèmes de protection quelquefois
	Moyenne	1,60	11,53	
	Maximum	3,94	19	
	Ecartype	1,07	5,02	

Tous ces échantillons ont ensuite été conservés à l'abri de la lumière dans des glacières contenant des packs réfrigérants (4 °C) puis, transportés au laboratoire pour les différentes analyses.

Sur le terrain, le pH, la température, la conductivité, l'oxygène dissous, la salinité, le potentiel redox et les solides totaux dissous (TDS) ont été mesurés à l'aide d'un multi-paramètre HANNA (Hi 9829). La turbidité a été mesurée à avec un turbidimètre HANNA (Hi 98703).

Au laboratoire, l'analyse du fer, du manganèse, de l'absorbance UV254, de l'ammonium, des nitrites et des nitrates a été effectuée avec le spectrophotomètre d'absorption moléculaire DR 6000 HACH (SODIMEL, France).

La méthode de filtration sur membrane (ISO 9308-1.2000, ISO 7899-2.2000) a été utilisée pour le dénombrement des bactéries dans le cadre cette étude. Les valeurs obtenues sont comparées aux valeurs guides (Tableau II).

2.3 TRAITEMENT ET ANALYSE STATISTIQUE DES DONNÉES

Les tests non-paramétriques de Kruskal-Wallis et de Mann-Whitney ont été utilisés pour comparer les eaux des forages et puits. Ces tests ont été utilisés à un niveau de significativité de p de 95 % ($p < 0,05$) et ont été couplés aux boîtes à moustaches pour la distribution des paramètres.

2.3.1 INDICE DE QUALITÉ CHIMIQUE ET MICROBIOLOGIQUE DES EAUX DE FORAGE ET DE PUIS

L'indice de qualité de l'eau (IQE) est un outil d'évaluation et de communication fiable, qui fournit des informations utiles et efficaces sur la qualité globale de l'eau d'une manière consensuelle [13]. L'indice fournit une valeur unitaire qui traduit l'adéquation globale de la qualité de l'eau pour un objectif spécifique tel que la boisson, l'irrigation ou la protection de la vie aquatique et la qualité globale de l'eau d'un certain échantillon d'eau (en fonction du lieu et du moment) pour plusieurs paramètres de qualité de l'eau. Plusieurs indices ont été développés et appliqués avec succès pour l'évaluation de la qualité de l'eau. Cependant, l'IQE mis au point par le Conseil canadien des ministres de l'environnement (IQE du CCME) a été utilisé dans cette étude parce qu'il est non seulement relativement plus robuste mais aussi flexible pour s'adapter à divers paramètres de qualité de l'eau et à diverses recommandations [14]. La valeur de l'IQE du CCME est obtenue par la comparaison des paramètres physico-chimiques avec leurs recommandations (Tableau II).

Il dépend de trois facteurs: l'étendue (F1), la fréquence (F2) et l'amplitude (F3) comme le montre l'équation (1):

$$\mathrm{IQE}=100-\left(\frac{\sqrt{\mathrm{F1}^2+\mathrm{F2}^2+\mathrm{F3}^2}}{1.732}\right) \quad (1)$$

Le dénominateur 1,732 normalise la valeur résultante de l'IQE dans une fourchette de zéro (pire qualité) à 100 (meilleure qualité). La longueur du vecteur résultant peut atteindre 173,2 (Eq. (2)).

$$\sqrt{100^2+100^2+100^2}=173.2 \quad (2)$$

Ainsi, la division par 1,732 donne 100 comme longueur maximale du vecteur.

La portée (F1) représente l'étendue de la non-conformité de la qualité de l'eau par rapport à la ligne directrice au cours de la période d'intérêt (Eq. (3))

$$\mathrm{F1}=\left(\frac{\text{Nombre de paramètre excédant la valeur guide}}{\text{Nombre total de paramètre}}\right) \mathrm{X}\ 100 \quad (3)$$

La fréquence (F2) représente la proportion en pourcentage des tests individuels qui sont non conformes (échec) aux directives respectives (Eq. (4))

$$\mathrm{F2}=\left(\frac{\text{Nombre de donnée excédant la valeur guide}}{\text{Nombre total de données}}\right) \mathrm{X}\ 100 \quad (4)$$

L'amplitude (F3) représente l'amplitude qui est la mesure dans laquelle les tests non conformes (échoués) n'ont pas satisfait aux directives respectives (Eq. (5))

$$\mathrm{F3}=\left(\frac{\mathrm{SNE}}{0.01\mathrm{SNE}+0.01}\right) \quad (5)$$

SNE est la Somme Normalisée des Excursions qui est le montant total par lequel les tests individuels ratés sont hors de conformité (Eq. (6))

$$\mathrm{SNE}=\frac{\sum_{i=1}^{n}\text{excursioni}}{\text{Nombre total de données}} \quad (6)$$

L'excursion est calculée de deux manières différentes, selon le type de ligne directrice. Lorsque la ligne directrice ne doit pas être dépassée, elle est calculée en utilisant (Eq. (7))

$$\text{excursioni}=\left(\frac{\text{Valeur du paramètre excédant la valeur guide-Valeur guidej}}{\text{Valeur guidej}}\right) \quad (7)$$

Et pour les cas où la valeur ne doit pas tomber en dessous de la ligne directrice, l'excursion est donnée par l'équation (8)

$$\text{excursioni}=\left(\frac{\text{Valeur guidei-Valeur du paramètre excédant la valeur guidej}}{\text{Valeur du paramètre excédant la valeur guidej}}\right) \quad (8)$$

Tableau 2. Paramètres d'évaluation de la qualité des eaux de boisson avec les valeurs guides et limites

Paramètres		Valeurs guides	Références
Chimiques	pH	6.5 – 8.5	[15]
	Turbidité (NTU)	5	[1]
	Température (°C)	25	[15]
	Oxygène dissous ($mg.L^{-1}$)	5	[15]
	Solide totaux dissous ($mg.L^{-1}$)	1000	[15]
	Ammonium ($mg.L^{-1}$)	1	[15]
	Nitrites ($mg.L^{-1}$)	3	[1]
	Nitrate ($mg.L^{-1}$)	25	[15]
	Fer ($mg.L^{-1}$)	0,3	[1]
	Manganèse ($mg.L^{-1}$)	0,05	[1]
Microbiologiques	Coliformes totaux ($ufc.100\ m.L^{-1}$)	10	[1]
	Coliformes fécaux ($ufc.100\ m.L^{-1}$)	0	[1]
	Streptocoques fécaux ($ufc.100\ m.L^{-1}$)	0	[1]
	Escherichia coli ($ufc.100\ mL^{-1}$)	0	[1]
	Salmonella ($ufc.100\ m.L^{-1}$)	0	[1]
	Shigella ($ufc.100\ m.L^{-1}$)	0	[1]

Selon le Conseil canadien des ministres de l'environnement [14], les valeurs de l'IQE ont été classées en cinq catégories et la qualité de l'eau à chaque station d'échantillonnage a été classée et interprétée selon les descriptions des côtes du Tableau III.

Tableau 3. Classification et usage possible de l'eau selon l'Indice de Qualité de l'Eau du CCME

Indice de qualité de l'eau (IQE)	Qualité de l'eau	Description
100 ≤ IQE ≤95	Excellente	Toutes les mesures sont toujours conformes aux directives (ne nécessite pas de traitement avant la consommation humaine)
94 ≤ IQE ≤ 80	Bonne	Les conditions s'écartent rarement des niveaux naturels ou souhaitables (nécessite des travaux de traitement mineurs avant la consommation humaine)
79 ≤ IQE ≤65	Satisfaisante	Les conditions s'écartent parfois des niveaux naturels ou souhaitables (eau potable raisonnable nécessitant un traitement préalable et conventionnel avant la consommation humaine
64 ≤ IQE ≤ 45	Mauvaise	Les conditions s'écartent souvent des niveaux naturels ou souhaitables (eau polluée dont la potabilité est douteuse)
44 ≤ IQE ≤ 0	Impropre à la boisson	Les conditions s'écartent généralement des niveaux naturels ou souhaitables (eau hautement polluée inacceptable pour la consommation humaine)

2.3.2 ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

Les paramètres physico-chimiques et microbiologiques des eaux de puits et de forages ont été soumis à une analyse en composante principale (ACP) pour déterminer les différents processus intervenant dans la pollution de ces eaux souterraines. L'ACP définit les facteurs principaux dont la corrélation avec les variables permet une explication des phénomènes mis en jeu. C'est une méthode non supervisée, où aucune hypothèse n'est faite concernant des relations éventuelles entre les individus et entre les variables. Mais plutôt, une simple et raisonnable optimisation de l'hypothèse, selon laquelle les directions de plus grandes dispersions des échantillons sont les directions les plus intéressantes et que la variabilité associée avec ces directions correspond à l'information ([16], [17]). L'utilisation optimale de l'ACP nécessite la normalisation de la distribution des données, et celle-ci a été vérifiée par le test statistique HSD (Honest Significant Difference) de Tukey et de corrélation de Pearson. Ces analyses ont été réalisées avec le logiciel R interface Rstudio version 4.1.2.

3 RÉSULTATS

3.1 CARACTÉRISTIQUES ET QUALITÉS PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DE FORAGE ET DE PUITS DE GRAND-BASSAM

La statistique descriptive de chaque paramètre physico-chimique est présentée dans le Tableau IV. Dans l'ensemble des eaux échantillonnées, la température varie de 28,8 à 29,9 °C au niveau des forages et de 27,94 à 30,2 au niveau des puits et les valeurs moyennes se situent entre 29,26 ± 0,51°C (forage) et 29,4 ± 0,59 °C (Puits). Quant au pH, les valeurs minimum et maximum sont respectivement 4,78 et 6,24 dans les eaux de forages et 5,96 et 7,29 dans les eaux de puits. Les valeurs moyennes sont comprises entre 5,5 ± 0,63 (forages) et 6,71 ± 0,34 (puits).

Les valeurs de l'oxygène dissous et du potentiel redox fluctuent respectivement entre 2,02 $mg.L^{-1}$ et 2,59 $mg.L^{-1}$ et entre 1,23 et 57,7 mV pour les eaux de forage et entre 1,80 et 4,36 $mg.L^{-1}$ et 6,05 et 69,5 mV pour les eau de puits. Les concentrations moyennes de l'oxygène dissous et du potentiel redox par ouvrage sont 2,25 ± 0,26 $mg.L^{-1}$ et 22,56 ± 20,6 mV dans les forages et de 2,86 ± 0,63 $mg.L^{-1}$ et 44,9 ± 18,8 mV dans les puits.

Les valeurs moyennes la turbidité, de la conductivité et des solides totaux dissous sont respectivement 17,19 ± 14,2 UNT, 183,2 ± 81,8 $\mu S.cm^{-1}$ et 91,6 ± 40,7 $mg.L^{-1}$ pour les eaux de forage et de 8,13 ± 6,44 UNT, 729 ± 468 $\mu S.cm^{-1}$ et 355 ± 239 $mg.L^{-1}$ pour les eaux de puits.

Concernant la salinité et l'absorbance $UV_{254,}$ les valeurs dans les eaux de forage varient de 0,13 à 0,37 $mg.L^{-1}$ avec une moyenne de 0,20 ± 0,12 $mg.L^{-1}$ pour la salinité et de 0,46 à 1,38 cm^{-1} avec une moyenne de 0,89 ± 0,42 cm^{-1} pour l'absorbance. Celles des puits varient de 0,3 à 2,42 $mg.L^{-1}$ avec une moyenne de 0,88 ± 0,56 $mg.L^{-1}$ pour la salinité et de 0,049 à 0,93 cm^{-1} avec une moyenne de 0,4 ± 0,2 cm^{-1} pour l'absorbance.

Tableau 4. Statistique descriptive et de comparaison entre les paramètres physico-chimiques des eaux de forages et puits de Grand-Bassam

Paramètres	Valeurs guides ([1], [15])	Forage (n= 4)			Puits (n =17)			Test statistique: Kruskal-Wallis
		Min	Max	Moy ± σ	Min	Max	Moy ± σ	p-value
Température (°C)	25-30	28,8	29,9	29,26 ± 0,51	27,94	30,2	29,4 ± 0,59	0,370
pH	6,5-8,5	4,78	6,24	5,5 ± 0,63	5,96	7,29	6,71 ± 0,34	**0,004**
Oxygène dissous ($mg.L^{-1}$)	5	2,02	2,59	2,25 ± 0,26	1,80	4,36	2,86 ± 0,63	0,06
Potentiel redox (mV)	40	1,23	57,7	22,56 ± 20,6	6,05	69,5	44,9 ± 18,8	0,127
Turbidité (UNT)	5	3,79	53,5	17,19 ± 14,2	1,23	31,1	8,13 ± 6,44	0,244
Solides totaux dessous ($mg.L^{-1}$)	1000	58,3	147	91,6 ± 40,7	81	979	355 ± 239	**0,007**
Conductivité ($\mu S.cm^{-1}$)	-	116	294	183,2 ± 81,8	202,1	1957	729 ± 468	**0,004**
Salinité ($mg.L^{-1}$)	-	0,13	0,37	0,20 ± 0,12	0,3	2,42	0,88 ± 0,56	**0,004**
Absorbance UV_{254} (cm^{-1})	-	0,46	1,38	0,89 ± 0,42	0,049	0,93	0,4 ± 0,2	0,324
NH_4^+ ($mg.L^{-1}$)	1,5	0,33	0,58	0,44 ± 0,12	0	2,88	0,78 ± 0,15	0,281
NO_3^- ($mg.L^{-1}$)	50	0	3,1	1,87 ± 1,44	2,1	34,5	12,2 ± 10	**0,004**
NO_2^- ($mg.L^{-1}$)	3	0	0,01	0,002 ± 0	0,013	0,29	0,08 ± 0,08	**0,002**
Mn^{2+} ($mg.L^{-1}$)	0,05	0,04	0,19	0,1 ± 0,07	0,001	0,23	0,07 ± 0,06	0,244
Fe^{2+}($mg.L^{-1}$)	0,3	0,52	0,98	0,73 ± 0,23	0,004	0,47	0,11 ± 0,13	**0,002**

Les concentrations moyennes d'ammonium, de nitrates, de nitrite, du manganèse et de fer respectives de 0,44 ± 0,12 $mg.L^{-1}$, 1,87 ± 1,44 $mg.L^{-1}$ et 0,002 ± 0 $mg.L^{-1,}$ 0,1 ± 0,07 $mg.L^{-1}$ et 0,73 ± 0,23 $mg.L^{-1}$ pour les eaux de forage et de 0,78 ± 0,15 $mg.L^{-1,}$ 12,2 ± 10 $mg.L^{-1,}$ 0,08 ± 0,08 $mg.L^{-1}$, 0,07 ± 0,06 $mg.L^{-1}$ et 0,11 ± 0,13 $mg.L^{-1}$ dans les eaux de puits ont été obtenues.

Les résultats des tests de Kruskal-Wallis (Tableau IV) indiquent qu'aucune différence significative ($p > 0,05$) n'est observée entre les valeurs médianes de la température, de l'oxygène dissous, du potentiel redox, de la turbidité, de l'absorbance $UV_{254,}$ de l'ammonium et du manganèse des eaux de forages et de puits. En revanche, une différence significative ($p < 0,05$) existe entre les valeurs médianes du pH, de la conductivité, des solides totaux dissous, de la salinité, des nitrites et nitrates et du fer des eaux de forage et de puits.

Selon les tests de Mann-Whitney, les valeurs medianes du pH, de la conductivité, des solides totaux dissous, de la salinité, des nitrites et nitrates des eaux de puits sont significativement plus élevées ($p < 0,05$) que celle des eaux de forage (Figure 2A, B, C, D, E, F). Pa contre, les teneurs en fer sont significativement plus élevées ($p < 0,05$) dans les eaux de forage que celles des puits (Figure 2G).

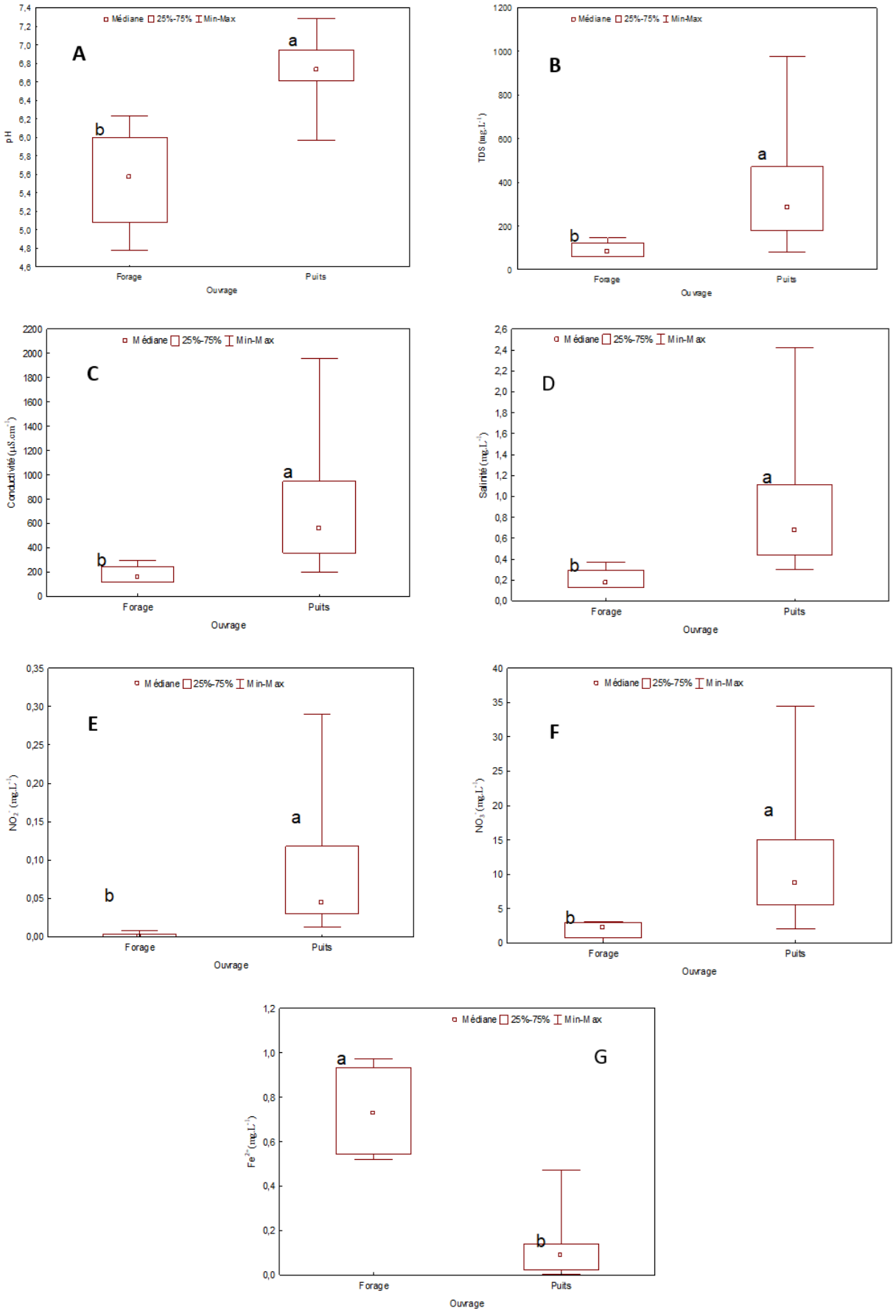


Fig. 2. Variation du pH (A), des solides totaux dissous (B), de la conductivité (C), de la salinité (D), du nitrite (E), du nitrate (F) et du fer (G) dans les eaux de forages et de puit de Grand-Bassam

La qualité chimique de l'eau de tous les forages (100 %) pendant la période d'étude est classée comme non potable. Pour les eaux de puits, plus de la moitié des eaux (65 %) ont une qualité satisfaisante et 35 % sont de mauvaise qualité (Figure 3).

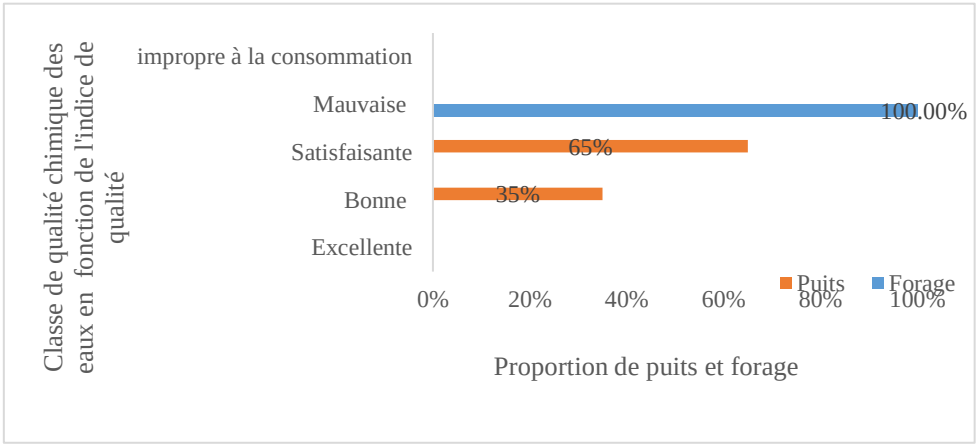


Fig. 3. Répartition des forages et puits en fonction des classes de qualité chimique des eaux de Grand-Bassam

3.1.1 CARACTÉRISTIQUES ET QUALITÉS MICROBIOLOGIQUES DES EAUX DE FORAGE ET DE PUITS DE GRAND-BASSAM

Le Tableau V présente les charges moyennes bactériennes énumérées dans les eaux de forage et puits de Grand-Bassam. Dans les forages, les valeurs moyennes de coliformes totaux de 900 ± 200 ufc.100 $mL^{-1,}$ de coliformes fécaux de 307 ± 300 ufc.100 $mL^{-1,}$ de *Escherichia coli* de 75 ± 60 ufc.100 $mL^{-1,}$ de streptocoques fécaux de 215 ± 201 ufc.100 $mL^{-1,}$ de *Salmonella* de 50 ± 24 ufc.100 mL^{-1} et de *Shigella* de 0 ± 0 ufc.100 mL^{-1} mL^{-1} ont été obtenues.

Dans les puits, elles sont de 899 ± 309 ufc.100 mL^{-1} pour les coliformes totaux, de 367 ± 291 ufc.100 mL^{-1} pour les coliformes fécaux, de 112 ± 110 ufc.100 mL^{-1} pour les *Escherichia coli,* de 90 ± 68 ufc.100 mL^{-1} pour les streptocoques fécaux, de 13 ± 9 ufc.100 mL^{-1} pour les *Salmonella* et de 0 ± 0 ufc.100 mL^{-1} pour les *Shigella*.

Le test de Kruskall Wallis (Tableau V) a révélé qu'aucune différence significative (p > 0,05) n'existe entre les valeurs médianes des coliformes totaux et fécaux, des *Escherichia coli,* des streptocoques fécaux et des *Salmonella*. En revanche, les charges médianes des *Shigella* varient significativement (p = 0,00) entre les eaux de forage et de puits.

Le test de Mann-Whitney montre que les charges de *Shigella* sont plus élevées dans les eaux de forage que dans celles des puits (Figure 4).

Tableau 5. Statistique descriptive et de comparaison entre les paramètres microbiologiques des eaux de puits et forages de Grand-Bassam

Paramètres	Valeurs guides ([1], [15])	Forage (n= 4)			Puits (n =17)			Test statistique: Kruskal-Wallis
		Min	Max	Moy ± σ	Min	Max	Moy ± σ	p-value
Coliformes totaux (ufc.100 m.L^{-1})	10	600	1000	899 ± 309	270	1360	900 ± 200	0,527
Coliformes fécaux (ufc.100 m.L^{-1})	0	60	790	307 ± 300	0	870	367 ± 291	0,560
***Escherichia coli* (ufc.100 m.L^{-1})**	0	0	90	75 ± 60	0	320	112 ± 110	0,716
Streptocopes fécaux (ufc.100 m.L^{-1})	0	30	600	215 ± 201	0	190	90 ± 68	0,418
***Salmonella* (ufc.100 m.L^{-1})**	0	1	100	50 ± 24	0	30	13 ± 9	0,438
***Shigella* (ufc.100 m.L^{-1})**	0	0	20	11 ± 4	0	0	0 ± 0	0,000

La Figure 5 présente les différentes classes de qualité microbiologique des eaux de puits et de forage. Elle indique que la majorité des eaux de forages (90,53 %) et de puits (92 %) sont non potable et de mauvaise qualité contre seulement 8 % des eaux de puits et 9,47 des eaux de forage qui sont de bonne qualité.

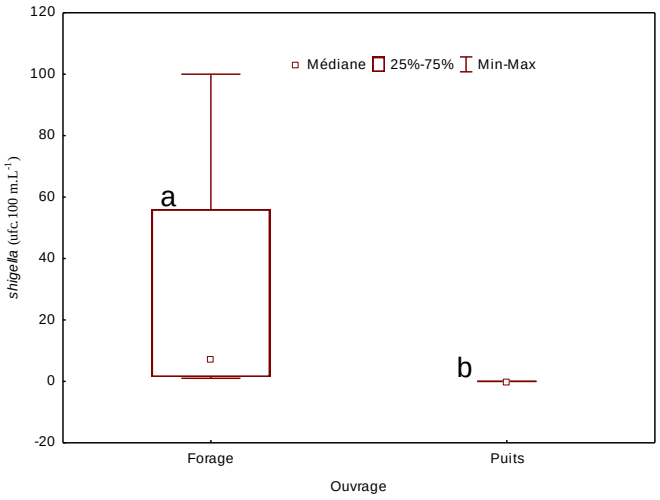


Fig. 4. Variation de shigella dans les eaux de forage et de puit de Grand-Bassam

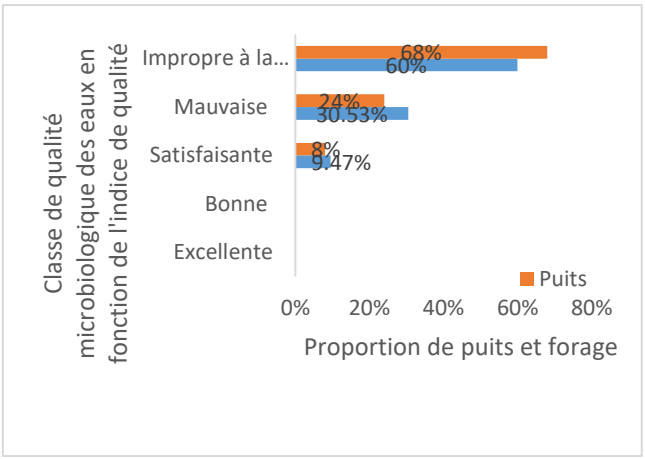


Fig. 5. Répartition des forages et puits en fonction des classes de qualité microbiologique des eaux de Grand-Bassam

3.2 ORIGINE DE LA POLLUTION CHIMIQUE ET MICROBIOLOGIQUE DES EAUX DE FORAGES ET DE PUITS

L'analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur les paramètres physico-chimiques et bactériologiques (variables) a permis de mettre en évidence le pourcentage de variance de trois facteurs (Tableau VI). Les deux premiers facteurs F1, F2 retenus pour l'analyse, cumulent 49, 45% de la variance totale avec 32,78 % pour le facteur F1 et 16,67 % pour le facteur F2. La liaison existante entre toutes les variables prises deux à deux et les coefficients de corrélation entre ces différentes variables sont donnés par la matrice de corrélation (Tableau VII).

Tableau 6. Valeurs propres et variances des eaux forages et puits

Facteur	F1	F2	F3
Valeur propre	6,56	3,33	1,86
% de variance exprimée	32,78	16,66	9,33
Cumul de valeur propre	6,56	9,89	11,75
% de variance exprimée cumulé	32,78	49,44	58,74

La projection des variables sur le plan factoriel illustrée par la Figure 6a met en évidence trois grands regroupements des paramètres étudiés dans les eaux de puits et de forage. Le premier groupe (GI) se situe dans la partie négative de l'axe F1 et englobe les puits P1, P2 et P3 et les forages F1, F2, F3 et F4. Il est caractérisé par les streptocoques fécaux, *salmonella, shigella,* l'absorbance UV254, la turbidité, le fer, le manganèse (Figure 6b).

Le deuxième regroupement (GII) est observé du côté positif de l'axe factoriel F1 pend en compte les conductivité, solides totaux dissous, température, NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-, potentiel redox, salinité, *E.coli,* coliformes totaux et fécaux. Les puits P4, P5, P6, P7, P8, P12 et P13 appartiennent à ce groupe.

Le troisième groupe (GIII) est dans la partie positive de l'axe factoriel 2 et est constitué de pH et oxygène dissous. Il enregistre les puits P9, P10, P11, P14, P15, P16 et P17.

Tableau 7. Matrice de corrélation entre les paramètres chimiques et microbiologiques étudiés

	CT	CF	*E.coli*	SF	*salm*	*shig*	pH	T	Turb	STD	Sali	Cond	OD	Redox	Abs_{254}	NH_4^+	NO_3^-	NO_2^-	Mn^{2+}	Fe^{2+}
CT	1																			
CF	-0	1																		
E.coli	-0,33	0,48	1																	
SF	0,34	-0,2	-0,2	1																
Salm	0,03	-0,2	-0,2	0,44	1															
Shig	-0,36	0,09	-0,1	-0,1	**0,5**	1														
pH	0,17	-0	-0,2	**-0,6**	**-0,7**	-0,43	1													
T	-0,05	0,03	-0,1	-0	0,12	0,2	-0,1	1												
Turb	0,35	-0,1	-0,2	**0,71**	**0,61**	-0,11	**-0,5**	-0,04	1											
STD	-0,01	0,36	-0	-0,3	-0,3	-0,26	0,45	0,171	-0,21	1										
Sali	-0	0,29	-0	-0,3	-0,3	-0,28	0,47	0,194	-0,23	**0,99**	1									
Cond	-0,02	0,33	-0	-0,3	-0,4	-0,27	0,47	0,197	-0,24	**0,99**	**0,99**	1								
OD	-0,1	-0	0,02	-0,3	0,01	-0,09	0,32	-0,01	-0,24	0,02	0,05	0,07	1							
Redox	-0,12	-0,3	-0,2	0,21	-0,3	-0,28	0,04	-0,04	-0,12	0,17	0,16	0,19	0,09	1						
Abs_{254}	-0,01	-0,1	0,26	**0,5**	0,4	0,1	**-0,7**	-0,14	**0,55**	-0,3	-0,37	-0,36	-0,4	-0,1	1					
NH_4^+	0,05	0,43	-0,1	-0,2	-0,2	-0,09	0,25	0,007	0	**0,78**	**0,75**	**0,76**	-0,2	-0	-0,1	1				
NO_3^-	-0,03	0,24	-0,1	-0,2	-0,3	-0,19	0,32	0,165	-0,21	0,7	**0,71**	**0,71**	-0,1	0,34	-0,4	**0,67**	1			
NO_2^-	0,01	0,4	0,11	-0,1	-0,2	-0,23	0,32	0,14	-0,18	**0,66**	**0,65**	**0,66**	0,38	0,25	-0,3	0,42	**0,64**	1		
Mn^{2+}	0,3	0,37	0,14	0,38	0,36	-0,11	-0,3	-0,05	**0,51**	0,22	0,18	0,19	-0,2	-0,1	0,42	0,4	-0,1	0,13	1	
Fe^{2+}	-0,1	0,24	0,46	0,24	0,31	0,29	**-0,6**	-0,04	0,21	-0,4	-0,4	-0,41	-0,4	**-0,5**	**0,58**	-0,08	-0,49	-0,47	0,38	1

CT: coliformes totaux, CF: coliformes fécaux, E.coli: Escherichia coli, SF: streptocopes fécaux, salm: salmonella, Shig: shiguella, T: température, Turb: turbidité, STD: solides totaux dissous, Sali: salinité, Cond: conductivité, Abs254: absorbance UV254

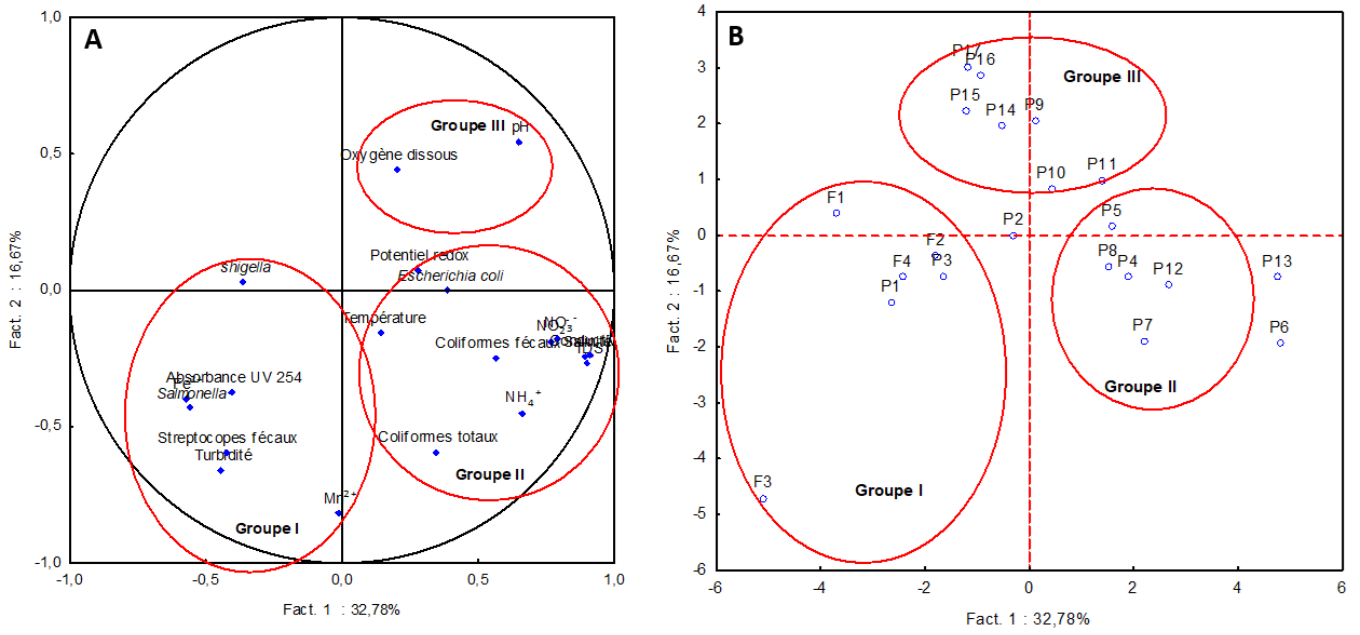


Fig. 6. Cercle de corrélation des variables (A) et plan factoriel des paramètres physico-chimiques en fonction des stations (B)

4 DISCUSSION

4.1 QUALITÉ CHIMIQUE ET MICROBIOLOGIQUE DES EAUX DE PUITS ET FORAGES DE GRAND-BASSAM

Les résultats des analyses chimiques montrent que les eaux de puits et forages sont acides et chaudes. L'acidité des eaux souterraines en zone tropicale humide est principalement liée à la production de CO_2 dans les premières couches du sol. L'hydratation du CO_2 produit de l'acide carbonique (H_2CO_3) dont l'ionisation donne des ions H^+ qui sont à l'origine de l'acidité des eaux. Cette acidité de l'eau souterraine de la zone est en conformité avec les résultats de [18] qui ont travaillé sur les eaux souterraines et ont obtenu des valeurs de pH comprises entre 4,2 et 6,88 dans la ville de Bonoua, proche de Grand-Bassam.

Les températures moyennes des eaux de puits et forages supérieures à 28°C pourraient favoriser la croissance de certains micro-organismes dans l'eau [1]. Concernant l'oxygène dissous, les eaux de puits présentent une meilleure oxygénation que les eaux de forages. Ce fait peut être lié au contact des eaux de puits avec l'air ambiant dû à leurs faibles profondeurs. En effet, le niveau d'eau moyen par rapport au sol dans les puits de 11,53 ± 2,77 m qui est inférieur à 16,45 ± 5,02 m, valeur enregistrée dans les forages. Selon [19], plus l'eau est peu profonde, plus la concentration de l'oxygène dissous est élevée.

Par ailleurs, la valeur moyenne du potentiel redox des eaux de forage de 22,56 ± 20,6 mV, inférieure à 40 mV, indique que le milieu est réducteur. La salinité élevée des eaux de puits pourrait être liée à l'environnement côtier. En effet, Grand-Bassam étant située à la périphérie de l'océan atlantique, une communication pourrait être facilitée entre les eaux salines et la nappe phréatique et contribuerait à augmenter la conductivité de eaux de puits. Les valeurs élevées de l'absorbance UV_{254} enregistrées dans les eaux de forages indiquent qu'elles contiennent plus de matières organiques que les eaux de puits.

Toutes les eaux de forages sont non potables et 65 % des eaux de puits ont une qualité satisfaisante au niveau chimique. Ce résultat indique que les paramètres de qualité de l'eau s'écartent généralement des directives de qualité de l'eau pour l'usage domestique et est en accord avec celui de [20] ayant mis en évidence la pollution chimique des eaux de puits et forage de la zone du canal de Vridi proche de Grand-Bassam. L'altération de la qualité chimique des eaux de forage est liée aux concentrations élevées de fer et de manganèse obtenues dans celles-ci. Ces eaux sont impropres à la consommation humaine et aux autres usages domestiques. En revanche, des eaux de puits de bonne qualité représentant 35 % de l'ensemble des eaux ont été observées. Cela signifie que les paramètres de qualité s'écartent rarement des niveaux naturels ou souhaitables et nécessite des travaux de traitement mineurs avant la consommation humaine. Des eaux de puits de bonne qualité chimique ont été enregistrées à Agboville par [21].

Par ailleurs, la majorité des eaux de puits (92%) et de forages (90,5%) présentent une mauvaise qualité microbiologique. Toutefois, les plus fortes charges des coliformes totaux ont été observées dans les eaux de puits et celles de *Salmonella* et de *Shigella* sont enregistrées dans les forages. Ces indicateurs de pollution fécale des eaux pourraient provenir des eaux d'infiltration des fosses septiques et du ruissellement des eaux usées compte tenu des faibles profondeurs des ouvrages. De fortes charges de coliformes totaux ont également été observées par [21] dans les eaux de puits d'Agboville.

4.2 ORIGINE DE LA POLLUTION CHIMIQUE ET MICROBIOLOGIQUE DES EAUX DE FORAGES ET DE PUITS

Le groupe I englobe les puits P1, P2 et P3 et les forages F1, F2, F3 et F4. Les eaux de ce groupe sont caractérisées par les fortes valeurs de streptocoques fécaux, *salmonella, shigella,* absorbance UV_{254}, turbidité, fer et manganèse. Les fortes teneurs de fer et de manganèse dans ces eaux suggèrent qu'elles sont pauvres en oxygène dissous et sont donc des milieux réducteurs favorable à la libération de ces ions [22]. Leurs présences peuvent être à l'origine de l'aspect trouble des eaux. La corrélation entre la turbidité et le manganèse (r = 0,51) justifierait ce fait. La coloration rougeâtre de l'eau de certains forages et puits pourrait provenir de la réduction du fer. Le fer et le manganèse confèrent à l'eau un gout métallique désagréable entrainant ainsi un problème d'acceptabilité de l'eau par les populations. Le caractère réducteur des eaux de forages peut être lié aux fortes charges des *salmonella* de ces eaux. En effet, les *salmonella* produisent de l'hydrogène sulfuré (H_2S) par l'activité de la cystéine désulfhydrase qui nécessite la consommation de grandes quantités de O_2 par ces bactéries. Cette activité a pour conséquence l'asphyxie du milieu et confère une mauvaise odeur à l'eau. Ce phénomène pourrait expliquer le faible taux de O_2 et la mauvaise odeur des eaux de forages. La présence des streptocoques témoigne d'une pollution ancienne des eaux par la matière fécale. La matière fécale pourrait provenir des eaux des fosses septiques [1]. Une communication latérale entre les forages et les fosses septiques pourrait bien exister. Par ailleurs une corrélation positive (r = 0,5) est observée entre les *Salmonella* et les *Shigella* qui n'existe que dans les eaux de forages. Ce lien justifierait que ces bactéries pathogènes dans les eaux de forage ont la même origine. La corrélation de 0,55 entre l'absorbance UV_{254} et la turbidité révèle que ces eaux contiennent des substances organiques responsable de la coloration des eaux [23]. Ces eaux pourraient également contenir des substances nutritives pouvant augmenter le taux de croissance des bactéries [24]. La corrélation entre la turbidité et les streptocoques fécaux justifie donc cette hypothèse. Le Fer et l'absorbance UV_{254} sont faiblement corrélés positivement (r = 0,58).

Le deuxième groupe caractérisé par les valeurs élevées de conductivité, STD, température, NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-, potentiel redox, salinité, coliformes totaux et fécaux et *E.coli* comprend les puits P4, P5, P6, P7, P8, P12 et P13. Les eaux des puits constituant uniquement ce groupe sont plus minéralisées (forte corrélation positive r = 0,99 entre conductivité et TDS et la salinité) oxygénées et chaudes. Des conductivités élevées dans les eaux des altérites pourraient être liées aux phénomènes de pollution chimique et microbiologique [25]. La forte présence des

indicateurs de pollution chimiques tels les nitrates, les nitrites et l'ammonium et celle d'indicateurs de pollution microbiologique tels *E.coli,* coliformes totaux et fécaux dans les eaux de puits de ce groupe témoins d'une pollution récente et d'origine humaine [26] justifierait cette hypothèse. Les fortes corrélations de ces indicateurs de pollution azotée avec la conductivité (NH_4^+ r = 0,76; NO_3^- r = 0,7; NO_2^- r = 0,68) et la salinité (NH_4^+ r = 0,75; NO_3^- r = 0, 71; NO_2^- r = 0,66) illustrées par les coefficients de Pearson renforceraient donc cette hypothèse. Les valeurs élevées de potentiel redox révèlent un milieu oxydant normal favorisant la réalisation des réactions d'oxydation.

Le troisième groupe est caractérisé par les fortes valeurs de pH et d'oxygène dissous. Il enregistre les puits P9, P10, P11, P14, P15, P16 et P17. Ces eaux sont peu acides et bien oxygénées. L'oxygénation de ces eaux de puits peut être due à la faible profondeur et température de ces eaux. En effet, une masse d'eau à basse température peut contenir plus d'oxygène dissous car les molécules d'oxygène bougent moins. Plus l'eau est peu profonde, plus la concentration d'oxygène dissous est élevée. La fortement corrélation négativement du pH aux *Salmonella* (r = - 0,7) et absorbance UV_{254} (r = - 0,7) et sa faible corrélation à la turbidité (r = - 0,5), au fer (r = - 0, 6) et aux streptocoques fécaux (r = - 0,6) indique que ces paramètres corrélés au pH enregistrent de faibles valeurs dans les eaux de ces puits. Ces eaux présentent une bonne qualité chimique.

5 CONCLUSION

L'analyse physico-chimique et bactériologique des eaux de forages et de puits de Grand-Bassam a révélé que l'ensemble des eaux de forage présente une mauvaise qualité chimique contrairement à celles des puits dont la majorité est de qualité satisfaisante. En revanche, la qualité microbiologique des eaux de forage comme celles des puits est majoritairement mauvaise. La pollution bactériologique est d'origine fécale et proviendrait des eaux usées des fosses septiques.

REFERENCES

[1] OMS Directives de qualité pour l'eau de boisson ": 4 e éd. Intégrant le premier additif [Guidelines for drinking-water quality: 4th ed. incorporating first addendum]. Genève: Licence : CC BY-NC-SA 3.0 IGO, 539p, 2017.

[2] OMS, UNICEF Progrès en matière d'alimentation en eau et d'assainissement" : rapport 2017. ISBN 978-92-4-251289-2 Classification NLM: WA 670, 116 p, 2017.

[3] M.R. Kouassi, R. Koné, Y.E. Kouakou, B. Silué, G. Cissé, N. Soro, Approvisionnement en eau potable, qualité de la ressource et risque sanitaire associés à Korhogo (Nord -Côte d'Ivoire) ", Environnement Risque et Santé, vol.14 pp 230-241, 2015. doi : 10.1684/ers.2015.0781.

[4] A. N. B. Kouadio, K. J. T. Koffi, K. O. Kra , D. L. Goné, Risque de diarrhée infectieuse associé à la consommation des eaux de puits traditionnels d'Agboville (Côte d'Ivoire)"Journal of Applied Science and Environmental Studies,vol.2, no 4, pp186-199, 2019.

[5] A. N. B. KOUADIO, K. M. YEO, A. KOUADIO, D. L. GONÉ, Spatial and temporal variations of nitrates in traditional urban shallow well water of Sub-Saharan Africa: the case study of Agboville, Ivory Coast", Journal of Materials and Environmental Sciences, Vol.11, no 3, pp476-485, 2020.

[6] S. Shrestha, F. Kazama. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: a case study of the Fuji river bassin". Japan. Environ. Model. Softw. 22 (2007) 464–475.

[7] S.M. Yidana. Groundwater classification using multivariate statistical methods: southern Ghana. " J. Afr. Earth Sci. 57 (2010) 455- 469

[8] M. K. Miyittah , S. K. Tulashie, F. W. Tsyawo , J .K. Sarfo , A. A. Darko. Assessment of surface water quality status of the Aby Lagoon System in the Western Region of Ghana. " Heliyon 6 -2020) e04466.1-9 https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04466

[9] G H. Cavalcante, F Vieira , M. Abouleish , S .Atabay , E .Campos , R . Bento. Environmental aspects of semi-closed lagoons in the Sharjah coastline during spring/neap tides, southern Arabian/Persian Gulf coast." Regional Studies in Marine Science 46 (101896) (2021) 1-9. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101896

[10] M.Valentini, G. B. Dos Santos, B.M. Vieira. Multiple linear regression analysis (MLR) applied for modeling a new WQI equation for monitoring the water quality of Mirim Lagoon, in the state of Rio Grande do Sul-Brazil". SN Applied Sciences 3 (2021)70 https://doi.org/10.1007/s42452-020-04005-1

[11] S. Guillaume, K. ODOUKPE, K Hilaire, K.B .YAO, P. K. KOUADIO, M. E. KONAN. Dynamique du peuplement des Oiseaux d'une riziculture et ses environs dans la zone humide d'importance internationale de Grand-Bassam ". Journal of Applied Biosciences vol.79, PP6909 – 6925, 2014

[12] L. M.C Akadje, A.Kangah, B. G .BOUSSOUGOU, A .C .Hauhouot, Y. Brou. Modelisations prospectives de l'occupation du sol d'une zone a forte pression anthropique : cas du site ramsar de Grand-Bassam, (SUD-EST de la COTE D'IVOIRE) ". Cahiers du Centre Béninois de la Recherche Scientifique et de l'Innovation, vol.11, pp11-33, 2017

[13] S.K. Pradhan, D. Patnaik, S.P. Rout. Water quality index for the ground water in and around a phosphatic fertilizer plant". Indian J. Environ. Protect. 21 (2001) 355–358.

[14] CCME. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME water quality index 1.0. Technical Report. In: Canadian Environmental Quality Guidelines, 1999. Canadian Council of Ministers of the Environment". Winnipeg. Winnipeg. (2001).

[15] MSHP-MEF.`Arrêté interministériel du ministère de la santé et d'hygiène publique et le ministère des eaux et foret de Côte d'Ivoire sous le n°168 du 03 aout 2020 fixant les normes de potabilité de l'eau destinée à la consommation humaine et les eaux brutes de surface en Côte d'Ivoire", 17 p. (2020)

[16] L. Lebart, A. Morineau, M. Pirlo.`L'Analyse en Composantes Principales : Statistiques exploratoires multidimensionnelles", Dunod, Bordas, Paris, 32-33 (1995).

[17] L. Eriksson, E. Johansson, N. Kettaneh-Wold, S. Wold.` Multi- and Megavariate Data Analysis. Part I – basic principles and applications". Umetrics AB, Umea, Sweden. (2001) 1-527.

[18] L. O. Blé, G. E. Ake, T. Soro, Y. E Kouadio.` Evaluation de la qualité hydrochimique des eaux souterraines de la région de Bonoua (Sud-Est de la Cote d'Ivoire) ". International Journal of Innovation and Applied Studies. Volume 14 (4) : 896-907 (2016).

[19] J. Rodier. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Dunod, 9 ème édition, Paris, pp 1579 (2009)

[20] G. A Douagui.` Risques de pollution de la nappe du Quaternaire de la zone sud du District d'Abidjan : cas du secteur Canal de Vridi Grand-Bassam (Côte d'Ivoire). Thèse unique de doctorat Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire ", 202 p (2012).

[21] A.N.B. Kouadio.`Evaluation du risque sanitaire lié à la consommation des eaux de puits traditionnels par les ménages à faibles revenus en milieu urbain : cas de la ville d'Agboville (Cote d'Ivoire) ". Thèse unique de doctorat, Université NANGUI ABROGOUA, Abidjan, (Côte d'Ivoire), 184p (2019).

[22] D. L. Goné., Y. A N'go, I. Savané, M. M. Goblé.`Potentialités en eaux souterraines des aquiferes fissurés de la région d'agboville (Sud-Ouest de la côte d'Ivoire) : Caractérisation hydroclimatique et physique". Afrique Science, 1 (1) : 127-144. (2005)

[23] J. Jia-qian, G. Nigel, A. Cécile, H. k. Geoff, B.Nigel.`Laboraty study of electo-cougulatio-floculation for water treatment". Water Research n° 36, pp4064-4078 (2002)

[24] T. M. Nola, T. Njiné, N. Kemka, T. Zébazé, S.H. Servais.`Transfert des bactéries fécales vers une nappe phréatique à travers une colonne de sol en région équatoriale : influence de la charge en eau appliquée en surface". Rev.Scis. Eau.19 (2) : 101-112. (2006)

[25] J.Asslouj, S. Kholtei, N. Amrani. A Hilali.`Impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux souterraines de la communauté Mzamza (Chaouia, Maroc) ". J.Wat. Sci. 20 (3) : 309-321. (2000)

[26] F. Karim, M. Rafi.`Drinking water in the hilly region of Bangladesh. How is the quality? " Wat res devel, pp439-452 (2002).

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1312-1348
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Les déterminants de l'utilisation de la comptabilité par les petites et moyennes entreprises dans la sécurité alimentaire du secteur informel : Cas des alimentations, boutiques et magasins au Sud-Kivu

[The determinants of the use of accounting by small and medium-sized enterprises in food security in the informal sector: Case of food stores, shops and stores in South Kivu]

ZAGABE MULUMEODERHWA OLIVIER

Chercheur au Centre de Recherche Agro-Alimentaire Lubumbashi (CRAA), Extension de Lwiro, RD Congo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The main objective of this study is to measure empirically the level of use of accounting and accounting documents in the informal sector (food stores, shops and stores). To record economic phenomena within an administration and their results, identify management principles, establish forecasts and monitor them, you need an instrument. Among the instruments linked to its organization, accounting, beyond its real mission, currently appears as the regulatory instrument of the company. Climatic contrasts have a notable influence on the soils and, as we will see, on the vegetation of the city. 'Uvira. Accounting, considered as a basic cell and key institution of the economy of a country, The use of accounting documents explains positively and significantly the use of accounting to the extent that accounting is kept on the basis of the information contained in various accounting documents used to record current operations within the company.

KEYWORDS: food, determinants, accounting, shops, small and medium enterprises.

RESUME: L'objectif principal de cette étude est de mesurer de manière empirique le niveau de l'utilisation de la comptabilité et documents comptables dans le secteur informel (alimentations, boutiques et magasins).Pour enregistrer les phénomènes économiques au sein d'une administration et leurs résultats, dégager les principes de gestion, établir de prévisions et contrôlés, il faut un instrument. Parmi les instruments liés à son organisation, la comptabilité au-delà de sa mission réelle, apparaît actuellement comme l'instrument régulateur de l'entreprise .Les contrastes climatiques influent notablement sur les sols et, nous le verrons sur la végétation de la cité d'Uvira.La comptabilité, considérée comme cellule de base et institution clé de l'économie d'un pays, L'utilisation des documents comptables explique positivement et significativement l'utilisation de la comptabilité dans la mesure où la comptabilité est tenue sur base de l'information contenue dans différents documents comptable utilisés pour enregistrer les opérations courantes au sein de l'entreprise .

MOTS-CLEFS: alimentation, déterminants, comptabilité, boutiques, petites et moyennes entreprises.

1 INTRODUCTION

1.1 PROBLEMATIQUE

Dans l'ancien temps, la comptabilité était considérée comme une fonction statique se contentant d'enregistrer les opérations de recettes et de dépenses d'une société ou d'une entreprise.

Pour le moment, la comptabilité ne s'affirme plus simplement comme un moyen de communication et de preuve vis-à-vis des tiers, mais comme l'instrument de synthèse le plus efficace pour présenter les résultats avec possibilités d'application des techniques modernes de traitement des données ou de l'information.

Pour enregistrer les phénomènes économiques au sein d'une administration et leurs résultats, dégager les principes de gestion, établir de prévisions et contrôlés, il faut un instrument.

Parmi les instruments liés à son organisation, la comptabilité au-delà de sa mission réelle, apparaît actuellement comme l'instrument régulateur de l'entreprise. Par le fait qu'elle constitue une banque des données caractéristiques de sa situation et son évolution, son organisation devient comme le reflet de l'entreprise.

La comptabilité, considérée comme cellule de base et institution clé de l'économie d'un pays, L. FHEY et R.RANDALL (1997) notent que c'est en même temps qu'il convient de souligner que par sa consolidation intérieure, l'entreprise est concernée par la comptabilité qui lui sert à la fois de système nerveux pour assurer sa permanence interne et des moyens d'expression pour communiquer avec l'extérieur et réaliser les échanges nécessaires à continuité.

C. HORNGREN et al (2006) soutiennent que« le système comptable est de plus important parmi les systèmes d'information quantitative dans presque toutes les organisations ».

La comptabilité transforme les organisations et exerce une influence sur notre milieu social économique et physique. Les décisions des entreprises ou organisations relatives au développement de nouveaux engagements, à la politique de gestion et de prix, au recrutement du personnel et niveau des salaires, ... sont tributaires de l'information comptable.

La comptabilité remplie trois fonctions distinctes et complémentaires : elle est un instrument de preuve, une technique de bonne administration et un support de la communication sociale permettant certains acteurs économiques de rendre compte à d'autres acteurs économiques (KALENGYA, 2000).

Ces trois fonctions délimitent les caractéristiques essentielles de la comptabilité en tant qu'instrument de preuve et de bonne administration. Elle doit être réalisée avec une rigueur sans faille mettant en œuvre des principes simples mais non simplistes. La fonction sociale de reddition des comptes est comme toutes les disciplines de la communication beaucoup plus fine. Elle nécessite une évaluation des réalisations ou de l'environnement.

Ainsi, les managers doivent décider constamment ce qu'il faut faire et la nécessite de rendre compte aux agents économiques des fonds leur confiés, doivent communiquer les résultats à l'administration, au fisc mais aussi à tous les autres ayant à prendre des décisions à leur égard : banques, clients, employés...mais la persistance de la crise dans la période poste coloniale, engendra la multiplication des comportements de l'auto prise en charges en République Démocratique du Congo. Cette auto prise en charges se traduit par la prolifération des activités dues à l'économie informelle qui comprend l'ensemble des activités économiques qui échappent au contrôle de l'Etat.

La plupart de ces activités sont illicites et d'autres sont des activités normales mais qui se sont soustraites au contrôle du fisc et qui obtiennent la tenue d'une comptabilité dans leur gestion (G. TSHIBAMBE, 2008). Suite à cette situation, nous assistons à l'émergence et progrès du secteur informel principalement ceux de petit commerce qui est devenu une source principale de revenu de plusieurs ménages.

Suite à la confrontation de plusieurs ménages au chômage, ces derniers se sont retrouvés dans une situation critique qui les oblige à chercher d'autres moyens pour assurer leur survie. D'où la création des Alimentations, des Boutiques, kiosques, et autres…(petits commerces), alors que les petits commerçants font partie de la catégorie des personnes dont une bonne partie manifeste des réticences à l'usage des techniques comptables à tel point qu'elle font certaines opérations sans les enregistrer sur le plan comptable. Pourtant, la comptabilité ne cesse d'atteindre son entreprise.

La saisie directe des opérations à la source fait de chacun un agent de la comptabilité tandis que la rapidité de l'évolution économique fait que l'on demande davantage des informations comptables produites plus rapidement. Nous devenons tous utilisateurs ou consommateurs de la comptabilité et augmentons notre exigence en son encontre.

En considérant la comptabilité comme un instrument d'informations pour la prise des décisions pour les agents économiques, public ou privé, à but lucratif ou non , la mauvaise ou la non tenue de cette dernière, la mauvaise conservation des traces des opérations réalisées pour en justifier le bien fondé, l'irrégularité dans l'application des normes et principes comptables, l'inexistence de la comptabilité au sein des agents économiques indiqueraient un signe de disfonctionnement de l'entreprise ou de l'entité.

Toutes ces considérations démontrent que l'utilisation de la comptabilité ou des documents comptables dans les institutions commerciales du secteur informel (petit commerce) dépendent de nombreux facteurs internes et externes.

C'est dans ce cadre que nous avons jugé utile de mener une étude sur les déterminants de l'utilisation de la comptabilité par PME du secteur informel, une notion importante rarement traitée dans la littérature scientifique comme le soutiennent aussi le Directeur des études et des recherches à l'AFD, Mr Alain HENRI et le Conférencier Mr M.RAZAFINDRAKOTO lors de la conférence ID4D «quelle politique pour le secteur informel?»(4 avril 2013). Il s'agit dans notre étude, non pas d'évaluer

l'utilisation de la comptabilité dans le secteur informel, mais plutôt de comprendre les facteurs qui déterminent cette utilisation.

C'est pourquoi il convient de répondre à des questions qui concernent le rôle et la tenue de la comptabilité dans une entreprise ou dans des alimentations et boutiques de la cité d'Uvira conformément aux particularités propres du syscohada.

Ainsi, notre étude qui a pour but de mesurer de manière empirique l'utilisation de la comptabilité et documents comptables dans le secteur informel sera construite sur des questions suivantes :

- Les alimentations, magasins et boutiques de la cité d'Uvira utilisent-elles la comptabilité?
- Quels sont les déterminants de l'utilisation de la comptabilité dans le secteur informel?

Pour apporter une réponse cohérente et scientifique à ces questions, nous allons formuler les hypothèses qui sont des réponses provisoires aux questions que l'on s'est posé. Cela fera l'objet de la deuxième section de cette introduction.

1.2 HYPOTHESES

En réponse aux questions posées dans la problématique nous osons émettre certaines hypothèses dont la véracité sera établie ou non tout au long de ce travail.

Dès la conception de ce sujet de recherche, nous avions à l'esprit l'idée selon laquelle:

- Nous supposons que la plupart des alimentations, boutiques et magasins de la cité d'Uvira ne feraient pas recours à la comptabilité dans le vraie sens des mots;
- Les principaux facteurs d'utilisation de la comptabilité seraient le montant du chiffre d'affaires, la localisation de l'acteur, son niveau d'études, le numéro de registre de commerce, l'ancienneté, le lieu d'approvisionnement, la diversité des produits vendus.

1.3 OBJECTIFS

L'objectif principal de cette étude est de mesurer de manière empirique le niveau de l'utilisation de la comptabilité et documents comptables dans le secteur informel (alimentations, boutiques et magasins). Il s'agit en d'autres termes de déterminer les facteurs permettant d'expliquer empiriquement l'utilisation de la comptabilité et documents comptables dans le secteur informel au Sud-Kivu, précisément à Uvira, savoir le type de comptabilité qui est tenue dans le secteur informel, savoir les documents comptables qui sont beaucoup plus utilisés dans ce secteur.

Mais plus spécifiquement, nos objectifs seront de (d'):

- Identifier les différents types de comptabilité beaucoup plus tenu par les entreprises du secteur informel;
- Renseigner sur les principaux freins à l'utilisation de la comptabilité dans le secteur informel;
- Identifier les documents comptables qui sont les plus utilisés par les PME du secteur informel.

1.4 CHOIX ET INTERET DU SUJET

Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes intéressés principalement a la tenue de a comptabilité et au secteur informel de la Cité d'Uvira. Car il est connu de tout le monde que la dite Cité ne regorge aucune industrie de transformation, plutôt elle regorge plusieurs activités économiques susceptible de tenir la comptabilité.

Dans cette optique de création des utilités et des richesses, nous retrouvons une diversité de petites et moyennes entreprises faisant parti du secteur informel. Notre intérêt porte particulièrement aux propriétaires des boutiques, alimentations et magasins dont l'impact est considérable dans la Cité d'Uvira. C'est dans ce cadre que nous avons jugé utile de mener une étude sur l'utilisation de la comptabilité et documents comptables dans le secteur informel, comprendre, les facteurs qui déterminent tenu de la comptabilité par les PME du secteur informel. Ce travail permettra au législateur et aux décideurs politique de prendre conscience des insuffisances dont fait montre la législation en vigueur à la fois vétuste, obsolète, etc. (comment expliquer par exemple que la majorité de citoyens exercent illégalement, à ciel ouvert et en toute impunité leurs activités au détriment du trésor public ?)

1.5 SUBDIVISION DU TRAVAIL

A part l'introduction et la conclusion, notre travail comprend trois chapitres :

- Le premier sera consacré à la revue de la littérature.

Ainsi, il sera subdivisé en deux sections. La première traitera de la revue théorique sur la Comptabilité, sur l'entreprise et sur le Secteur informel, alors que la deuxième abordera leur phase empirique;

- Dans le deuxième chapitre, il sera question de faire la présentation de notre milieu d'étude et de parler de manière approfondie de la méthodologie de notre travail;
- Le troisième chapitre sera axé sur l'analyse des données et l'interprétation des résultats de notre recherche ou étude.

1.6 DIFFICULTES RENCONTREES

- Difficile ouverture des propriétaires ou tenanciers des boutiques et alimentations aux questionnaires d'enquêtes. Une stratégie comportementale d'humilité couplée de la patience et de la détermination a permis de pénétrer les réalités intéressant notre sujet.
- Les distances parcourues à travers la Cité d'Uvira, de Kalundu à Kavimvira, et l'exercice de porte à porte qu'a exigé la récolte des données dans le cadre des enquêtes menées ont mobilisé tant d'efforts physique et pécuniaire non sans peines.

2 REVUE DE LITTERATURE THEORIQUE

Ce chapitre comporte deux principales sections à savoir la revue théorique et la revue empirique.

2.1 REVUE DE LITTERATURE THEORIQUE

Afin de déterminer les niveaux de l'utilisation de la comptabilité et des documents comptables dans le secteur informel, il est important d'analyser le concept de la comptabilité et du secteur informel. Pour ce faire, cette section présente les différentes définitions retenues par nous pour appréhender la comptabilité et le secteur informel, son importance, son efficacité mais aussi sa qualité et enfin un bref exposé de métriques standard, spécifiques et empiriques utilisés pour mesurer son efficacité.

2.1.1 GENERALITES SUR LA COMPTABILITE

2.1.1.1 DÉFINITION DE LA COMPTABILITÉ

La définition de la comptabilité a longtemps opposé les auteurs. Pour certains, la comptabilité est une science des comptes qui a pour but l'organisation des écritures par le choix judicieux des livres et des comptes nécessaires afin de suivre facilement les opérations de l'entreprise et d'en présenter les résultats.

Pour d'autres, la comptabilité est une technique quantitative de collecte, de traitement et d'interprétation de l'information. Pour recueillir ces informations, la comptabilité doit effectuer trois catégories des travaux: (1) saisir les opérations que l'entreprise réalise ; (2) enregistrer ces opérations; (3) traiter les données enregistrées de façon à obtenir les informations dont la gestion des entreprises a besoin.

Par ailleurs, en tant que technique, la comptabilité fournit un certain nombre de renseignements chiffrés d'ordre juridique et économique exprimés dans les états appelés comptes. Pour ce faire, elle enregistre dans des comptes ou autres documents comptables tous les mouvements de valeur résultant des activités de l'entreprise (BAHATI NTUMWA, 2014-2015).

Selon KINZONZI(1978), la comptabilité est l'ensemble des écritures relatives aux mouvements d'argent ou de marchandises d'une association, d'une entreprise, d'une administration, d'une collectivité ou d'un ménage. La comptabilité est un système d'organisation de l'information financière qui permet:

- De saisir, classer, enregistrer des données de base chiffrées;
- De fournir après traitement approprié, un ensemble d'informations conformes aux besoins de divers utilisateurs intéressés.

Selon T. MUBENGA(1997), la comptabilité est une science des comptes qui a pour objet l'organisation des écritures par le choix judicieux des livres et des comptes nécessaires afin d'en suivre facilement les opérations et d'en présenter les résultats.

D'après BAMPOKY (2005), la comptabilité générale est une méthode d'observation, d'analyse et de description en termes de valeurs de l'ensemble des faits économiques ou opérations qui caractérisent la vie de l'entreprise.

Quant à ECHAUDEMAISON (2003), la comptabilité, qui est un système d'évaluation régi par des normes conventionnelles et codifiées, est à la fois un outil et un enjeu. C'est un outil, parce qu'en donnant une image de la situation patrimoniale et des résultats de l'entreprise ; elle est un instrument de gestion et de calcul économique à la disposition de ses dirigeants. C'est un enjeu, parce qu'elle fournit des informations à des agents qui cherchent à exercer un contrôle : le fisc, l'inspection du travail, les banques, les créanciers, les actionnaires, les salariés, etc.

De ces différentes définitions, nous pouvons retenir que la comptabilité est une technique qui consiste à constater et à enregistrer les activités d'une entité économique dans le but de présenter à une date déterminée, l'état du patrimoine et du résultat de cette entité.

2.1.1.2 HISTORIQUE DE LA COMPTABILITÉ

DE L'ANTIQUITÉ AU 15ÈME SIÈCLE

La période de l'antiquité forme les années de naissance de la comptabilité que l'on connaît aujourd'hui. Dans cette période de l'histoire, les gens comptaient sur leur droit ou utilisaient des roches pour faire de la comptabilité. Cette dernière nous est venue de l'ancienne Egypte (vers 2800 av. J.C.), de Babylone (vers 2000 av. J.C.) et de la Grèce (vers 2000 av. J.C.). Un peu plus tard, à Babylone, il y a eu une grande évolution où la comptabilité se tenait sur des papyrus ou des tablettes d'argile.

La comptabilité simple par laquelle la caisse ou les achats et les ventes sont devenus une variable science a évolué avec le temps.

On peut facilement dire par ailleurs que la comptabilité est l'un des métiers les plus vieux du monde, puisqu'elle remonte à avant l'établissement de l'écriture.

L'invention de la comptabilité provient de la nécessité de retracer des échanges entre marchands.

On note aussi la présence des premiers comptables individuels, qui s'appelaient intendants. Les intendants, souvent des esclaves érudits, s'occupaient de la comptabilité de la maison et des affaires de leurs maîtres. On considère que ce sont les premiers ancêtres des comptables en entreprise.

L'antiquité est aussi la période où le premier écrit de comptabilité a été publié, par Luca Pacioli, où il décrivait en détail la méthode de tenue de compte à Vénice dans son temps.

DU 15ÈME SIÈCLE AU 19ÈME SIÈCLE

Cette période forme l'apparition de la comptabilité en partie double et de la séparation en deux colonnes des données financières (ancêtre de débit/crédit). On note aussi l'apparition de la création de nouveaux comptes comme celui de résultat et de bilan de personnes.

Jusqu'en 1950, le système pratiqué par les entreprises était une comptabilité à l'italienne comme on l'appelle communément, qui consistait à l'utilisation de plusieurs journaux selon leur nature (donc selon les noms de compte que l'on connaît aujourd'hui (clients, achats, etc)). Ces journaux étaient mis à jour pendant la journée par des aides-comptables et étaient remis au grand comptable en fin de journée, Celui-ci s'occupait ensuite d'entretenir les cinq grands livres du temps (comptes généraux, fournisseurs, clients, banques, frais généraux).

DU 20ÈME SIÈCLE À AUJOURD'HUI

Le 20ème siècle forme l'adaptation de la comptabilité aux changements, aux besoins et aux exigences de l'économie moderne. La comptabilité s'adaptera aussi aux entreprises. Toutes ces adaptations se feront à travers l'élargissement du cadre et de son champ d'application. On note l'apparition de la comptabilité analytique et de la comptabilité budgétaire et d'un grand changement au niveau des principes comptables

À un niveau global, cette période forme aussi l'apparition du journal d'enregistrement chronologique des opérations, du grand livre ainsi que des registres qui contiennent les dettes et créances individuelles.

L'évolution et la révolution industrielle ont fait sentir la nécessité d'une notification des comptes à la suite des opérations d'achats et des ventes, de transport, de stockage, de transformation, des salaires et des rémunérations du personnel, des avantages sociaux, des obligations fiscales, des financements de l'entreprise et des investissements.

2.1.1.3 TYPES DE COMPTABILITÉ

La comptabilité consiste à employer des comparaisons ; elle est en fait l'œil ou la boussole d'une entreprise.

Elle peut revêtir plusieurs formes qu'il sied d'énumérer comme suit :

- La comptabilité générale;
- La comptabilité budgétaire;
- La comptabilité analytique d'exploitation.

A. LA COMPTABILITÉ GÉNÉRALE

C'est un instrument de gestion dans une entreprise qui a pour mission essentielle, l'enregistrement du jour au jour des opérations économiques de l'entreprise et son environnement.

La comptabilité générale fournit la situation de l'enregistrement à des tiers tout en organisant les charges et les produits suivant leur nature. Elle est tenue de façon périodique pour donner la situation du patrimoine et de créance afin de déterminer le résultat global de l'activité, et cette comptabilité dite générale est fondamentalement dans une entreprise.

B. LA COMPTABILITÉ BUDGÉTAIRE

La gestion d'une entreprise moderne se réalise autour d'un tableau de bord appelé « Budget ».Le contrôle budgétaire constitue donc un système de gestion comptable, d'une surveillance très stricte, du fonctionnement de l'entreprise sur base des prévisions en matière des recettes et des dépenses sur une longue période.

La comptabilité budgétaire a pour tâche principale « organisation de façon chiffrée des prévisions faites au niveau de chaque direction, service sur base des objectifs fixés, d'où l'élaboration des budgets »

C. LA COMPTABILITÉ ANALYTIQUE D'EXPLOITATION

Elle est une comptabilité de détail, elle contrôle et évalue avec précision les coûts de production, les charges qui doivent être ventilées selon leur destination.

Cette comptabilité poursuit trois buts majeurs :

- Déterminer la valeur des produits consommés ou fabriqués et, ici, elle revêt un aspect comptable;
- Etablir ce prix de revient unitaire des produits vendus enfin de déterminer le prix de vente possible et les marges commerciales, et à ce point, elle prend un aspect statistique permettant de suivre les conditions de rentabilité et de la production d'une entreprise;
- Explorer l'incidence des divers facteurs du coût de production enfin d'améliorer les méthodes de production et minimiser le prix de revient, à ce titre, elle revêt un aspect analytique.

Nous disons que la comptabilité analytique d'exploitation qui est d'optique interne, peut être comprise comme une fonction spéciale de la comptabilité générale.

2.1.1.4 RÔLE ET IMPORTANCE DE LA COMPTABILITÉ

2.1.1.4.1 RÔLES DE LA COMPTABILITÉ

La comptabilité joue trois rôles nécessaires pour l'entreprise :

- Rôle financier ;
- Rôle fiscal ;
- Rôle juridique.

A. RÔLE FINANCIER

La comptabilité joue un rôle financier primordial dans la vie de l'entreprise dans la mesure où elle permet au gestionnaire:

- D'être renseigné sur les conditions passées et actuelles ;
- De mieux appréhender le futur en vue d'améliorer son résultat.

B. RÔLE FISCAL

La comptabilité joue un rôle important dans la détermination de l'assiette fiscale. Elle aide le gestionnaire et l'Etat d'avoir connaissance de montant réel qui revient à l'Etat à titre de contribution sur professionnel.

C. RÔLE JURIDIQUE

Elle est un moyen de communication et de preuve, et un moyen de justification pour le gestionnaire en cas de conflit lui opposant à un tiers et lui permet de justifier sa gestion auprès de législation.

2.1.1.4.2 IMPORTANCE DE LA COMPTABILITÉ

La comptabilité a une importance capitale dans une entreprise, elle permet :

- Au gestionnaire de prendre décision, c'est un outil de direction ;
- Au responsable de l'entreprise et aux particuliers, d'obtenir des informations nécessaires sur l'entreprise, c'est un système d'information.

2.1.1.5 LES DIFFÉRENTS DOCUMENTS COMPTABLES RELATIFS À L'ACHAT ET À LA VENTE ET AU PAIEMENT

On appelle documents commerciaux tous les écritsétablità l'occasion d'une transaction commerciale. Certains documents sont des pièces comptables et d'autre sont employés pour des besoins administratifs et sont destinés à établir la preuve de telle ou telle opération commerciale (connaissement et police d'assurance)

La loi exige la conservation de tous les documents pendant une durée minimum de 10 ans par ce que la disparition de certaines pièces pourrait mettre en doute la sincérité des livre de commerce en tant que mode de preuve des engagements commerciaux entre commerçants. Cependant pour des matières déterminées dont le délai de prescription est supérieur à 10 ans, la durée de conservation des documents s'y rapportant doit être la même que celle de la prescription.

2.1.1.5.1 LES DOCUMENTS RELATIFS À L'ACHAT ET À LA VENTE

A. LE BON DE COMMANDE

C'est un écrit par lequel l'acheteur donne au vendeur l'ordre de lui fournir des marchandises à des conditions préalablement arrêtées. Il n'existe pas une formule standard employée par tous les acheteurs. Chacun emploie une formule adaptées aux besoins de son commerce. L'acheteur qui établit, gardera une copie pour la comparer avec la facture que le vendeur établira et le bon de livraison.

B. BON DE LIVRAISON, DE RÉCEPTION ET BORDEREAU D'EXPÉDITION

- Le bon de livraison : est un titre qui accompagne la marchandise au moment où elle est livrée. Il renseigne la quantité et la nature des marchandises vendues. L'acheteur garde ce bon pour vérifier si la marchandise est conforme à celle commandée et si la facture se rapporte à la marchandise livrée.
- Le bon de réception : est un document séparé du bon de livraison (parfois par de pointillés). Il énumère les marchandises que l'acheteur reçoit du livreur. L'acheteur le signe et le remet au livreur qui le retournera au vendeur pour attester que la marchandise a été réellement livrée.
- Le bordereau d'expédition : remplace parfois les deux documents précités. L'acheteur garde une copie après signature et retourne la copie du vendeur.

Pour ces trois documents, il n'y a pas de formule standard imposée par la loi. Le bon de commande et le bon de livraison, de réception ainsi que le bordereau d'expédition ne sont considères que comme des preuves de l'opération commerciale et non comme des pièces comptables.

C. LA FACTURE

Est un écrit dressé par le vendeur pour donner à l'acheteur les détails de la marchandise livrée, les conditions de vente ainsi que les détails du prix net à payer par l'acheteur. On distingue plusieurs sorte facture (la facture ordinaire, facture provisoire,

facture pro forma et la facture consulaire) et il n'Ya pas de formule standard mais elle doit contenir des indications suivantes deux parties :

- L'entête: qui donne des renseignements sur le vendeur, le nom et l'adresse de l'acheteur, le mot doit suivant le nom et l'adresse de l'acheteur ; le numéro de la facture, les références du bon de commande, la date de la vente et le lieu d'établissement de la facture.
- Le corps: qui spécifie les marchandises, le décompte complet des quantités et des déductions y relatives, le prix et les bonifications accordées, le montant net à payer, une communication à l'acheteur qui a souvent trait au règlement des litiges(A.LUKUISHI M, 2014-2015).

Bref, la facture est un document qui atteste de l'achat ou de la vente de biens ou services et constitue une pièce comptable de premier ordre.

Les documents couramment utilise sont:

- Le journal général enregistre les écritures dans l'ordre chronologique. Chacune d'elle recense les sommes débitées et créditées, les numéros de chaque compte impliqué, la date et un court libellé explicatif et l'identification de la pièce comptable qui documente l'écriture;
- Le plan comptable recense la liste des comptes (mais le plan comptable français désigne aussi en france un ensemble de règles d'évaluation et de tenue des comptes qui constituent le cadre légal de la comptabilité générale);
- Le grand livre reporte les écritures du journal en les regroupant compte par compte : il permet de justifier leurs soldes;
- La balance générale des comptes, qui présente la liste des comptes centralisateurs avec la situation de chacun : montants débits et montants crédits; soldes, débiteurs ou créditeurs. Elle ne fournit pas les détails des comptes des comptabilités auxiliaires, tiers etc. Qui font l'objet de balances annexes.

La liste des écritures est portée sur un bordereau de saisie appelé aussi Journal des écritures (ce journal liste spécifiquement par type d'écritures contrairement au simple bordereau). À noter cependant que la plupart des comptabilités sont maintenant tenues grâce à des logiciels qui ont dématérialisé le Journal (il n'est plus systématiquement tenu sous format papier).

- Les documents annuels ou de synthèse

Lors de la clôture annuelle de l'exercice comptable la comptabilité produit les documents suivants :

- Le bilan, qui décrit séparément les éléments d'actif et de passif à la date de clôture;
- Le compte de résultat, qui récapitule les charges et les produits de l'exercice ; le solde entre les charges et les produits représente le bénéfice ou la perte;
- L'annexe qui commente et complète l'information comptable;
- Pour les entreprises de plus de 500 salariés uniquement, un reporting plus ou moins élaborer en fonction des besoins de l'entreprise qui synthétise les données de la comptabilité analytique.

2.1.1.5.2 LES DOCUMENTS RELATIFS AU PAIEMENT

Ici ca concerne les documents servent de preuve de paiement :

L'ACQUIT

C'est une formule écrite sur le document qui établit la dette et par laquelle le créancier certifie le paiement a été effectué par le débiteur. La formule complète de l'acquit doit présenter les points suivant:

- « pour acquit »
- «Lieu et date »
- «Signature du créanciers ou son mandat»

Parfois, le créancier signe seulement son nom au bas de la formule « pour acquit » déjà imprimée sur le document.

LA QUITTANCE

Est une attestation écrite émanant du créancier et remise au débiteur, par laquelle le créancier reconnait avoir reçu le paiement effectué par le débiteur en acquit d'une dette ou à valoir sur celle-ci. Si le débiteur paie partiellement sa dette, on

dit qu'il verse un acompte à valoir sur cette dette. Le créancier lui délivre une « quittance à valoir » et s'il paie le solde on établira une «quittance pour solde»

LE REÇU

Ecrit par lequel une personne débiteur reconnait avoir reçu d'une personne, le créancier une valeur quelconque. Il constate donc la naissance d'une dette, ou d'une obligation par opposition à la quittance qui constate l'extinction d'une dette ou d'une obligation.

2.1.1.6 ETAT DES LIEUX DE L'UTILISATION DE LA COMPTABILITÉ ET DES DOCUMENTS COMPTABLE DANS LE SECTEUR INFORMEL

Avant même de se présenter comme une obligation légale, la comptabilité a toujours été une nécessité pour le commerçant afin de connaître l'état de ses finances et pour conserver la mémoire de ses opérations. La loi l'a par la suite imposée car elle est une source irremplaçable d'informations pour reconstituer l'histoire des activités du commerçant au cas où il viendrait à faire l'objet d'une procédure collective d'apurement du passif. Ainsi, l'art 13 l'AU.DCG oblige tout commerçant, personne physique ou morale à tenir un journal dans lequel sont enregistrées au jour le jour, ses opérations commerciales et un grand livre comportant une balance récapitulative ainsi qu'un livre d'inventaire. Ces livres comptables doivent être tenus conformément aux dispositions de l'AU.OHCE. l'Art 14 AU.DCG poursuit en précisant que le journal et le livre d'inventaire.

Les règles qui gouvernent la tenue d'une comptabilité sont précisées d'une part par: l'Acte Uniforme portant Organisation et Harmonisation des Entreprises, entré en vigueur dans les Etats parties au Traité de l'OHADA depuis le 1er janvier 2001 pour les comptes "personnels des entreprises ", et à compter du 1er janvier 2002 pour leurs" comptes consolidés et combinés" ; On les nomme globalement " Système Comptable OHADA. Et d'autre part par le Chapitre III du livre I de l'Acte uniforme relatif au Droit Commercial Général.

En effet, aux termes de l'Art 15 de L'AU.DCG: « Les livres de commerce visés à l'article 13 ci-dessus et régulièrement tenus peuvent être admis par le Juge pour constituer une preuve entre commerçants ». Doivent mentionner le numéro d'immatriculation au Registre du Commerce et du Crédit Mobilier de la personne physique ou morale concernée et doivent être côtés et paraphés par le Président de la juridiction compétente, ou par le Juge délégué à cet effet. Ils doivent également être tenus sans blanc, ni altération d'aucune sorte. Alors, si le législateur a les moyens plus ou moins avérés pour veiller au respect de cette exigence liée à la comptabilité dans le secteur formel, dispose-t-il des mêmes moyens pour assujettir les opérateurs du secteur informel à cette contrainte comptable? La réponse n'est pas aisée lorsqu'on fait une fois de plus référence à l'Art 14 susmentionné pour se rendre compte que le commerçant informel, se définissant par principe à travers l'absence d'immatriculation, ne peut véritablement faire l'objet d'un suivi administratif à travers le rôle du président de la juridiction compétente ou du juge délégué qui, par leur côtes et paraphes, assurent le suivi de la comptabilité dans leurs circonscriptions de compétence. Dès lors, cette contrainte liée à la tenue d'une comptabilité régulière est d'une applicabilité difficile dans le secteur informel, et cela peut d'ailleurs trouver une justification dans le fait que l'informalité juridique qui englobe les opérateurs d'un tel secteur, affecte inécutablement leur comptabilité qui, rarement respectera les règles de l'art en la matière. On peut ainsi s'interroger sur les documents comptables tels que exigés par l'art 13 de l'AU.DCG et 19 al 1er de l'AU.OHCE et leur respect dans le secteur informel. Pour l'essentiel, le constat de la tenue de la comptabilité dans le secteur informel est loin de la situation de droit exigée, les opérateurs de ce monde tiennent leur comptabilité comme bon leur semble du moment où il y trouve satisfaction. Ils ne tiennent cette comptabilité pour autres personnes qu'eux-mêmes et sont dans la majorité des cas, les seuls à comprendre les écrits qui sont portés sur ce qui tient lieu de livre ou document comptable. Les principes de régularité, sincérité, transparence et tout autre gouvernant la tenue d'une comptabilité n'y sont que des vains mots, sans incidence majeure sur leurs comportements. Ceci se justifie parfois par la petite taille de ces commerces informels, ou par la nature même de certaines de leurs activités, qui présentent pour ces derniers une difficulté de tenue régulière de la comptabilité, ou encore par la négligence, l'ignorance et parfois la volonté de troubler le fisc en matière de vérification et d'imposition. Quoiqu'il en soit, la tenue d'une comptabilité et des documents comptables demeure une obligation du commerçant, qui s'impose à tout opérateur économique. L'on est très vite tenté de se questionner sur la valeur juridique d'une telle comptabilité dans le secteur informel.

2.1.2 ENTREPRISE EN GENERAL

2.1.2.1 DÉFINITION

L'entreprise est un organisme autonome produisant des biens et services pour un marché en vue de réaliser un profit.

L'entreprise est en économie une unité économique autonome qui combine et rémunère des facteurs de production pour produire et vendre des biens et services sur les marchés afin de réaliser des profits.

L'entreprise peut aussi être définit comme une entité économique autonome qui regroupe un ou plusieurs établissements ayant pour Object la production et la commercialisation des biens et services produits pour la mise en œuvre et l'utilisation maximale des ressources des facteurs de production.

2.1.2.2 RÔLES DE L'ENTREPRISE

L'entreprise peut avoir plusieurs rôles dont notamment :

RÔLE TECHNIQUE

Produire dans les meilleures conditions et délais sur base d'une bonne organisation afin de sauvegarder sa clientèle.

RÔLE ÉCONOMIQUE

Adapter la consommation aux besoins du marché, mettre les consommateurs de ses biens et services au centre de toute activité de production. Ainsi, les biens et services produits par l'entreprise doivent répondre aux besoins des consommateurs.

RÔLE SOCIAL

La répartition équitable du revenu pour assurer le bien-être de son personnel, et la création des emplois en son sein. Elle organise des activités récréatives en faveur de son personnel.

2.1.2.3 OBJECTIFS DE L'ENTREPRISE

Les objectifs poursuivis par l'entreprise se résument sur trois axes essentiels à savoir :

- Du point de vue financier : l'entreprise cherche la rentabilité
- Du point de vue économique : l'entreprise rend service à la collectivité, à la nation, par la création des nouveaux emplois
- Du point de vue social : l'entreprise rend service aux adhérents et aux employés.

Le rôle primordial de toute entreprise est de satisfaire aux besoins des consommateurs du groupe humain auquel est destiné sa production, c'est d'ailleurs ce groupe humain qui constitue le débouché pour l'entreprise et son objectif primaire est de produire des biens et des services destinés à la vente.

2.1.2.4 FONCTIONNEMENT DE L'ENTREPRISE

Le fonctionnement et l'organisation des entreprises, peut varier considérablement d'une entreprise à l'autre. Les facteurs qui expliquent cette diversité sont nombreux et leur combinaison justifient les innombrables variantes possible dans les dites organisations.

FACTEURS EXTERNES

- Activité et métier
- Clientèles
- Technologies
- Situation concurrentielle
- Taille et maturité

FACTEURS INTERNES

- Histoire
- Valeur et culture
- Stratégie
- Avantage concurrentiel
- Chaine de valeur

- Processus opérationnels
- Politiques
- Structures
- Moyens et méthodes.

2.1.2.5 ETUDE DES DIFFERENTES FONCTIONS DE L'ENTREPRISE SELON FAYOL

Au début du 20emè siècle Henry Fayol, qui fut l'un des premiers à réfléchir systématiquement sur l'organisation des entreprises a cherché à définir les fonctions essentielles d'entreprise, il en distingue six :

2.1.2.5.1 LA FONCTION ADMINISTRATION

C'est la fonction chargée de coordonner l'ensemble des activités et pour ce faire d'établir le programme d'actions, c'est -à-dire de demander, de déterminer les objectifs à atteindre et les moyens d'y parvenir et d'en contrôler l'exécution.

En bref, elle est chargée de :

- Prévenir
- Organiser
- Commander
- Coordonner
- Contrôler, donc (P. O. C. C. C.)

2.1.2.5.2 FONCTION FINANCIÈRE

Elle est chargée d'arrêter les besoins en capitaux en long, moyen, et court terme, et de chercher les moyens de le satisfaire.

Bref, chargée de rechercher et utiliser des façons optimales les capitaux.

2.1.2.5.3 FONCTION COMPTABLE

Elle est qualifiée comme « organe de vision » de l'entreprise par FAYOL et qui est chargé d'enregistrer, classé, synthétisé les informations nécessaires à sa bonne marche.

2.1.2.5.4 FONCTION TECHNIQUE

Chargée de la production des biens et des services, et en même temps de sa prévision, de sa programmation et de son contrôle.

Bref, produire, transformer, et fabriquer.

2.1.2.5.5 FONCTION COMMERCIALE

Chargée d'écouler les produits et de mettre en œuvre dans ce but l'organisation et les techniques nécessaires.

Bref, achat, vente, et échange.

2.1.2.5.6 FONCTION SÉCURITÉ

Chargée de veillez à la sauvegarde des hommes et des biens (hygiène, surveillance, prévention des accidents).

Bref, la protection des personnes et des biens.

2.1.3 SECTEUR INFORMEL

2.1.3.1 HISTORIQUE DE L'INFORMEL

Le terme « Secteur Informel » tire son origine de la Conférence internationale du travail tenue en 1969. Cette conférence lançait le programme mondial de l'emploi auquel elle fixait, en particulier pour objectif, l'étude des causes du chômage dans les pays en développement.

Ainsi des missions furent envoyées dans différents pays.

La première mission organisée en Afrique concerne le Kenya. Le rapport réalisé sous la direction de H. Singer, publié en 1972 (BM-ILO, 1972), a révélé que dans les pays en développement, le principal problème n'est pas celui du chômage, mais celui de l'existence d'une vaste « population active indigente », c'est - à - dire d'une catégorie des « personnes qui travaillent et qui peuvent même travailler très dur, mais dont l'emploi n'est pas productif, dans les sens où il ne leur permet pas de gagner un revenu qui atteigne un minimum décent ».

Les auteurs sont ainsi conduits à mettre en lumière la présence d'un secteur de petites activités non agricoles productrices de biens et services, qui, dans la version originale anglaise est appelé Informal Sector et, dans la version française secteur non structuré.

Cette dernière expression est celle que le B.I.T retiendra dans ses publications officielles en langue française mais, même dans cette langue, la dénomination secteur informel est devenue la plus usuelle.

Le tableau synoptique, ci - dessous reprend les différentes désignations du secteur informel, les auteurs qui les ont employées et les années de leur utilisation. Cette liste n'est pas exhaustive et les désignations adoptées ne correspondent pas systématiquement à la première utilisation des concepts par leurs initiateurs (J. MNSEKA NKONO1993).

2.1.3.2 DÉFINITION DE L'INFORMEL

Le secteur informel est formellement définit comme l'ensemble des activités économiques légales qui échappent à toute législation en vigueur. Il regroupe les petites activités et entreprises rémunératrices, souvent individuelles ou familiales, et se caractérise par l'inobéissance au cadre fiscal et juridique étatique, l'absence d'une comptabilité légalement tenue, les salaires non déclarés etc.

Le secteur informel, tel que défini, couvre tous les secteurs économiques, primaires, secondaires et tertiaires. Il comprend les marchands ambulants, les marchands sur étalages, les artisans tels que les réparateurs d'outils ménagers, les menuisiers, les maçons, les mécaniciens, forgerons, soudeurs, tisserands, cultivateurs, tontines, nettoyeurs, employés de maison, etc.

Concernant les définitions classiques, nous retiendrons, suivant Charme, dans son article, « Débat sur le secteur informel», que les économistes, monétaristes et keynésiens, considèrent que le secteur informel est constitué « des sables dans lesquels se perdent les effets multiplicateurs du capitalisme ». Pour eux, il y a anormalité et illégalité dans ce secteur (Dr MALIKWISHA 1987).

Selon le B.I.T., sept critères ont été retenus pour caractériser le travail dans le secteur informel:

- La facilité d'accès aux activités ;
- L'utilisation des ressources locales ;
- La propriété familiale des entreprises ;
- L'échelle restreinte des opérations ;
- L'utilisation des techniques simples et le nombre réduit de travailleurs ;
- Des qualifications qui s'acquièrent en dehors du système scolaire officiel ;
- Des marchés à tout règlement et ouvert à la concurrence (dr malikwisha 2000).

Selon S. V. Sethuraman, les conditions d'appartenance au secteur informel sont :

- L'emploi de 10 personnes au plus par entreprise ;
- La non application des règles légales et administratives ;
- L'emploi d'aides familiales ;
- L'absence d'horaire ou de jours fixes de travail ;
- L'absence de crédits institutionnels ;
- Une formation scolaire des travailleurs inférieure à six ans ;
- Dans certains cas, l'absence d'énergie mécanique et électrique ;
- Le caractère ambulant ou semi - permanent de l'activité (mobilité sociale).

La grande critique de ces définitions, c'est la réglementation du marché de travail et la méconnaissance des interactions qui caractérisent un système économique.

Il y a aussi la définition fonctionnelle, d'obédience marxiste, qui appelle ce secteur, la : « petite production marchande ». D'après cette école, le rôle de ce secteur est le maintien et le développement du capitalisme.

Ainsi, le secteur informel prend l'aspect de la reproduction, à moindres frais, de la main - d'œuvre ou de la force de travail. Ce secteur est alors considéré comme le réservoir de main-d'œuvre qui lui est nécessaire. Ce qui offre la possibilité d'agir sur le taux de salaire du secteur formel, dans le sens de la baisse (Dr MALIKWISHA 2000).

2.1.3.3 LES ACTIVITÉS DU SECTEUR INFORMEL

De manière générale, les activités du secteur informel sont groupées en trois catégories en l'occurrence le secteur primaire, le secteur secondaire et le secteur tertiaire.

A. LE SECTEUR PRIMAIRE

Ce secteur comprend les activités proches de la nature. Il est constitué des activités économiques productrices des matières premières, notamment l'agriculture, la pêche, l'élevage et les mines.

Les activités citées ci haut, sont dites activités économiques de survie, dans la mesure où elles permettent au groupement familial de se maintenir en vie.

B. LE SECTEUR SECONDAIRE

Le secteur secondaire comprend l'ensemble des activités économiques correspondant à la transformation des matières premières en produits finis ou en bien de consommation. Il s'agit ici d'un secteur qui a notamment pour mission à partir de la transformation chimique ou mécanique d'un produit ancien ou de la combinaison des produits anciens de créer un ou des nouveaux produits.

Nous pouvons citer d'une part, les industries de transformation des matières en bien de production caractérisé par la présence de petits ateliers artisanaux, boulangerie, imprimerie, etc.

D'autre part, considérant les micros industries de transformation des matières premières en bien de consommation, il est constamment fait allusion aux activités relatives à la fabrication des savons, des huiles, farines, peintures, etc.

C. LE SECTEUR TERTIAIRE

Ce secteur est constitué par les activités produisant des services tels que le commerce, le transport, les assurances, l'hôtellerie, le secteur de la santé et les autres services sous toutes leurs formes. Le secteur des services est resté le seul à avoir connu une nette progression.

Le dynamisme des activités du secteur s'explique par une dualité encore plus accentuée de l'économie Congolaise, les chômeurs ne trouvant que le secteur informel comme unique voie de sortie face à la spirale d'accentuation de la pauvreté.

Parlant du commerce, il est constitué des petites activités généralement situées en dehors des frontières de l'activité économique orthodoxe dans la mesure où bien que constitué par desactivités ordinaires et licites ; leur exercice bien que sous le soleil brûlant est considéré illégale du fait de leur non enregistrement.

La distinction entre le secteur informel et formel se justifie alors de moins en moins puisque les salariés du premier ne peuvent pas maintenir leurs niveaux de vie qu'en entreprenant des activités dans le second ; c'est le phénomène de la pluriactivité des salariés, qui n'est d'ailleurs pas l'apanage des pays en développement (PIED,2002-2003)

Mais en analysant les types d'activités réalisées dans le cadre du secteur informel, on peut percevoir comment s'exprime ici la division des rôles : les femmes réalisent les activités intensives en main-d'œuvre, moins rémunérées ou qui sont assimilées aux activités reproductives.

- Dans les secteurs des services, les femmes sont généralement des vendeuses, de petites commerçantes, des femmes de chambre, des coiffeuses, des blanchisseuses, des domestiques etc.
- Dans le secteur agricole, la participation des femmes est très importante. Elles peuvent même y devenir majoritaires comme dans certains pays africains, où elles combinent les activités d'autres secteurs comme la vente et la transformation artisanale avec les travaux agricoles. Dans d'autres pays les femmes réalisent surtout les travaux saisonniers extrêmement instables. Les contrats y sont de durée limitée.
- La migration vers les villes, provoquée par le manque d'emploi, place les femmes dans une situation plus difficile encore, car quand les hommes s'en vont, elles doivent combiner leurs multiples tâches reproductives avec la culture des terres et réalisation d'activités informelles complémentaires. De même lorsque ce sont elles qui

partent, ce sont les activités « informelles » qui leur permettent de faire face aux besoins de leurs familles et ce, dans l'ambiance généralement hostile des grandes villes.

- Les hommes travaillent essentiellement dans les transports qui peuvent être mieux rémunéré, dans le secteur de production manufacturière, dans les travaux à domicile, (fabricants des vêtements, des produits alimentaires, etc....) ou en sous-traitance dans les petites entreprises ou les ateliers.

2.1.3.4 SECTEUR INFORMEL AU SUD-KIVU

Au Sud Kivu, les activités du secteur informel identifiées sont constituées des:

- activités artisanales ;
- activités non artisanales ;
- autres activités.

2.1.3.4.1 LES ACTIVITÉS ARTISANALES

Selon la grande Encyclopédie, l'artisan est celui qui travaille pour son compte personnel, exécute seul ou avec l'aide de quelques compagnons, un travail manuel et qui se charge généralement lui-même d'en commercialiser les produits (GELOU, 1971)

A l'instar d'autres villes de notre pays où l'industrie est presque inexistante, Bukavu est actuellement ouverte à l'artisanat. Celui-ci y est diversifié tant du point de vue ateliers, catégories sociales, qu'objets fabriqués.

L'artisan ne peut vendre que le produit de son travail, et se livrer à un commerce proprement dit, en adoptant les procédés habituels du commerce. Il doit prouver son talent. Ainsi, en fabricant ses produits, il tient compte de la minimisation des dépenses.

Dans cet optique, l'artisanat se subdivise notamment en :

- Artisanat de production des biens ;
- Artisanat de production des services.

A) LES MÉTIERS ARTISANAUX DE PRODUCTION DES BIENS

Les métiers artisanaux de production des biens permettent la transformation des inputs en outputs prêts à la consommation.

Nous citerons dans cette catégorie :

La menuiserie, la mécanique, la couture, l'apiculture, ferronnerie, la sculpture, la pat isserie, la tôlerie, la vannerie, la fonderie, la bijouterie, la pêcherie, etc.

B) LES MÉTIERS ARTISANAUX DE PRODUCTION DES SERVICES

Le petit Larousse définit le service comme étant le produit de l'activité de l'homme destiné à la satisfaction d'un besoin humain, mais qui ne se présente pas sous l'aspect d'un bien matériel (PLOU, 1987)

Cette composante de l'artisanat s'occupe de la satisfaction de besoins des particuliers et des entreprises par l'entremise des services rendus.

Dans cette catégorie nous citons : la réparation de chaussures, réparation des montres, réparation des appareils électroménagers, motos, vélos etc.

2.1.3.4.2 LES ACTIVITÉS NON ARTISANALES

Sont des activités faisant parti du secteur informel mais différent de l'artisanat en ce sens que le produit de base utilisé ou commercialisé ne subit aucune transformation.

Nous pouvons citer dans cette catégorie : le petit commerce, le petit transport, la petite agriculture, les activités des ONG & ASBL, les bars, les cambistes, le commerce de produits manufacturés et d'autres biens tels que les véhicules, les pièces détachées, les vendeurs du carburant(Kadhafi),les produits pharmaceutiques, etc..

Il convient de préciser que le secteur informel existe dans toutes les économies modernes du monde entier, et chaque gouvernement s'emploie à l'organiser, à le promouvoir en vue de le fiscaliser.

En RD Congo en générale, et au Sud-Kivu en particulier, le petit commerce est fort répandu. La proportion élevée de la main d'œuvre dans cette activité est due au fait que le gain est facile à obtenir.

2.1.3.4.3 LES AUTRES ACTIVITÉS

A l'instar de l'artisanat, du petit commerce, du petit transport, il existe également des activités illicites telles que la contrebande, la fraude, la prostitution, la vente de drogues, relevant de ce que nous pouvons appeler le capitalisme sauvage.

Comme nous l'avions souligné précédemment au début de notre travail; ces genres d'activités sont prohibées par la loi en RD Congo et ne feront pas l'objet de notre étude.

2.1.3.5 POIDS ET RÔLE DU SECTEUR INFORMEL AU SEIN DE L'ÉCONOMIE

Le secteur informel joue un rôle de plus en plus important au sein de l'économie et contribue substantiellement à l'emploi, au produit intérieur brut, à la distribution des revenus et même à la formation de l'apprentissage. Il emploie probablement aujourd'hui le tiers de la population.

En RD Congo, l'importance du secteur informel, surtout sous la forme du petit commerce n'est plus à démontrer. En effet, du politicien à l'homme de la rue, de l'intellectuel à l'analphabète, de l'Etat à l'individu, du citadin au paysan,

Tout le monde est soit opérateur, soit bénéficiaire des biens et services fournis par ce secteur. L'informel agit ainsi à la fois comme soupape de sécurité et amortisseur des chocs sociaux (INVI, 1997).

Il est donc clair que pour le moment, le secteur informel est devenu une source de régulation pour les opportunités d'emplois tant pour les nouveaux chercheurs d'emploi que pour les travailleurs recyclés ou reconvertis.

L'on comprend donc que le secteur informel repose sur un compromis social, un consensus muet autour de la tolérance du non-respect de la loi (PIED, 2002-2003).

Le secteur informel est d'une grande importance dans la vie socioéconomique de la RDC en général et de la province du Sud Kivu en particulier ; dans la mesure où il joue plusieurs rôles au sein de la population notamment :

A) LE RÔLE D'INTÉGRATION SOCIALE

En effet, c'est un lieu de refuge pour beaucoup d'employés en chômage et/ou à la recherche d'autres revenus, des nombreux jeunes diplômés qui se sont retrouvés sans emplois.

A ce jour, point n'est besoin de démontrer la contribution offerte par le secteur informel dans la création des emplois d'une part, et d'autre part son rôle de l'amélioration du pouvoir d'achat des consommateurs.

La crise sociale et économique qui sévit en RDC contraint les employés à suivre dans plusieurs activités. Les chômeurs n'ont aucune autre alternative que d'opérer dans l'informel. Une autre catégorie à ajouter aux chômeurs, est celle d'individus qui bien que disposant d'un emploi, est obligée d'exercer une activité informelle palliative à leur modique traitement.

B) LE RÔLE DE PRODUCTION DES BIENS ET SERVICES LOCAUX À MOINDRES COÛTS

Le secteur informel en RDC est prédominé par le petit commerce de détail qui devient de plus en plus un concurrent très sérieux pour le secteur formel parce qu'il est plus adapté à la fonction de consommation de la plus grande majorité des ménages, vu le niveau généralement bas des revenus (SIMICO, 1992).

Le facteur prix est donc un aspect important du petit commerce de l'informel parce qu'il est beaucoup plus l'expression des relations humaines entre l'offre et la demande, que l'expression du travail nécessaire à la production, le prix dans ce petit commerce est cependant à double tranchant. Il est en même temps accessible qu'inflationniste.

C) LE RÔLE D'OFFRE D'EMPLOIS, DES REVENUS ET DES PRODUITS ACCESSIBLES À TOUS MÊME AUX PLUS DÉFAVORISÉS.

D) ENFIN, C'EST UN TERRAIN DE FORMATION SUR LE TAS POUR UNE LARGE PARTIE DES JEUNES DÉSCOLARISÉS ET ANALPHABÈTES.

2.2 REVUE DE LA LITTERATURE EMPIRIQUE

Nous présentons dans ce paragraphe quelques travaux ayant abordé le secteur informel. Nous n'avons trouvé aucun travail qui a rapport avec le nôtre, raison pour laquelle cette partie est réduite. Certains travaux n'ont même pas été écrits par les économistes

A. Thierry Noel KANCHOP(2009) dans son travail intitule: *Le secteur informel à l'épreuve du droit des affaires OHADA,* explique que le droit comptable étant un outil important pour toute activité commerciale sérieuse et ordonnée, il n'est pas surprenant de constater que l'article 2 du traité OHADA ait retenu cette matière dans son vaste chantier d'harmonisation. En effet, bien que l'obligation de tenir une comptabilité s'apparente comme une contrainte dans la mesure où elle permet aux tiers en général d'être informés sur le commerçant, et à l'Etat en particulier de mieux. Parce qu'en ce qui concerne la fiscalisation ou l'imposition de l'économie informelle, les pouvoirs publics trouvent toujours les moyens pour prélever les taxes de telle manière que les difficultés ne subsistent que pour la soumission aux obligations comptables et d'éthique commerciale. L'assujettir à différents impôts et taxes, elle peut être aussi regardée comme un moyen permettant au commerçant de mieux gérer son affaire par une évaluation et un suivi normal de ses activités. Les obligations comptables du commerçant sont l'œuvre des dispositions combinées de l'AU.DCG et de l'AU.OHCE. Pour l'essentiel, le commerçant est tenu de disposer d'une comptabilité régulière qui peut servir de moyens de preuve en justice. Dès lors, on est porté à s'interroger sur la tenue d'une compatibilité régulière et des documents comptables dans le secteur informel ; mais surtout sur la valeur juridique de cette comptabilité dans le secteur informel. En ce qui concerne la valeur juridique, il est admis que la comptabilité sert à conserver la mémoire des opérations passées par le commerçant. Elle constitue donc l'essentiel des moyens de preuve dont la force probante est fonction de la régularité de sa tenue. En effet, aux termes de l'article 15 de l'AU.DCG, « Les livres de commerce visés à l'article 13 ci-dessus et régulièrement tenus peuvent être admis par le Juge pour constituer une preuve entre commerçants. » Quand à leur production en justice, en plus de cet article 15, il faut se référer aux articles 16 de l'AU.DCG et 68 de l'AU.OHCE. Pour le résumé de ces articles, il faut noter que la loi n'accorde aucune valeur probante aux livres de commerce irrégulièrement tenus. Alors, les documents comptables dans le secteur informel, bien qu'exigés, ne présentent aucune force probante en raison de leur irrégularité naturelle, mais surtout de l'impossibilité pour un tel commerçant de se prévaloir de la qualité de commerçant même si sa comptabilité est bien tenue. Il a dit qu'ils ont compris très bien que les opérateurs dudit secteur ne puissent invoquer leur propre comptabilité qui pourrait même d'ailleurs être retournée contre eux ; car la preuve des actes juridiques en matière commerciale pouvant se faire par tous moyens et notamment par des présomptions de fait, des mentions peuvent être relevées de ces livres irréguliers pour être opposées aux commerçants informels afin que se manifeste l'application discriminatoire énoncée à l'article 39 AU.DCG.

L'auteur a adopté une méthode descriptive et documentaire pour parvenir à démontrer l'utilisation de la comptabilité OHADA dans le secteur informel.

B. LOMAMI SHOMBA(2003) dans son travail intitulé : « La Promotion de l'économie informelle en Droit Congolais : Quelle option lever entre sa réforme et sa formalisation ? » émet aussi deux hypothèses :

- L'incapacité pour l'Etat à faire observer la réglementation en vigueur est le corollaire d'une juridicité outrancière et contre nature de la loi.
- La réforme du cadre juridico institutionnel est certes louable mais malheureusement ce cadre méconnaît les activités informelles qu'il confond au capitalisme et les obligent à s'y conformer.

L'auteur a aussi utilisé une méthode qualitative consistant à faire un état de lieu du fait étudié et à donner ses points de vue.

De ses analyses, il s'est dégagé deux résultats. Le premier découle du fait que l'économie informelle bien qu'exercée en marge de l'arsenal législatif et réglementaire constitue une soupape de sûreté par la création d'emplois qu'elle favorise, malheureusement ces emplois sont précaires, ils ne contribuent qu'à pérenniser la misère qui hante déjà les populations.

Le deuxième résulte du fait que bien que reconnaissant certains mérites de cette thèse, la fonctionnalisation de l'Economie informelle parait être la démarche la plus indiquée pour promouvoir les PME. Pour ce faire, il faut l'intégration ou l'adaptation du cadre juridico institutionnel au vécu quotidien et non de rechercher à conformer ce phénomène au cadre existant

C. MUKANYA MALEMBA(1996) John dans son travail intitulé : « La fiscalité du secteur informel » est parti des hypothèses suivantes :

- La fiscalisation du secteur informel passe par une connaissance suffisante des acteurs qui l'animent ainsi que leurs activités.
- Les micros entreprises du secteur informel seraient imposables à condition de bien évaluer les critères économiques relatifs à la fiabilité et à la rentabilité de l'activité.

Il a fait recours aux méthodes de l'approche systémique, l'analyse comparative, la méthode analytique et statistique pour recueillir les donnéeschiffrée en tableau statistique et analyser la situation socio-économique des artisans à travers les critères tels que l'espace occupé, la stabilité de l'emploie pour le personnel, l'ampleur de l'équipement mis en valeur.

Dans son développement, l'auteur s'est rendu compte en pratique de la difficulté de concilier les deux notions à savoir le secteur et la fiscalisation, car la première prend source de la vision libéral de l'activité économique tandis que la seconde, elle se manifeste du besoin de l'état d'assurer le financement de ses activités. En fin, l'auteur est arrivé à dégager un schéma modèle de fiscalisation applicable au Zaïre (R D Congo) qui prend en compte à la fois des besoins opposés de l'Etat et celui du contribuable du secteur informel.

D. Christian MUSENGA TSHIMANKINDA(2008), dans son travail intitulé : «La fiscalisation de l'économie informelle comme facteur du développement économique de la République Démocratique du Congo; état des lieux et perspectives ». Est parti des hypothèses suivantes :

Nous constatons que les majeures parties des activités du secteur informel relèvent de l'ordonnance -loi n° 90-046 du 08 aout 1990 qui a abrogé l'ordonnance loi n° 79-021 du 02 février 1979 portant réglementation du petit commerce et de la loi n° 06/004 du 27 février 2006 organisant un régime fiscal spécial applicable aux petites et moyennes entreprises. Alors comment expliquer la persistance et le développement des activités dans le secteur informel, pendant que les mesures sont mises sur pied pour lutter contre l`informatisation de l'économie congolaise, sont-elles inefficaces et inadaptées aux réalités locales ? L'Etat congolais a-t-il failli à la doctrine de colbertisme?

Dans l'élaboration de ce travail de recherche, l'auteur a fait appel aux méthodes juridique et sociologique qui leur parait être la meilleure dans le cadre d'un travail de recherche en droit, cette méthode lui a permis d'exposer et d'analyser différents textes juridiques suivant la nature de l'activité se trouvant dans l'informel d'une part et de voir dans quelle mesure cette réglementation contribue à une lutte contre l'économie informelle d'autre part. Alors que par la seconde, contribue à faire une brève description des réalités qui font croitre de plus en plus l'économie informelle dans la société. Et en fin, La technique documentaire et d'interview libre.

En fin, l'auteur conclue en disant que l'arsenal juridique congolais n'est pas dépourvu de textes susceptibles de s'appliquer, même du point de vue fiscal, aux activités relevant du secteur informel qui concerne tous les petits métiers et services composés principalement des coiffeurs, cordonniers, quados, laveurs de véhicules, marchands ambulants, boutiquiers,..... On peut citer à ce sujet les textes juridiques relatifs au petit commerce et au régime d'imposition des Petites et Moyennes Entreprises. Mais le problème semble plus se poser au niveau de l'efficacité des structures chargées de la mise en œuvre de ce cadre juridique.

Disons que tous les travaux mentionnés supra ont été écrits par des juristes et politologues. Tous ont adopté une méthode qualitative d'argumentation.

La spécificité de notre travail est qu'il intègre une méthodologie nouvelle, à savoir la régression logistique, pour aborder les facteurs d'utilisation de la comptabilité dans le secteur informel.

3 MILIEU D'ETUDE ET METHODOLOGIE

Dans ce chapitre, il sera question de faire une brève représentation de la cité d'Uvira qui est notre milieu d'étude pour en fin présenter la méthodologie que nous aurons à utiliser pourcollecter, analyser et interpréter les résultats de nos recherches. Il comprend de ce fait deux sections dont la présentation de la cité d'Uvira et la méthodologie de recherche.

3.1 BREVE PRESENTATION DU MILIEU D'ETUDE

3.1.1 LOCALISATION

La cité d'Uvira (ville) est le Chef-lieu de territoire portant le même nom, située à 13°15' de latitude Nord et 29° 8' 45'' de longitude Est et à plus ou moins 750 m d'altitude, la température moyenne ne dépasse pas, à Uvira, 24°2 C, et l'amplitude saisonnière est négligeable. Le minimum absolu est de 14° C, le maximum absolu de 38° C. Voilà un régime thermique (légèrement adouci par l'altitude de 750 à 780 m) qui semble équatorial, et qui s'oppose par ce fait au régime tropical de pluies. Elle a pour limites :

- Au Nord : par la cité de Kagando;
- Au Sud : par la localité de Kigongo ;
- A l'Est : par le lac Tanganyika ;
- A l'Ouest : par la chaine de montagnes Munanira.

3.1.2 HISTORIQUE

La succession des civilisations et la mise en place des populations ont été marquées par quatre civilisations. Il est essentiel de constater que chacune d'elles conserve une bonne part d'originalité, en maintenant son influence, d'une part dans un domaine technique spécifique, et d'autre part dans un espace déterminé : en gros, la civilisation européenne domine par son organisation, mais elle n'a encore pris réellement possession de l'espace que sur le 35 km carré du piedmont ; les civilisations agricole des Vira et pastorale des Rwandais se partage l'exploitation du sol, la première jusqu'à 2000 m, la seconde au-delà, il faut encore ajouter les incursions arabes dont subsistent des traces dans l'islamisation partielle des populations du piedmont.

La répartition nette des zones d'influence et la spécificité technique ne signifient pas que les différentes civilisations vivent isolées ; leurs contacts se sont multipliés dans le temps, particulièrement sous l'intervention européenne la dernière en date. Leur succession même en nous éclairant sur l'histoire du peuplement, nous fait progresser dans la compréhension des constates actuels de celui-ci, de manière plus subtile que toute autre tentative d'exploitation.

Selon le peuplement ancien, les Twa pygmoïdes auraient parcouru le sud de l'Itombwe avant l'arrivée des Vira. Ils appartenaient à une civilisation néolithique pré-bantoue. Ils ne connaissaient ni l'usage du fer, ni l'agriculture, se nourrissaient de produits de cueillette et de chasse, et vivaient dans des abris de fortune construits au hasard de leurs déplacements. Les dernier venus de ces Twa, remontant les vallées de l'Elila et de l'Ulindi, auraient traversé le plateau de l'Itombwe, et auraient parcouru l'Ubembe, dans le territoire de Fizi au sud d'Uvira ; leur migration se serait prolongée pendant un siècle à partir de 1650, sous la pression des bantou.

Par après, le Djoba (Vira vini) sont venu et s'installa près du lac Tanganyika car ils été des pécheurs et trouve pratiquement vide tout le territoire, d'où le nom de territoire d'Uvira, puis les fulero venus de l'Ulinda, refoulerent les Vira vers le sud jusqu'à la rivière de Kiliba à une dizaine de kilomètres au nord de Kewizi, frontièreseptentrionale actuelle de la chefferie. A la fin du 17^{e}siecle, le peuple Vira occupait encore le versant du lac jusqu'à Kiliba vers le nord, pénétrait dans la plaine de la Ruzizi vers l'Est, et occupait l'Ubembe profondément vers le sud ou le Bembes avaient stoppé leur expansion. Les 19^{e}siecle vit apparaitre, dans la plaine de la Ruzizi, le Barundi ; occupant d'abord les parties délaissées par les Vira et Fulero, ils refouerent ensuite ces derniers jusqu'au pied des montagnes.

Au début de notre siècle, les Vira avaient encore reculé jusqu'à Kawizi au nord, sous la pression des Fulero et jusqu'à la Kambekulu-Kashangazi au sud, sous la pression de Bembe. L'administration européenne fixa les limites nord et sud de la chefferie sur cette base mais elle eut plus de difficulté definir la limite des Fulero et de Barundi dans la plaine ; La poussée de ces dernier recul de la limite jusqu'à la Route Uvira-Bukavu, à faible distance du versant. Alor, Créé par l'Ordonnance-Loi n° 21/91 du 25 Février 1938 modifiée par celle n° 67/221 du 03 Mai 1967, le Territoire d'Uvira est l'un de huit territoires ruraux de la province du Sud-Kivu. Il comprend en son sein les chefferies des Bavira, des Bafuliru, de la Plaine de Ruzizi et trois cités dont la cité d'Uvira, la cité de Kiliba/Kagando et la cité de Sange.

3.1.3 MILEUX NATUREL

La cité d'Uvira est en grande partie située sur une plaine où est concentrée la population. L'autre partie présente des collines élevées et c'est là que la population présente un taux faible par rapport à la plaine. Son relief est dominé par une plaine variant entre 780 m et 900 m au-dessus du niveau du lac. La partie présentant des collines c'est-à-dire vers les Monts Mitumba, on cultive sur de petites étendues et aussi, elles sont moins productives et incapables de satisfaire aux besoins socio-économiques de ménages.

3.1.3.1 LES SOLS ET LA VÉGÉTATION

Les contrastes climatiques influent notablement sur les sols et, nous le verrons sur la végétation de la cité d'Uvira. En particulier, à la classique opposition du piedmont et du bas versant du lac d'une part, du haut versant et du plateau de l'itombwe d'autre part (C'est le cas notamment des sols argileux abondants dans la partie montagneuse et les sols alluvionnaires très abondants dans les bas-fonds), en gros, les un sont arides et chauds, les autres humides et frais et l'évolution des sols ne manque pas de superposer un contraste pédologique. Ces sols étant sableux, sa valeur agricole est fortement réduite. La végétation qui y est, est du type d'altitude et est essentiellement dominée par les savanes herbeuses à faibles couvertes végétales. Dans les bas-fonds, on trouve les terrains marécageux tandis que sur les montagnes, on trouve des arbustes.

3.1.3.2 CLIMAT ET HYDROGRAPHIE

La Cité d'Uvira est située dans un climat du type subtropical à basse altitude. Il donne lieu à deux saisons à savoir la saison sèche allant de Juin au début Septembre et la saison de pluies qui va de Septembre à Mai inclus. Les températures varient

suivant les saisons et relief. Elles sont minima pendant la saison sèche et sont de l'ordre de 20° à 30° dans la plaine et de 15° à 25° dans les hauts plateaux. La Cité d'Uvira est traversée par deux sortes de cours d'eau :

- Les cours d'eau réguliers : Ce sont les rivières Kavimvira, Mulongwe et Kalimabenge. Ils ont leurs sources dans les collines surplombant la cité.
- Les cours d'eau saisonniers : Ce sont des ruisseaux qui n'apparaissent qu'en période des pluies. Les plus célèbres sont : Kamongola, Kibondwe, Kakungwe, Kabindula, Kagenge et Nyarumanga. En période des pluies diluviennes, ces cours d'eau débordent et causent, par ce fait même d'énormes dégâts matériels et parfois des pertes en vies humaines.

Nous ne manquerons pas de citer le lac Tanganyika situé à l'Est de la cité, important de ses richesses et dans lequel se déversent tous ces cours d'eau. Signalons d'outre cela, il y a encore un aspect hydrographique non négligeable, à savoir l'étang de Nyangara situé au Nord de la cité et qui, lui, n'a pas réussi à se déverser complètement dans le lac Tanganyika.

3.1.4 SUBDIVISION ADMINISTRATIVE

Tableau 1. Tableau réperitorial

NUMERO	DENOMINATION	NOMBRE D'AVENUES	NOMBRE DE CELLULES
1	KALUNDU	17	206
2	KABINDULA	9	91
3	KASENGA	36	194
4	KAVIMVIRA	19	272
5	KAKOMBE	38	184
6	KIMANGA	8	44
7	KILIBULA	5	18
8	KIBONDWE	6	21
9	MULONGWE	22	209
10	NYAMIANDA	10	18
11	ROMBE 1	21	160
12	ROMBE 2	22	50
13	RUGENGE	8	65
14	SONGO	15	156

Source : Bureau de la cité d'UVIRA

De ce tableau nous soulignons que, les tracees actuelles des cellules ne sont pas réellement conformes aux criteres inhérents à leurs delimitations exactes.

Uvira est une cité et en même temps chef-lieu du territoire d'Uvira. Elle est dirigée par un chef de cité, celui-ci reçoit les rapports des quartiers donnés par les chefs des quartiers et les joint à son tour à l'administrateur du territoire. Elle compte 14 quartiers, et à la tête de chaque quartier, il y a un chef de quartier titulaire et son adjoint. Encore, elle a 182 avenues et 1269 cellules des bases chapeautées toutes par un chef d'avenue et son adjoint et un chef de cellule au niveau de la cellule avec un personnel permanent.

3.1.5 SITUATION SOCIO-CULTURELLE

3.1.5.1 EDUCATION

La scolarisation des enfants demeure un investissement social à Uvira car même les familles économiquement faibles se forcent d'envoyer leurs enfants à l'école malgré leurs conditions vitales qui sont très précaires. La cité d'Uvira regorge d'énormes infrastructures scolaires non négligeables pour la formation de la jeunesse congolaise. Ces infrastructures scolaires se situent à quatre niveaux dont : le niveau maternel, primaire, secondaire et supérieur ou universitaire. L'enseignement supérieur et universitaire n'y est pas négligeable car il y a bien des instituts supérieurs et universitaires comme l'UCB, l'ISDR, l'ISTM, l'ISC, l'UNIC, l'ISP, l'USK. Il est important de signaler que certaines de ces institutions fonctionnent à titre privé et d'autres à titre public.

3.1.5.2 LA SANTÉ

Dans la cité d'Uvira, la santé est beaucoup menacée par des diverses maladies surtout les maladies tropicales telles que le paludisme, le typhoïde et la diarrhée. Ils y existent sous forme endémique et pandémique. Cependant, actuellement, elle comprend un hôpital général de référence appartenant à l'Etat, quatre polycliniques privées et confessionnelles, 17 centres de santé appartenant à l'Eglise catholique, protestante, kimbanguiste et aux privés, 26 dispensaires et centaine de pharmacies privées. A part cet hôpital général et les centres de santé, elle héberge encore 4 centres nutritionnels thérapeutiques financés par l'UE et d'autres ONG internationales supervisées par la Caritas, la BCZS et l'ACF.

3.1.6 ASPECT DEMOGRAPHIQUE

Tableau 2. Tableau synoptique de recensement de la population congolaise et étrangère pour le premier trimestre 2015

SUBDIVISION ADMINISTRATIVE	POPULATION CONGOLAISE					POPULATION ETRANGERE					TOTAL GENERAL
QUARTIER	HOMMES	FEMMES	GARCONS	FILLES	TOTAL	HOMMES	FEMMES	GARCONS	FILLES	TOTAL	
KABINDULA	2759	3220	4188	4123	14290	3	2	7	4	16	14306
KAKOMBE	5810	5591	6040	6707	24148	10	4	9	3	26	24174
KALUNDU	4098	4979	7271	7200	23548	0	1	0	0	1	23549
KASENGA	2806	3646	6308	6479	19239	30	58	35	87	210	19449
KAVIMVIRA	3924	4845	4990	5581	19340	92	41	49	27	209	19549
KIBONDWE	668	739	1683	1785	4875	10	7	24	31	72	4949
KILIBULA	2106	2224	2351	2591	9272	8	11	14	15	48	9320
KIMANGA	2187	2380	4444	4628	13639	1	2	9	5	17	13656
MULONGWE	3254	4364	7697	7683	22998	0	0	0	0	0	22998
NYAMIANDA	1595	2082	3512	4016	11211	4	6	3	6	19	11230
ROMBE 1	4164	4339	6020	6270	20793	0	0	12	27	39	20832
ROMBE 2	1971	2657	5322	6052	16002	25	0	9	10	44	16046
RUGENGE	949	1453	2043	1728	6173	3	6	2	1	12	6185
SONGO	3355	4196	5112	6455	19118	0	0	0	0	0	19118
TOTAUX	39646	46715	66987	71298	224646	186	138	173	216	713	225359

***Source** : bureau de la cité d'UVIRA*

A l'heure qu'il est, cette cité connaît une démographie assez importante. La grande portion des habitants de la cité d'Uvira est composée des autochtones et des autres tribus de la RDC ainsi que des étrangers.

Il ressort de ce tableau que la cité d'Uvira compte 14 quartiers et que le quartier Kakombe est le quartier le plus peuplé de la cité ayant un effectif de 24 407 habitants représentant à lui seul 12,5%, suivi de quartier Kalundu avec 23 549 habitants soit 10,44% et en dernier lieu le quartier Kibondwe avec 4 949 habitants soit 2,19%. La population de cette cité est généralement composée des nationaux avec un effectif de 224646 habitants soit 99,68%. Les étrangers représentent un pourcentage de 0,31%. Dans son ensemble, la population féminine représente un effectif de 118367 habitants, soit 52,52% et celle masculine 106992 habitants soit 47,47%.

En 2009, cette population était estimée à 171.409 habitants dont 170.925 nationaux et 484 étrangers. Signalons maintenant que, cette population de la cité d'Uvira est actuellement estimée à 209.344 habitants, dont : 208.962 habitants de la population nationale, et 382 habitants de la population étrangère. (Cf. le Rapport de Bureau de la cité d'Uvira 2012)

Le mouvement migratoire y est fortement appliqué à cause de sa localisation géographique et surtout à cheval des guerres d'octobre 1996 et d'août 1998 semant l'insécurité tant politique, sociale qu'économique dans le chef de la population de la cité.

3.1.7 ASPECT ECONOMIQUE

Le développement économique est l'un des concepts ayant entrainé plusieurs divergences de vue. Ce mot est défini par les auteurs selon leurs courants, les perspectives idéologiques, les formations,…

Selon Adam SMITH, le développement économique est défini comme étant l'étude de tout ce qui concourt à la production, l'échange et la répartition des richesses.

Selon MARX. K., l'économie est indissociable de ses relations avec l'ensemble de la société. L'économie doit non seulement définir les catégories économiques, les salaires, les prix, mais aussi préciser comment les rapports sociaux interviennent dans

ce mécanisme. Le développement est alors défini comme étant le maintien des conditions de vie sur base de la population et de la répartition des biens et des services en faveur de la population

Les activités économiques de la cité d'Uvira sont nombreuses. Elles peuvent être regroupées dans le secteur primaire, le secteur secondaire, le secteur tertiaire et le secteur quaternaire.

3.1.7.1 LE SECTEUR PRIMAIRE

Ce secteur comprend l'agriculture, l'élevage et la pêche.

L'AGRICULTURE

L'agriculture est l'une des activités économiques que la population de la cité pratique. Elle pratique l'agriculture traditionnelle reposant sur les méthodes et les techniques culturales traditionnelles en milieux coutumiers. Les outils de travail restent rudimentaires : houe et la machette. Souvent, elle se pratique à Kala, Kagando, etc.Les produits de ces champs sont pour la consommation c'est-à-dire subvenir aux besoins alimentaires de la famille et non pas pour la vente. Elle est pratiquée en majorité par les Bafuliru et en minorité par les Bavira.

LA PÊCHE

Cette activité est pratiquée par les Bavira mais aussi les Babembe sur le lac Tanganyika et l'étang de Nyangara. Elle joue le rôle capital par son importance appréciable dans l'alimentation de la population.

L'ÉLEVAGE

Les peuples autochtones de la cité d'Uvira ne sont pas d'éleveurs traditionnels mais par l'influence des Banyarwanda et Banyamulenge des hauts plateaux, sont arrivés à pratiquer l'élevage de petits bétails et l'élevage de grands bétails. En ce qui concerne l'élevage de bassecour, il est pratiqué presque partout dans chaque famille de la cité, et constitue une petite unité de production.

3.1.7.2 LE SECTEUR SECONDAIRE

- Artisanat : La cité d'Uvira regorge des forgerons, des tisseurs, des cordonniers, des tailleurs, des réparateurs des appareils électroménagers,... sans différence de sexe. Disons cependant que, il nous a était difficile d'inventorier la production dans ce secteur parce que ces activités restent dans leur quasi-totalité informelle, malgré leur importance en matière d'auto pris en charge de la population.
- Industries, petites et moyennes entreprises : La cité d'Uvira n'héberge pas d'industries utilisant une main d'oeuvre d'au moins dix unités stables. Nous trouvons seulement des entreprises étatiques comme SNCC, SNEL, REGIDESO,…, les moulins à farine de manioc, maïs, sombé, les usines artisanales de transformation de noix palmiste. Ces derniers servent aussi dans la fabrication des savons. C'est sont ces établissements qui occupent les gens et leur donnent un revenu en terme de salaire.

3.1.7.3 LE SECTEUR TERTIAIRE

Ce secteur comprend les services des administrations publiques, les services marchands aux entreprises et aux particuliers, le commerce, le transport et communication, et les banques. Cette cité jouit d'une bonne situation géographique qui le permet d'exercer le commerce interne et externe avec le Burundi, la Tanzanie, la Zambie, le Rwanda, la ville de Bukavu, Kalemie et le territoire de Fizi. Le commerce ambulant, navetteur et le transitaire sont engrande partie effectuée par la population de la cité d'Uvira. Les principaux marchés publics de la cité et de ses environs dans lesquels les commerçants, les marchands et les vendeurs écoulent leurs produits sont : Maendeleo (le plus grand de la cité), Kalimabenge, marche congolais «Zaïrois», Kalundu, Kasenga, Kavimvira et Kilomoni.

Les principales voies qui facilitent le trafic ou l'échange avec le monde extérieur sont :

- La voie lacustre qui assure le transport des personnes et des biens sur le lac Tanganyika en les conduisant dans les contrées limitrophes et étrangères comme Katanga, Burundi, Tanzanie, Zambie, territoire de Fizi et se fait au moyen des bateaux et navires (boat).

- La voie terrestre relie Uvira-Bukavu, et un autre tronçon relie Uvira à Bujumbura et Uvira-Kalemie via le territoire de Fizi.

3.1.7.4 LE SECTEUR QUATERNAIRE

Le secteur quaternaire regroupe toutes les activités liées à l'information et à la communication. C'est ainsi que pour la communication cellulaire nous retrouvons dans la cité d'Uvira, des réseaux nationaux et étrangers entre autre : Vodacom, Airtel, Orange, Leo, Onamob, Smart, Africel,... Tandis que dans le secteur d'information, nous avons la radio RTNC station d'Uvira, la radiotélévision Mitumba, la radio « Tuungane », la radiotélévision Lukula et la radio Le Messager du peuple.

En dehors de ces moyens, signalons qu'à présent, suite à l'évolution technologique et à la mondialisation, la cité d'Uvira est munie des réseaux Internet qui le permettent de s'informer et communiquer avec le reste du monde, mais sans bibliothèque en dehors de celles que possèdent certains instituts supérieurs de la place, et celles dans lesquelles on trouve quelques romans littéraire, bandes dessinées, des revues « Jeunes Afriques et Enfant d'Uvira ».

En outre, dans le cadre d'auto développement, bon nombre de population de la cité s'organise en association sans but lucratif.

Les mouvements coopératifs destinés à relancer les activités commerciales des paysans restent encore de plus en plus réduit et en plus, avec une banque de l'Etat appelée BCC, deux banques commerciales telle que la TMB et la BIC. Il existe quelques coopératives d'épargne et de crédit comme celles qui sont connues sous le nom de COOPEC – KALUNDU, COOPECIMARA, COOPEC TANGANYIKA, MECRE, etc. et les agences de transfert d'argent comme WESTERN UNION, SOFICOM, etc.Son économie se trouve également alimentée par les hôtelleries dont les principales sont : hôtels Kiliza, Mangwa, de la Côté, Munanira, Mwamu, Lumamba Sud, du Lac, etc.

En définitive, son économie dépend fortement du port de Kalundu par où passent assez de marchandises provenant dans différents endroits tels que Kalemie, Zambie, Tanzanie, Burundi ; de la frontière ou la douane de Kavimvira et du marché Maendeleo où se vend plusieurs produits agro-alimentaires, et qui est l'unité de production de plusieurs mamans de la place.

Nous avons constaté que, l'économie de la cité d'Uvira n'est pas seulement extraverti, mais il y a une petite interdépendance économique, entre la dite cité et ses cités voisines, ainsi que les pays avec lesquels elle partage ses frontières.

3.2 APPROCHE METHODOLOGIQUE

Cette section porte sur les différents outils, méthodes et techniques utilisés pour vérifier nos hypothèses

3.2.1 TECHNIQUES DE COLLECTE DE DONNEES

Dans cette phase, le recours aux approches qualitatives a été prédominant vu l'objectif à atteindre, à savoir : clarifier les concepts de base, identifier les courants théoriques dominants en matière de l'utilisation de la comptabilité dans le secteur informel avec la réalité des boutiques, alimentations et magasins dans la cité d'Uvira. Cette démarche vise à déceler certaines limites et conditions favorables à l'applicabilité de textes légaux dans les conditions du secteur de commerce dans la cité d'Uvira.

Pour ce faire, les techniques suivantes ont été utilisées : la technique de documentation, la technique d'entretien et la technique de sondage.

3.2.1.1 LA TECHNIQUE DE DOCUMENTATION

C'est grâce à elle que nous avons pu consulter les ouvrages, articles, rapports et autres documents cadrant avec notre sujet de recherche.

3.2.1.2 LA TECHNIQUE D'ENTRETIEN

Elle nous a permis d'entrer en contact avec les propriétaires ainsi que les gérants et les personnels pour certaines précisions en rapport avec notre thématique. Ces entretiens ont été rendus faciles grâce à un guide d'entretien établi préalablement et ont été le plus souvent directs afin qu'ils ne débouchent pas sur la récolte des données inutiles.

3.2.1.3 LA TECHNIQUE DE SONDAGE

Elle nous a permis de sélectionner un échantillon des boutiques, alimentations et magasins de la cité d'Uvira et d'extrapoler les résultats obtenus sur celui-ci sur la totalité de ces institutions. Nous allons décrire dans ce point le processus d'échantillonnage qui est une approche caractérisée par un ensemble d'opérations servant à sélectionner un échantillon à partir d'une population donnée sur lequel s'appuieront les tests statistiques. Il s'agit en réalité d'un processus qui débute avec la description de l'univers d'étude et se termine avec l'obtention de l'échantillon. Nous allons tout d'abord, définir la population de notre étude et l'échantillon qui sera extrait de la population.

LA POPULATION VISÉE

La population est l'ensemble de tous les individus possédant des caractéristiques précises ayant une relation avec les objectifs de l'enquête. C'est donc la totalité des individus dont les caractéristiques répondent aux objectifs de l'étude envisagée et qui servent de support à la vérification de l'hypothèse de recherche. Dans le cas de notre étude, la population visée est constituée de l'ensemble des boutiques, alimentations et magasins de la cité d'Uvira.

3.2.2 SOURCES DE DONNÉES : ECHANTILLONNAGE

Etant donnés que l'Etat n'a pas le contrôle absolue sur le secteur informel, ce qui veut dire qu'il ne connait pas le nombre exacte des alimentations, boutiques et magasins de la cité d'Uvira.

On a calculé la taille d'échantillon minimal à partir de la formule suivante après avoir fait une pré-enquête.

$N= Z^2 \times P(1-P)/d^2$

N = taille d'échantillon requise
Z = niveau de confiance à 95% (valeur type de 1,96)
P =prévalence estimative de l'Utilisation de la comptabilité
d = marge d'erreur à 5% (valeur type de 0,05)

La taille de l'échantillon dépend ainsi du seuil de risque, de l'erreur d'échantillonnage et de l'écart-type de l'échantillon. Du fait que la taille de l'échantillon dépend de l'écart-type qui n'est pas connu a priori, ce qui fait qu'il y a deux piste de solution : soit, avoir des informations antérieures sur la population étudiée, soit mener une étude pilote.

Etant donné l'absence des informations antérieures sur le nombre des PME du secteur informel de la cité d'Uvira, nous avons opté pour une pré-enquête.

Notre pré-enquête a porté sur 60 PME tiré au hasard dans la cité d'Uvira ; le traitement des données relatives à ces 60 PME dégage une prévalence estimative de 90% (0.90) de répondant Oui. L'utilisation des valeurs types indiquées plus haut donne le calcul suivant :

$N= 1.96^2 \text{ x}0 .9(1-0.9)/0.05^2$

N = 3.8416 x 0.9 x 0.1/0.0025

N = 0.345744/0.0025

N = 138.29~138 qui est la taille d'échantillon minimal mais on a préfère arrondir a 160 pour plus des précisions sur les résultats.

3.2.3 CHOIX ET JUSTIFICATION DES VARIABLES

3.2.3.1 LA VARIABLE DÉPENDANTE : UTILISATION DE LA COMPTABILITÉ : BINAIRE

3.2.3.1.1 LES VARIABLES EXPLICATIVES:

Nombre des maisons d'affaires

- Niveau d'étude du propriétaire

Le niveau d'étude du propriétaire peut influencer l'utilisation de la comptabilité en ce sens qu'un chef d'entreprise ayant étudié connaît l'importance d'une comptabilité régulière dans la gestion de son entreprise. Il ne peut donc pas s'en passer.

- Immatriculation au registre de commerce

Le fait d'être immatriculé au registre de commerce peut influencer le recours à la comptabilité car à tout commerçant on exige une tenue régulière de la comptabilité. Cette variable est donc supposée théoriquement influencer le recours à la comptabilité.

- La taille mesurée par le nombre d'employés

Le nombre d'employés grandissant peut influencer le recours à la comptabilité pour permettre au gestionnaire d'une part de maîtriser la paie de son personnel, et d'autre part de faire un suivi de ses activités afin d'éviter d'éventuelles fraudes.

- Le capital de départ

Plus le montant du capital est élevé, plus une attention particulière sera accordée à la gestion et plus le propriétaire de la PME aura besoin d'une comptabilité pour bien gérer son argent.

- Chiffre d'affaire mensuel

Comme pour le cas du capital de départ, plus le chiffre d'affaires n'augmente, plus les activités de l'entreprise en général n'augmentent, ce qui exige une attention particulière à apporter à la gestion de son entreprise.

- Utilisation des documents comptables

La comptabilité commence par l'utilisation des documents comptables et la comptabilité est indissociable des documents comptables. Une entreprise qui utilise les documents comptables aura plus de facilité à recourir à la comptabilité et comprendra l'utilité d'informatiser sa gestion par une comptabilité régulière.

- Enregistrement de l'opération comptable.

Certaines PME n'ont pas de comptabilité mais enregistrent quand même dans un registre ou dans un carnet toutes leurs opérations. Le fait d'enregistrer ses opérations peut créer un désir d'utilisation de la comptabilité pour améliorer la qualité de la gestion.

- Connaissance des textes légaux

La législation commerciale est claire par rapport à l'utilisation de la comptabilité. Certains opérateurs économiques ignorant la loi et les conséquences de son non-respect peuvent négliger le recours à la comptabilité dans leurs activités. Une fois au courant des prédispositions de la loi, les dirigeants des PME craindront les peines associées au non-respect de ces prédispositions, dont l'utilisation de la comptabilité.

3.2.4 SPECIFICATION DU MODELE

Rappelons que le choix des variables utilisées dans le modèle a été motivé par différentes considérations théoriques sur les pratiques comptables. La variable dépendante : Utilisation de la comptabilité sera expliquée par plusieurs variables indépendantes dont : les nombre de maisons d'affaires (MAISAFF), niveau d'étude du propriétaire(NIVET),l'immatriculation au registre de commerce (IMMATR), la taille (mesurée par le nombre d'employés)(TAILLE) le capital de départ (CAPDEP), le chiffre d'affaire (CHAFF), utilisation des documents comptables(DOCOMPT), enregistrement des opérations comptables,(ENREGIST)et en fin, la reconnaissance des textes légaux sur la ténu de la comptabilité (TEXTLEG).

3.2.4.1 DICTIONNAIRE DES VARIABLES ET SIGNES ATTENDUE

Tableau 3. Caractéristiques des variables

Variables	Acronymes	Types de variables	Modalité de codage	Signe attendu
Nombre de maisons d'affaires	MAISAFF	Quantitative		**+**
Niveau d'étude	NIVET	Qualitative	1. Sans 2. Ecole primaire non terminée 3. Ecole primaire terminée 4. Ecole secondaire non terminée 5. Ecole secondaire terminée 6. Etudes de grade non achevées 7. Graduat 8. Licence 9 : master 10 : autre	**+**
Immatriculation au registre de commerce.	*IMMATR*	Qualitative	0 : Non 1 : Oui	**+ ou -**
TAILLE (nombre d'employés)	TAILLE	Quantitative		**+**
Capital de départ	CAPDEP	Qualitative	1. Moins de 200$ 2. 201$ à 1000$ 3. 1001$ – 2000$ 4. 2001$ – 3000$ 5. 300 1$– 5000$ 6. 5001$ -7500$ 7. 7500-10000 8. Plus de 10000$	**+**
Chiffre d'affaire mensuel	*CHAFF*	Quantitative		**+**
Utilisation de documents comptables	*DOCOMPT*	qualitative	0 : Non 1 : Oui	**+ou -**
Enregistrement de documents comptables	*ENREGIST*	Quantitative	0 : Non 1 : Oui	**+ ou -**
Texte légaux	*TEXTLEG*	qualitative	0 : Non 1 : Oui	**+ ou -**

Source : Nos confections

L'approche méthodologique comprend deux volets importants : les techniques de collecte de données et les méthodes de leur structuration, analyse et test dans le cadre du travail de rédaction. Comme susmentionné, deux temps forts caractérisent cette recherche.

3.2.5 METHODE D'ESTIMATION DES PARAMETRES DU MODELE SPECIFIE

3.2.5.1 PRÉSENTATION DU MODÈLE DE RÉGRESSION LOGISTIQUE

Les modèles les plus utilisés pour analyser les cas dans lesquels la variable dépendante est de nature catégorique sont les suivants: le modèle linéaire de probabilité (MLP), le modèle Logit (ou le modèle de régression logistique), le modèle Probit (ou le modèle derégression normale), et le modèle Tobit (ou le modèle de régression censurée). Dans le modèle Logit le terme de perturbation suit une distribution logistique et dans le modèle Probit suit une distribution normale

(Greene, 1999). Tous les modèles d'élection ou de nature binaire, excepté le modèle linéaire de probabilité, s'estiment d'habitude par la méthode du maximum de vraisemblance (Greene, 1999). Selon l'auteur, le principe de la vraisemblance maximale apporte un instrument d'élection d'un estimateur efficient d'un paramètre ou l'ensemble de paramètres. L'utilisation des modèles Logit ou probit à certains inconvénients tels que :

- Suppose la non-colinéarité des variables explicatives
- Ne s'applique qu'aux données sans valeurs manquantes
- Sensible aux individushors normes.

La régression logistique est utile lorsque vous souhaitez être capable de prévoir la présence ou l'absence d'une caractéristique ou d'un résultat en fonction de certaines valeurs ou d'un groupe de variables prédites. Elle est similaire à la régression linéaire mais elle convient aux modèles dans lesquelles les variables sont dichotomiques. Les coefficients de la régression logistique peuvent servir à estimer des odds ratios pour chacune des variables indépendantes d'un modèle. La régression logistique s'applique à une plus large gamme de situations de recherche que l'analyse discriminante (IBM-SPSS, 2012).

3.2.5.2 LA RÉGRESSION LOGISTIQUE PEUT ÊTRE UTILISÉE POUR

- Décrire la relation entre la probabilité espérée et une variable
- Déterminer les variables indépendantes importantes pour expliquer la probabilité d'une réponse
- Prédire la probabilité de la réponse à l'aide de ces variables.

La différence entre la régression linéaire et la régression logistique est que :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots\ldots\ldots + \beta_p X_p + \varepsilon \text{ où } \varepsilon \; est \; iN(0, \sigma^2)$$

- La régression linéaire multiple et le modèle linéaire général permettent d'expliquer une variable quantitative continue en fonction des variables explicatives qualitatives ou quantitatives.
- Lorsque Y est une variable catégorielle à 2 ou plusieurs niveaux, le modèle de régression classique ne peut plus s'appliquer. La condition d'homogénéité de variance des résidus n'est pas possible à obtenir avec une variable dépendante dichotomique. Le modèle de régression linéaire permettrait des valeurs estimées en dehors de l'intervalle (0,1) et ne permettrait pas de relation non-linéaire.

3.2.5.3 PRINCIPE DE LA RÉGRESSION LOGISTIQUE

- La variable à expliquer (Y) est une variable dichotomique dont les valeurs sont 0 (Echec) et 1 (Succès).
- La probabilité P(Y=1) = π,(0≤ π ≤1)
- Π peut dépendre de la valeur des variables explicatives (X1, X2……Xp) le modèle logistique propose d'expliquer π comme une fonction de (X1, X2,…Xp)
- Comme 0≤ π ≤1, on le transforme pour qu'il prenne ses valeurs dans [-∞, ∞]
- Le modèle de régression logistique (logit)

$$ln\left(\frac{\pi_i}{1-\pi_i}\right) = \beta_0 + \beta iX + \beta_2 X_2 \ldots\ldots + \beta_p X_p + \varepsilon_i$$

3.2.5.4 MODÉLISATION : EQUATION DU MODÈLELOGIT:

$$\boldsymbol{ln}\left(\frac{\pi_i}{1-\pi_i}\right) = \beta_0 + \beta iX + \varepsilon_i$$

Equation du modèle estimé :

$$\boldsymbol{ln}\left(\frac{\hat{\pi}_i}{1-\hat{\pi}_i}\right) = \beta_0 + \beta iX \rightleftarrows \quad ou \; \hat{\pi} = \frac{\boldsymbol{exp}(b_0 + b_1 X)}{1 + \boldsymbol{exp}(b_0 + b_1 X)}$$

3.2.5.5 ESTIMATION DES PARAMÈTRES

- On veut estimer β_0 et β_1 quidétermine π
- La méthode des moindres carrés n'a pas de bonnes propriétés dans ce contexte. On applique dans ce cas la méthode du maximum de vraisemblance.
- La fonction des vraisemblances mesure la probabilité d'observer l'échantillon récolte.

$$L(\beta_0.\beta_1) = P(Y_1 = y_1 \cap y_2 = y_2 \cap \ldots \cap Y_N = y_N / X_1, X_2, \ldots X_N) = \prod_{i=1}^{N} \pi_i^{yi(1-\pi_i)^{1-y_i}}$$

Avec

$$ln\left(\frac{\pi_i}{1-\pi_i}\right) = \beta_0 + \beta iX + \varepsilon_i$$

La méthode du maximum de vraisemblance recherche les valeurs de β0 et β1 qui maximisent la vraisemblance.

Ainsi, la probabilité P_i (probabilité d'utiliser la comptabilité) est définie de la manière suivante :

$$P_i = F(x_i'\beta) = \frac{e^{x_i'\beta}}{1+e^{x_i'\beta}} = \frac{1}{1+e^{-x_i'\beta}} = \Lambda(x_i'\beta)$$

avec $\Lambda(x_i'\beta) = \frac{1}{1+e^{-x_i'\beta}}$, la fonction de répartition et $f(x_i'\beta) = \frac{e^{-x_i'\beta}}{\left(1+e^{-x_i'\beta}\right)^2}$, la fonction de densité.

Afin d'estimer la probabilité *pi* conditionnellement aux variables indépendantes retenues dans notre modèle, une linéarisation de ladite fonction est nécessaire. D'où, sous forme explicite, le modèle suivant est utilisé :

$$ln\left(\frac{\pi_i}{1-\pi_i}\right) = \beta_0 + \beta iXi + \varepsilon_i$$

Considérant les variables sous-étude, nous aurons la forme suivante :

$$ln\left(\frac{\pi_i}{1-\pi_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 MAISAFF + \beta_2 NIVET + \beta_3 IMMATR + \beta_4 TAILLE - \beta_5 CAPDEP + \beta_6 CHAFF + \beta_7 DOCOMPT + \beta_8 ENREGIST + \varepsilon_i$$

Ainsi, concernant, notre modèle l'équation :$ln\left(\frac{\pi_i}{1-\pi_i}\right)$ le logarithme népérien relatif à la probabilité de l'utilisation de la comptabilité dans une entreprise.

4 PRESENTATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

4.1 ANALYSE DESCRIPTIVE DE L'ECHANTILLON

4.1.1 RÉPARTITION DES ENTREPRISES ENQUÊTÉES SELON LES CARACTÉRISTIQUES DE L'ENTREPRISE.

4.1.1.1 LA LOCALISATION

Tableau 4. Répartition selon le quartier

		Frequency	Percent	Cumulative Percent
Valid	KABINDULA	15	9,4%	9,4
	KAKOMBE	1	0,6%	10,0
	KALUNDU	28	17,5%	27,5
	KASENGA	20	12,5%	40,0
	KAVIMVIRA	11	6,9%	46,9
	KIMANGA	11	6,9%	53,8
	MULONGWE	48	30,0%	83,8
	NYAMIANDA	15	9,4%	93,1
	SONGO	11	6,9%	100,0
	Total	160	100,0%	

Sources : analyses sous SPSS.

La lecture de ce tableau démontre que, les entreprises ont été enquêté majoritairement dans de le quartier Mulongwe avec un effectif de 48 entreprises soit environs 30% suivi par les quartiers Kalundu et kasenga avec respectivement 17,5% et 12,5%. Il s'observe également que les Enterprises ont été faiblement enquêté dans le quartier Kakombe avec seulement 0,6% soit une entreprise seulement sur les 160 entreprises enquêtés.

4.1.1.2 STATUT JURIDIQUE DE L'ENTREPRISE

Tableau 5. Répartition des enquêtés selon statut de la propriété de l'entreprise.

		Frequency	Percent	Cumulative Percent
Valid	COLLECTIVE	19	11,2%	11,9%
	PRIVE	141	88,1%	100,0%
	Total	160	100,0	

Source : nos analyses sous SPSS.

Ce tableau prouve la prédominance des initiatives privée (individuelle) que l'initiative collective dans l'entreprenariat commercial. En effet, sur les 160 PME enquêtées, 141 PME soit 88, 1% sont une propriété privée contre seulement 19 soit 11,9% des entreprises faisant l'objet d'une propriété collective.

4.1.1.3 STATUT D'OCCUPATION DE LA MAISON (SIÈGE SOCIAL)

Tableau 6. Repartions des entreprises selon le statut d'occupation de la maison

		Frequency	Percent
Valid	LOCATAIRE	80	50,0%
	PROPRIETAIRE	80	50,0%
	Total	160	100,0

Source : analyses sous SPSS.

De ce tableau, nous pouvons lire que l'échantillon enquêté comprenait 50% des PME œuvrant dans leurs propres maisons et 50% des PME sont de locataires.

4.2 ANALYSE BI-VARIES

4.2.1 MODELE DE REGRESSION LOGISTIQUE

La première étape de ce chapitre portait sur la description des variables ainsi que l'analyse des interdépendances entre elles. L'objectif de cette première analyse était de proposer une première tentative de test de déterminants de l'utilisation de la comptabilité par les entreprises du secteur informel dans la citée d'Uvira. Pour se faire, des tendances ont été dégagées, mais faudra-il alors étudier de leur significativités.

4.2.1.1 TEST DE QUALITÉ D'AJUSTEMENT

Tableau 7. Test de qualité d'ajustement

Omnibus Tests of Model Coefficients

		Chi-square	Df	Sig.
Step 1	Step	56,135	9	,000
	Block	56,135	9	,000
	Model	56,135	9	,000

Source : analyses sous SPSS.

Etant donné que la probabilité associée au test de chi-deux est largement inférieurs au seuil de 0,05 pour le modèle. (StepetBlock), nos concluons donc que le modèle composée des prédicteurs est significativement meilleur que le modèle trivial composé seulement de la constante.

4.2.1.2 RÉCAPITULATIF DU MODÈLE

Tableau 8. Récapitulatif du modèle

Model Summary

Step	-2 Log likelihood	Cox &Snell R Square	Nagelkerke R Square
1	7,390[a]	,296	,903

Source : analyse sous SPSS.

Cette étape sert à mesurer la taille de l'effet du modèle. En effet en observant les valeurs du Pseudo-R^2, (cox et snell, Naelkerke), nous pouvons dire que Les pseudo-R^2 (ceux de Cox-Snell et Nagelkerke) sont respectivement de 29,5% et 90,3%, ce qui veut dire que les variables retenues expliquent à 29,6% et 90,3% la probabilité d'utiliser la comptabilité.

4.2.1.3 TEST DE HOSMER ET LEMESHOW

Tableau 9. Test de significativité globale du modèle

Hosmer and Lemeshow Test			
Step	**Chi-square**	**df**	**Sig.**
1	,001	3	1,000

Source ; analyse SPSS.

Le test de Hosmer et lemeshow a pour objectif de mesurer s'il existe une différence significative entre les valeurs observées et les valeurs prédites par le modèle. Il permet donc dans ce sens de mesurer si le modèle est bon ou non. Ainsi, etant donné que la p-valeur(1) est largement supérieure au seuil de signification de 0,05, nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse nulle de significativité globale du modèle. Le modèle est donc globalement bon.

4.2.1.4 POUVOIR DE PRÉDICTION DU MODÈLE

Tableau 10. Pouvoir de prédiction du modèle

Classification Table[a]

			Predicted		
	Observed		UTICOMPT		
			Non	Oui	Percentage Correct
Step 1	UTICOMPT	Non	6	2	75,0%
		Oui	2	150	98,7%
	OverallPercentage				97,5%

Source: nos analyses sous SPSS

De ce tableau nous remarquons que, au seuil de 0,5 notre modèle classe 95,5% soit ((150+6)/160) des variables correctement. Le taux d'erreur ou taux de mauvais classement étant de 2,5% soit (2+2)/160.

4.2.1.5 TEST D'ABSENCE DE MULTICOLINARITÉ ENTRE LES VARIABLES EXPLICATIVES.

Tableau 11. Corrélation entre les variables prédicatrices

Correlation Matrix

		Constant	MAISAFF	NIVEAT	IMMAT	TAILLE	CAPDEP	CAM	ENREG	DOCOMPT	TEXTLEG
Step 1	Constant	1,000	-1,000	-,010	,000	,010	-,001	,004	,002	-,007	,000
	MAISAFF	-1,000	1,000	,002	,000	-,003	,001	,000	,000	,001	,000
	NIVEAT	-,010	,002	1,000	,003	-,892	-,469	-,092	,243	,444	,003
	IMMAT	,000	,000	,003	1,000	-,006	,008	-,014	-,009	,012	,000
	TAILLE	,010	-,003	-,892	-,006	1,000	,217	,295	-,134	-,608	-,005
	CAPDEP	-,001	,001	-,469	,008	,217	1,000	-,664	-,851	,460	,004
	CAM	,004	,000	-,092	-,014	,295	-,664	1,000	,701	-,687	-,011
	ENREG	,002	,000	,243	-,009	-,134	-,851	,701	1,000	-,580	-,006
	DOCOMPT	-,007	,001	,444	,012	-,608	,460	-,687	-,580	1,000	,010
	TEXTLEG	,000	,000	,003	,000	-,005	,004	-,011	-,006	,010	1,000

Source : analyses SPSS.

Les coefficients de corrélations sont tous inférieurs aux seuils d'admission du test. Et nous pouvons donc conclure qu'il y a réellement absence d'une relation linéaire parfaite ou élevée entre toutes nos variables explicatives. Il n'y a donc pas multicolinéartité entre les variables explicatives.

4.2.1.6 COEFFICIENT DU MODÈLE LOGIT SUR LA PROBABILITÉ D'UTILISATION DE LA COMPTABILITÉDANS LE SECTEUR INFORMEL

Après avoir fait des analyses préliminaires de fréquences ainsi que des tests préalables à notre modèle Logit, ce paragraphe porte sur la présentation des variables de notre étude ainsi que l'influence respective de chaque variable sur l'utilisation de la comptabilité dans le secteur informel.

Tableau 12. Résultats de la régression

Variables in the Equation

		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1[a]	Maison d'affaire	7,115	1,384	0,000	1	0,990	2,710
	Niveau d'étude	0,611	4,165	0,022	1	0,023	1,642
	Immatriculation au RC	5,816	1,915	0,001	1	0,008	1,789
	TAILLE(nombre d'employés)	2,781	4,144	0,450	1	0,002	1,062
	Capital de départ	3,910	4,110	0,905	1	0,341	0,920
	Chiffre d'affaire mensuel	-0,004	0,003	2,029	1	0,154	0,996
	Enregistrement des opérations	-3,411	5,026	0,461	1	0,467	0,033
	Utilisation des documents compt	6,466	12,339	1,781	1	0,032	1,416
	Reconnaissance des textes legaux	4,058	1,818	0,001	1	0,981	1,361
	Constant	-23,573	1,384	0,000	1	0,986	0,000

a. Variable(s) enteredonstep 1: MAISAFF, NIVEAT, IMMAT, TAILLE, CAPDEP, CAM, ENREG, DOCOMPT, TEXTLEG.Significativité au seuil de 5%.

Source: Analyse sous SPSS.

Le tableau ci-haut fait ressortir l'estimation des coefficients du modèle logit appliqué sur la probabilité d'utilisation de la comptabilité dans le secteur informel. En effet, en tenant comptes des coefficients des nos 9 variables et en supposant π comme étant la probabilité d'utilisation de la comptabilité dans le secteur informel, notre modèle final peut se présenter comme suit.

$$ln\left(\frac{\pi_i}{1-\pi_i}\right) = \beta_0 + 7{,}117MAISAFF + 0{,}611NIVEAT + 5{,}816IMMAT + 2{,}781TAILLE + 3{,}910CAPDEP + 0{,}004CAM - 3{,}411ENREG + 6{,}466DOCOMPT + 4{,}058TEXTLEG + \varepsilon_i$$

$$\pi_i = \frac{e^{\beta_o + 7{,}117\,MAISAFF + 0{,}611\,NIVEAT + 5{,}816\,IMMAT + 2{,}781\,TAILLE + 3{,}910\,CAPDEP + 0{,}004\,CAM - 3{,}411\,ENREG + 6{,}466\,DDOCOMPT + 4{,}058\,TEX\varepsilon_i}}{1 + e^{\beta_o + 7{,}117\,MAISAFF + 0{,}611\,NIVEAT + 5{,}816\,IMMAT + 2{,}781\,TAILLE + 3{,}910\,CAPDEP + 0{,}004\,CAM - 3{,}411\,ENREG + 6{,}466\,DDOCOMPT + 4{,}058\,TEX\varepsilon\varepsilon}}$$

INTERPRÉTATION DE RÉSULTATS DU MODÈLE LOGIT SUR LA PROBABILITÉ D'UTILISATION DE LA COMPTABILITÉ DANS LE SECTEUR INFORMEL.

Le test wald sur les variables explicatives confirme que 4 sur 9 variables inclues dans le modèle contribuent significativement à l'amélioration du modèle. Parailleurs, si nous nous fions au signe et à la significativité des variables, nous pouvons ressortir la situation selon laquelle :

- Le niveau d'étude du propriétaire impactpositivement (coef : 0,611) et significativement (P-v :0,023) sur l'utilisation de la comptabilité dans le secteur informel. Autrement-dit, le fait que le propriétaire ait fait de longues études augmente de (1,642-1)*100= 64,2% la probabilité que l'entreprise tiennent une comptabilité. Ce résultat reste cohérent avec l'idée selon laquelle, les études assurent une certaine prise de responsabilité et de respect des normes tant légales que sociales.
- Le fait que l'entreprise soit immatriculée au registre de commerce influence aussi positivement et très significativement sur la possibilité de tenir la comptabilité dans l'entreprise. L'odds ratio attaché à cette variables

étant de 1,789, cela veut dire que lorsqu'une entreprise se fait immatriculé au registre de commerce, la probabilité qu'elle utilise la comptabilité augmente de (1,879-1)*100= 87,9%, ce qui est significativement élevée. Ceci se justifie par le fait que, l'immatriculation au registre de commerce est une des procédures de conversion des entreprises de l'informel vers le formel, dont ce dernier repose sur le respect des normes d'affaires (comptables, fiscal, etc.)

- La taille de l'entreprise mesurée par le nombre d'employés permanant dans l'entreprise impact positivement et significativement sur l'utilisation de la comptabilité dans une entreprise faisant partie du secteur informel. Partant de l'idée que dans le secteur informel l'utilisation de la comptabilité serait l'exception plutôt que la règle, et si nous partons de l'hypothèse que bon nombre d'entreprises du secteur informel sont souvent de petite taille, nous pouvons conclure sur ces résultats que, plus une entreprise croit en taille, plus elle est appelée si pas contrainte d'utiliser la comptabilité pour des multiples raisons.
- L'utilisation des documents comptables explique positivement et significativement l'utilisation de la comptabilité dans la mesure où la comptabilité est tenue sur base de l'information contenue dans différents documents comptable utilisés pour enregistrer les opérations courantes au sein de l'entreprise. Ainsi, le fait qu'une entreprise utilise les documents comptables augmente la probabilité qu'elle utilise la comptabilité d'un pourcentage de (1,416-1)*100=41,6%.

VERIFICATION DES HYPOTHESE

Cette partie aurait consisté à comparer nos résultats à ceux des autres auteurs. Malheureusement, ce n'est pas le cas. Cela parce que nous n'avons pas trouvé de travaux ayant abordé un sujet semblable au nôtre ou ayant cherché à déterminer les facteurs d'utilisation de la comptabilité. Compte tenu de cette difficulté, nous nous limiterons à comparer les résultats obtenus par rapport aux hypothèses.

Nous avons supposé que les alimentations, boutiques et magasins de la cite d'Uvira ne feraient pas recours à la comptabilité proprement dite et que les variables suivantes influencerait l'utilisation de la comptabilité dans le secteur informel : le montant du chiffre d'affaires, la localisation de l'acteur, son niveau d'études, l'ancienneté, le lieu d'approvisionnement, la diversité des produits vendus.

Les résultats obtenus ont indiqué que toutes les variables inclues dans le modèle contribuent significativement à l'amélioration du modèle. Parailleurs, si nous nous fions au signe et à la significativité des variables, nous pouvons ressortir la situation selon laquelle ce sont les variables : niveau d'étude, utilisation des documents comptables, la taille et l'immatriculation au registre de commerce.

5 CONCLUSION

Nous voici à la fin de notre travail de recherche consacrée à l'étude sur la problématique de l'utilisation de la comptabilité par le PME du secteur informel : cas de boutiques, alimentations et magasins de la cite d'Uvira. Nous sommes parties d'une problématique qui consistait à rappeler le rôle et importance de la comptabilité pour une entreprise quelque soient sa taille. En particularisant le travail sur les PME du secteur informel, nous avons montré que cette catégorie d'entreprise n'utilise pas la comptabilité au sens propre du mot et que les PME de la cite d'Uvira n'échappaient pas à cette problématique. Ainsi, compte tenu de leurs caractéristiques, les propriétaires de PME du secteur informel se trouvent souvent en difficulté de tenir la comptabilité pour leurs affaires pour de multiple raisons.

Les questions principales ayant guidée notre travail était celles de savoir si les alimentations, boutiques et magasins de la cite d'Uvira utilisent-elles la comptabilité ?, quels seraient les déterminants de l'utilisation de la comptabilité dans le secteur informel ? En termes de réponse anticipative, les hypothèses avancées ont proposé l'explication que la plupart des alimentations, boutiques, et magasins de la cité d'Uvira ne font pas recours à la comptabilité ;

Et que, les principaux facteurs d'utilisation de la comptabilité sont le montant du chiffre d'affaires, la localisation de l'acteur, son niveau d'études, l'ancienneté, le lieu d'approvisionnement, la diversité des produits vendus.

Le modèle régression logistique défini et appliqué sur la probabilité d'utilisation de la comptabilité dans le secteur informel, pour résigner sur les variables explicatives sur l'utilisation de la comptabilité.

L'estimation réalisée sur un échantillon de 160 PME tirées au hasard dans la cité d'Uvira. Ainsi, compte tenu de nos objectifs, les analyses que nous avons faites confirment nos hypothèses. Le test Wald sur nos 9 variables explicatives confirme que 4 variables inclues dans le modèle contribuent significativement à l'amélioration du modèle. Pa railleurs, si nous nous fions au signe et à la significativité des variables, nous pouvons ressortir la situation selon laquelle :

- Le niveau d'étude du propriétaire impact positivement et significativement sur l'utilisation de la comptabilité dans le secteur informel. Autrement-dit, le fait que le propriétaire ait fait de longes études augmente de 64,2% la probabilité que l'entreprise tient une comptabilité. Ce résultat reste cohérent avec l'idée selon laquelle, les études assurent une certaine prise de responsabilité et de respect des normes tant légales que sociales.
- Le fait que l'entreprise soit immatriculée au registre de commerce influence aussi positivement et très significativement sur la possibilité de tenir la comptabilité dans l'entreprise. L'odds ratio attaché à cette variable étant de 1,789, cela veut dire que lorsqu'une entreprise se fait immatriculée au registre de commerce, la probabilité qu'elle utilise la comptabilité augmente de 87,9%, ce qui est significativement élevée. Ceci se justifie par le fait que, l'immatriculation au registre de commerce est une des procédures de conversion des entreprises de d'informel vers le formel, dont ce dernier repose sur le respect des normes d'affaires (comptables, fiscal, etc.)
- La taille de l'entreprise mesurée par le nombre d'employés permanant dans l'entreprise impact positivement et significativement sur l'utilisation de la comptabilité dans une entreprise faisant partie du secteur informel. Partant de l'idée que dans le secteur informel l'utilisation de la comptabilité serait l'exception plutôt que la règle, et si nous partons de l'hypothèse que bon nombre d'entreprises du secteur informel sont souvent de petite taille, nous pouvons conclure sur ces résultats que, plus une entreprise croit en taille, plus elle est appelée si pas contrainte d'utiliser la comptabilité pour des multiples raisons.
- L'utilisation des documents comptables explique positivement et significativement l'utilisation de la comptabilité dans la mesure où la comptabilité est tenue sur base de l'information contenue dans différents documents comptable utilisés pour enregistrer les opérations courantes au sein de l'entreprise. Ainsi, le fait qu'une entreprise utilise les documents comptables augmente la probabilité qu'elle utilise la comptabilité d'un pourcentage de 41,6%.

Ainsi, s'il faut proposer un remède pour les PME du secteur informel, les propriétaires des PME devraient prendre au sérieux les leçons de la comptabilité et en respecte les règles comptables pour la bonne gestion des affaires. Et l'Etat doit prendre ses responsabilités.

En fin, de manière générale l'apport de notre étude réside dans l'analyse des déterminants de l'utilisation de la comptabilité par les PME du secteur informel dans la cite d'Uvira.

Pour clore ce travail, il est impérieux de mentionner que toutes les variables retenues pour expliquer la tenue de la comptabilité n'ont pas été significatives, cela ne veut pas autant dire qu'elles n'ont eu aucun effet sur l'utilisation de la comptabilité. Il est a comprendre que ce travail n'est qu'une œuvre humaine, nous ne prétendons donc pas l'avoir achevé dans toute perfection. De ce fait, nous nous laissons sous la sagesse des autres chercheurs qui voudront bien poursuivre avec la recherche. Ainsi nous ouvrons une brèche à une étude ultérieure à d'autres chercheurs si pas nous même de pouvoir le compléter en étudiant le raisons de la persistance des plusieurs PME dans le secteur informel.

REFERENCES

[1] BAMPOKY, B. (2005), « Les rouages de la comptabilité », Sénégal, Presse universitaire de Dakar.
[2] ECHAUDE, MAISON, C, D. (2003), « Dictionnaire d'économie et de sciences sociales», 6 éd, Paris,Nathan.
[3] GELOU, (1971), « Grande encyclopédie », éd. La Rousse, Canada.
[4] KINZONZI, (1978), « Conseil permanent de la comptabilité au Congo », 1 éd. Kinshasa.
[5] KINZONZI; C, PEROCHON, (1989), Comptabilité élémentaire, éd. Foucher, Paris.
[6] L.FEHEY; R.RANDALL, (1997), « Faire évoluer la stratégie de l'entreprise », in Techniques, concepts et méthodes, Nouveaux Horizons.
[7] MALIKWISHA, M. (2000), « L'importance du secteur informel en R.D.C », Bulletin de l'ANSD, vol, Kinshasa.
[8] MBWINGA, B. SIMIKO (1992), « Secteur informel et marche intérieur de consommateur de masse », in cahiers de CEDATASDOC, N 3-4, Kinshasa.
[9] MUBENGA, T. (1997), « manuel de comptabilité analytique d'exploitation », éd. Griged, Kinshasa.
[10] MUKE ZIHISIRE, M. (2011), « La recherche scientifique en sciences social et humaines », éd. Harmattan, Paris.
[11] PLOU, (1987), Petit la rousse, Nouvelle édition.
[12] BAHATI, N. (2014-2015), « Comptabilité générale », cours inédit, G1 économie, UEA.
[13] LUKUITSHI, M, (2012-2013), « Document commerciaux », cours inédit, G1 économie, BUKAVU, UEA.
[14] KIMBALA, MAKIADI, A. (2008), « Le secteur informel comme stratégie de survie de congolais », UK/Banzangungu.
[15] KINZIGIRE, MWISIKANYI, S. (2006), « Le commerce informel, défit a relevé par l'Etat congolais: cas de marche pirate à Bukavu », UCB/Bukavu.
[16] LOMAMI, SHOMBA, (2002-2003), « La promotion d'économie informelle Droit congolais », UNIKIN.

[17] MNSEKA, NKONO, J. (1993), « Le fonctionnement du secteur informel a banzangungu: cas de paysanne de la place recevoir », UK/ Banzangungu.
[18] MUKANYA, MALEMBA, J. (1995-1996), « La fiscalisation du secteur informel », UCB/ Bukavu.
[19] MUSENGA, TSHIMANKINDA, C. (2008), «La fiscalisation de l'économie informelle comme facteur du développement économique de la République Démocratique du Congo; état des lieux et perspectives », UPC – Licence en Droit Economique et social.
[20] NOEL, KANCHOR, T. (2009), « Le secteur informel à l'épreuve du droit des affaires OHADA », Université de Dschang-DEA en droit communautaire.

ANNEXE

QUESTIONNAIRE D'ENQUETE

Nous, MANGALA BUZITO Yannick, étudiant régulièrement inscrit en deuxième année de licence, Faculté des Sciences Economiques et de Gestion à l'Université Evangélique en Afrique, U.E.A en sigle, menons une étude sur « La problématique de l'utilisation de la comptabilité par les entreprises du secteur informel : cas des boutiques, alimentations et magasin de la Cité d'Uvira ».

Toutes les informations vous concernant que vous donnerez seront gardées strictement confidentielles et utilisées qu'à des fins académiques

- IDENTITE DE L'ENQUETE

1. Quartier de localisation……..

2. Avenue de localisation…….

3. Ancienneté dans l'activité……..

4. Combien de maisons d'affaires (boutiques, alimentation,…) avez-vous dans la ville (cité) :

a. Une ☐
b. Deux ☐
c. Trois ☐
d. Plus de 3 ☐

5. Cette activité est une propriété : Privée ☐ Collective ☐

6. Niveau d'étude du propriétaire d'activité :

a. Sans ☐
b. Ecole primaire non terminée ☐
c. Ecole primaire terminée ☐
d. Ecole secondaire non terminée ☐
e. Ecole secondaire terminée ☐
f. Etudes de grade non achevées ☐
g. Graduat ☐
h. Licence ☐
i. Master ☐
j. Autres à préciser……

k. Age du(des) propriétaire(s)…… ;

6. Sexe : M ☐ F ☐

- QUESTIONS EN RAPPORT AVEC LE TRAVAIL

1. Quel est votre statut d'occupation de votre maison d'activité ?

Propriétaire ☐ Locataire ☐

2. Etes-vous immatriculé au registre de commerce ? Oui Non

Si oui, depuis quelle année……

3. Combien de personnes travaillent dans cette maison d'affaires :……

Ces personnes sont :

a. Des agents payés……..Nombre……..

b. Membres de la famille……..Nombre…….

c. Autres ……..Nombre ……

4. Niveau d'étude de travailleur :

a. Ecole primaire terminée ☐

b. Ecole secondaire terminée ☐

c. Autre à préciser…….

5. Quel est votre capital de départ :

a. Moins de 200$ ☐

b. 201$ à 1000$ ☐

c. 1001$ – 2000$ ☐

d. 2001$ – 3000$ ☐

e. 300 1$– 5000$ ☐

f. 5001$ -7500$ ☐

g. 7500-10000 ☐

h. Plus de 10000$ ☐

6. Comment avez-vous obtenu ce capital :

a. Don ☐

b. Epargne ☐

c. Revenu d'autres activités ☐

d. Crédit ☐

e. Autres à préciser…….

7. Combien vendez-vous en moyenne par jour……par semaine……?

8. Où et auprès de qui achetez-vous vos produits ?

a. A l'usine ☐

b. Aux grossistes ☐

c. Autres à préciser……..

9. Qui sont vos principaux clients…….....?

10. Quelle est votre modalité de vente :

a. Au comptant (cash)? ☐

b. A crédit? ☐

c. Autres…….

11. Avez-vous des fournisseurs spécifiques ? Oui ☐ Non ☐

12. pensez- vous que l'utilisation de la comptabilité est importante pour la bonne évolution de votre activité ?

Oui ☐ Non ☐

Justifier :……

……

13. Reconnaissez-vous, pendant vos activités les textes légaux suite à la tenue de la comptabilité ?

Oui ☐ Non ☐

14. Utilisez-vous une comptabilité pour votre activité ?

Oui ☐ Non ☐

- Si Oui, la quelle :

a. comptabilité de caisse ☐;

b. comptabilité élémentaire ☐

c. comptabilité analytique ☐

15. Utilisez-vous des documents comptables ? Oui ☐ Non ☐

16. Quels sont les documents comptables que vous utilisez (cochez) ?

a. Facture ☐

b. Reçu ☐

c. Bon d'entrée caisse ☐

d. Bon d'entrée magasin ☐

e. Bon de sortie magasin ☐

f. Fiches des stocks ☐

g. Autres documents à signaler……

h. Aucun ☐

17. Enregistrez-vous vos opérations journalières dans un cahier, une machine ordinateur, un carnet ?

Oui ☐ Non ☐

Si oui, quel est le matériel utilisé ?

a. Cahier ou carnet ☐

b. Ordinateur ☐

c. Fiches ☐

d. Autres matériels à préciser……

18. Comment enregistrez-vous vos opérations :

a. Fiche des stocks par article ☐

b. Journal ou grand livres ☐

c. Autre a précisé :……..

19. Faite vous d'inventaire à la fin des activités ? Oui ☐ Non ☐

20. Eté-vous capable d'élaborer un bilan pendant une période donnée ? Oui ☐ Non ☐

Si Non, pour quoi ?……..

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1349-1412
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Etude de l'élevage et écologie alimentaire de deux espèces des poissons (Tilapia Niloticus et Clarias Gariepinus) dans le bassin du lac Kivu (Cas de Kalengera)

[Study of the breeding and feeding ecology of two fish species (Tilapia Niloticus and Clarias Gariepinus) in the Lake Kivu basin (Case of Kalengera)]

Zagabe Mulumeoderhwa Olivier, Nicole Cubaka, Nzigire Buhendwa Rosine, and Kizungu Mulangane Emmanuel

Centre de Recherche Agro-Alimentaire Lubumbashi (CRAA), Extension de Lwiro, RD Congo

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Our overall objective was to know the ecological and food relations between Tilapia niloticus and Clarias gariepinus in Lake Kivu, precisely in the Kalengera site. The statistical method helped us to compile tables of data from our surveys in our field of study; the analytical method allowed us to analyze all the data and to interpret them, the techniques of the interview by the questionnaire and the documentation allowed us to collect the data of this study, the tools used are the questionnaire, the notepad , pencil and pen. The random sample was determined by Lynch's formula, which for us was more scientific in nature. 25 questionnaires were administered to fishermen and other individuals working in the Kalengera site and 25 others to provincial inspection agents of Agriculture, Fisheries and Livestock with a size of 152 surveyed. The feeding of Tilapia niloticus and Clarias gariepinus must be done taking into account the species but also the stages, among others the fry between them, the juveniles between them and the marsh fish each other according to size, weight and feeding rate to avoid prey and predators in natural selection and protected species umbrellas by several methods in their ecology by the The method of occurrence, number, volume and weight allowed us to study the food ecology of fish (Tilapia niloticus and Clarias gariepinus) which allows to know the number of fish in which each type of food appears to be expressed as a percentage of the total number of fish examined with the total number of individuals of each type of food given as dominant or recessive and to express the volume or weight of each type of food in each stomach with the beneficial percentage of its contents because 99% of Tilapia niloticus species reproduce in pelagic zones by storing their nests in benthic bottom rocks and only 1% can do so at littoral level with the risk of predators while 100% of Clarias gariepinus species bottom their nests. nesting in spawning grounds precisely in coastal macrophytes.

KEYWORDS: Food, ecology, nesting, spawning grounds, pelagic areas.

RESUME: Notre objectif global était de connaître les relations écologiques et alimentaires entre Tilapia niloticus et Clarias gariepinus au Lac Kivu, précisément dans le site de Kalengera. La méthode statistique nous a aidée à constituer des tableaux des données issues de notre enquêtes sur notre terrain d'étude ; la méthode analytique nous a permis d'analyser toute les données et de les interpréter, les techniques de l'interview par le questionnaire et la documentation nous ont permis de récolter les données de cet étude, les outils utilisés sont le questionnaire, le bloc note, le crayon et le stylo. L'échantillon aléatoire etait déterminé par la formule de Lynch revêtant pour nous le caractère plus scientifique25 questionnaires étaient administrés aux pêcheurs et autres individus œuvrant dans le site de Kalengera et 25 autres pour les agents de l'inspection provinciale de l'Agriculture, Pêche et Élevage avec une taille de 152enqueté.L'alimentation des Tilapia niloticus et Clarias gariepinus doit se faire en tenant comptes des espèces mais aussi des stades entre autres les alevins entre eux, les juvéniles entre eux et les poissons marchamps entre eux selon la taille, le poids et le taux d'alimentations pour éviter les proies et les prédateurs dans la sélection naturelle et protégées les espèces parapluies par plusieurs méthodes dans leur ecologie par la La méthode d'occurrence, nombre, volume et poids nous a permis d'étudier l'écologie alimentaire des poissons (Tilapia niloticus et Clarias gariepinus) qui permet de connaître le nombre de poissons dans lequel chaque type de nourriture apparaît exprimer comme un pourcentage du nombre total des poissons examinés avec le nombre total des individus de chaque type de nourriture donné comme dominant ou récessif et exprimer le volume ou poids de chaque type de nourriture dans chaque estomac avec le pourcentage bénéfique de son contenu car 99% des espèces de Tilapia niloticus se reproduisent dans les zones pélagiques en entreposant leurs nids dans les rochers du fond benthiques et seulement 1% peuvent le faire au niveau

littoral avec les risques des prédateurs tandis que 100 % d'espèces de Clarias gariepinus fond leurs nidifications dans les zones des frayères précisément dans les macrophytes du littoral.

MOTS-CLEFS: Alimentation, écologie, nidification, zones des frayères, zones pélagique.

1 INTRODUCTION GENERALE

1.1 CONTEXTE D'ETUDE

Dans l'ancien temps, nos aïeux/ancêtres vivaient toujours de la chasse, caillette, la pêche, … ceux-ci étaient encore abondants dans le monde. Actuellement, le gibier est devenu plus en plus rare alors que la population accroit du jour les jours. C'est pourquoi le terme poisson ou pisciforme évoque une forme profilée régie par les lois de l'hydrodynamique, la forme d'un poisson à progression rapide dans l'eau est caractérisée par la forme en fuseau et la présence des nageoires paires (pectorales en arrière de la tête) et pelviennes ou ventrales en avant de la papille anale et des nageoires impaires contenues dans le plan de symétrie de l'animal (dorsale et anale) qui jouent le rôle moteur dans la nage **(Kizungu Emmanuel 2013).**

Le tilapia a depuis longtemps mauvaise réputation. Dans une publication partagée plus de 71 000 fois sur Facebook, on affirme que ce poisson serait nourri « d'excréments de Chinois et de Cambodgiens » à un point tel que la population locale n'en consommerait pas elle-même. Or, le tilapia sur nos tablettes est tout à fait propre à la consommation. Vérifications. Il n'y a aucune indication que les tilapias soient nourris avec des excréments humains en Chine, qui génère 60 % de la production mondiale, ou ailleurs en Asie. Il arrive cependant que d'autres types de contaminants s'y retrouvent. La confusion à la base de cette rumeur vient sans doute du fait que du fumier de bétail et de volaille soit parfois utilisé comme engrais pour les algues dont se nourrissent les poissons d'élevage. Un rapport de 2008 du département américain de l'Agriculture indique toutefois que cette pratique ne se limite pas à l'élevage du tilapia. Toujours selon ce rapport, il peut arriver dans des régions rurales de Chine, où le système d'égouts est inadéquat, que des matières fécales humaines ou animales se retrouvent dans l'eau et contaminent les bassins d'aquaculture. Il est cependant faux d'affirmer que les poissons sont délibérément nourris avec des excréments humains **(www.radio-canada.ca).**

Régime alimentaire et besoins nutritionnels de C. gariepinus En milieu naturel, Clarias gariepinus est omnivore. Il consomme des insectes, des crabes, du plancton, des poissons, des cadavres, des plantes et des fruits **(Fermon, 2011)**. C'est donc une espèce euryphage **(Bruton, 1979)** et opportuniste **(Clay, 1979)**. Le régime alimentaire variant en fonction de la taille : les juvéniles se nourrissent dans l'ordre de préférence décroissant, d'insectes et de crustacés, de mollusques, de détritus et de plancton ; les adultes et les sub-adultes, principalement de poissons **(Bruton, 1979 ; Van Weerd, 1995).**

Le tilapia, Oreochromis niloticus, représente l'espèce majeure de la pisciculture africaine et, bien au-delà, du monde tropical. Sa reproduction aisée en captivité, sa rusticité et sa plasticité en élevage ainsi que sa capacité à consommer toutes sortes d'aliments en font une espèce d'élevage idéale, notamment pour les pays en développement. Ces différentes caractéristiques lui ont valu le surnom de « poulet aquatique ».Un des poissons d'eau douce les plus prometteurs en pisciculture d'eau douce est un poisson africain, le tilapia. Sous ce nom générique se cachent en réalité plusieurs espèces, dont la plus appréciée est le tilapia du Nil (Oreochromis niloticus), appelé parfois improprement « carpe ». On pense d'ailleurs que l'élevage du tilapia date de 4 000 ans, en Égypte, où un système d'aquaculture rudimentaire existait déjà , **(Lévêque et al.)**.

Le poisson-chat, de son nom scientifique, Clarias Gariepinus est fort apprécié en Afrique. Il possède des valeurs nutritives très intéressantes et rentre dans la composition de nombreux plats. Il se cuisine de différentes façons. Sa demande ne cesse de croître. Si le Nigeria reste le plus gros producteur, on rencontre ce poisson dans de nombreux pays africains. Cette espèce d'eau douce à tendance carnivore exige un régime alimentaire à teneur élevé en protéines. Il se reproduit très facilement en élevage et possède une croissance importante. Le clarias est doté d'un système de respiration aérienne qui lui permet de survivre dans des eaux très pauvres en oxygène. Il résiste bien aux manipulations.La production et la vente de clarias constituent une source de revenu sûre et régulière. Celle-ci intéresse de nombreux agriculteurs en activité principale ou partielle et notamment de nombreux jeunes. Ceux-ci peuvent démarrer cette activité sans trop d'investissement **(Emmanuel Pruvost, Technique animale 2018)**.

En R.D.C, des infrastructures aquacoles sont présentes dans toutes les provinces du pays sous forme de centres d'alevinage principaux (C.A.P) et de centres d'alevinage secondaire (C.A.S). Par contre les ressources humaines et matérielles font énormément défaut, très peu de cadres formés en aquaculture étant disponibles.

Au cours de ces dernières années, la production nationale a varié entre 2000 et 3000 tonnes par an, pour une valeur totale de 5 à 7, 5 millions de dollars des États-Unis, **(https://www.fao.org/fishery/fr/countrysector/cd/fr)**.

Il y a beaucoup de choses dont le Tilapia nilotica peut se nourrir. Ci-dessous vous trouverez la liste de ce qu'il aime manger. Choisissez ce que vous pouvez trouver. Il n'est pas dit que vous devez leur donner tout ce qui se trouve sur cette liste, mais il est toujours mieux de varier les aliments. Un régime alimentaire varié donne au poisson tous les éléments nutritifs nécessaires. Tant mieux si vous pouvez vous même planter prés de vos étangs, par exemple, des papayers, des patates douces, ou bien encore avoir vos champs situés prés de vos étangs. Comme ça vous aurez des feuilles de manioc en permanence pour vos poissons.Les aliments de Tilapia nilotica sont : les termites, le son du riz, les tourteaux de coton, les feuilles de manioc, les feuilles de papayers, les feuilles de patates douces, les feuilles de taro, les feuilles d'ignames, les avocats, les restes de brassage de la bière, la farine de maïs, millet et manioc,... **(Peace Corps, Comment élever le Tilapia nilotica, 1985, p63)**. Le poisson-chat d'eau douce (Clarias gariepinus) est omnivore, il mange toutes les petites proies qu'il peut trouver au fond : larves, crustacés, mollusques, frai et alevins de poissons **(www.vallee-dordogne.com)**.

Le Sud-Kivu est fortement influencé par les chaînes d'approvisionnement et les sources de connaissances de l'Afrique de l'Est, l'importation d'intrants et des poissons d'élevage d'Afrique de l'Est et d'Asie. Cela contribue à une production efficace et à un accès au marché pour les consommateurs **(http://bit.ly.aquaculture)**.

L'analyse des contenus stomacaux de Clarias gariepinus échantillonnés montre que cette espèce est un omnivore à tendances carnivores. Cet éclectisme alimentaire indique que Clarias gariepinus ne constitue pas un danger pour les peuplements piscicoles du lac Kivu. Cette prédation serait une réaction au développement d'une population qui tend à dépasser la charge biotique maximale **(googleweblight.com)**.

Les tilapias du Nil, du Mozambique et bleus sont les espèces les plus utilisées en aquaculture. Ayant un petit estomac, ils sont nourris en petite quantité jusqu'à quatre fois par jour, notamment de sous-produits agricoles (tourteaux de plantes oléagineuses, de coton, de maïs), d'engrais organiques (lisier) ou de granulés. Les alevins nécessitent plus de protéines que les adultes et reçoivent en complément des sous-produits d'originale animale (farine de viande, de sang, farine de poisson, huile de poisson) et des vitamines **(www.alimentarium.org)**.

1.2 PROBLEMATIQUE

Très peu d'informations sont connues sur les relations intra et interspécifiques entre le Tilapia niloticus et Clarias gariepinus entre-eux à Kalengera mais aussi avec d'autres espèces comme les crabes, les crevettes, Limnothrissa miodon, Stholosthrissa tanganicanus, au niveau littoral, dans les zones de frayères, au niveau pélagique, à l'épilémnion, hypolémnion et métalemnion. À cet effet ,notre curiosité s'est clouée sur la détermination des relations écologiques, réciproques des Tilapias niloticus et d'autres espèces des Tilapias dans le biotope du lac Kivu précisément à Kalengera, définir les relations réciproques des Clarias gariepinus et d'autres espèces de Clarias, tout en précisant également les relations réciproques entre le Tilapia niloticus et le Clarias gariepinus car l'une est prédatrice et l'autre est une proie. Cependant, il a été signalé un problème alimentaire de ces deux espèces au niveau de la zone des frayères et la zone benthique qui est dû par le manque des suppléments d'aliments et permet quelques conséquences au niveau de la chaîne alimentaire où les poissons marchands mangent les alevins et diminuent la croissance et le rendement économique ainsi que scientifique sur le plan local, international et phylogénétique. Et tout ceci suscite aux individus de l'espèce Clarias gariepinus d'être prédateurs des alevins de Tilapia niloticus surtout au niveau de la zone littorale du lac Kivu à Kalengera qui limitent la croissance des Tilapias et constituent un impact négatif sur la rentabilité et la consommation par la population riveraine. Un autre aspect montre que, en cas de la pollution des zones littorales à Kalengera, l'appareil digestif qui comporte un tube reliant la bouche à l'anus et un certain nombre des glandes digestives qui y déversent des produits de leurs activités ; lors de l'écologie alimentaire présentent des maladies qui amènent la mort de certains individus. Mais également, lorsqu'on fait la dissection des poissons, les déchets toxiques jetés au littoral déséquilibrent l'écologie des poissons au niveau des branchies, car c'est à travers les parois très minces des lamelles branchiales que le sang laisse diffuser dans l'eau le gaz carbonique dont il s'est chargé dans les tissus et fixe l'oxygène nécessaire.

Partant de cette constatation, nous nous sommes posé quelques questions qui ont attiré notre curiosité comme suit :

- Quelle est l'alimentation appropriée dans l'élevage des poissons (Tilapia niloticus et Clarias gariepinus) au niveau du bassin de lac Kivu, site de Kalengera ?
- Quelle est la motivation de pisciculteurs du bassin de lac Kivu, cas de Kalengera dans l'élevage de ces deux espèces (Tilapia niloticus et Clarias gariepinus) au détriment des autres espèces aquatiques ?
- Comment se fait l'élevage de ces deux espèces (Tilapia niloticus et Clarias gariepinus) dans le bassin du lac Kivu, site de Kalengera ?
- Pourquoi doit-on administrer une alimentation accrue dans l'élevage des poissons ?
- Quelles sont les relations écologiques entre les deux espèces au lac Kivu ?

Ces préoccupations posées ci-haut feront la constitution de la thématique de notre œuvre et nous aideront à éclaircir au fil des pages.

1.3 HYPOTHESES

Pour notre travail, les hypothèses sont résumées de la manière suivante :

- Les fientes des poules, farines des riz, Farine des tourteaux et fumiers des porcs seraient l'alimentation de meilleure qualité pour le Tilapia niloticus et le Clarias gariepinus à Kalengera.
- La production accrue et les activités commerciales seraient à la base de l'option/choix fait par les pisciculteurs de Kalengera pratiquant l'élevage de ces deux espèces.
- La prédation et la proie seraient les principales relations écologiques de ces deux espèces a Kalengera.

1.4 OBJECTIFS DU TRAVAIL

1.4.1 OBJECTIF GLOBAL

Notre objectif global est de connaître les relations entre Tilapia niloticus et Clarias gariepinus au lac Kivu, précisément à Kalengera sur le plan de l'alimentation et leur écologie dans les écosystèmes aquatiques pour les aires protégées.

1.4.2 OBJECTIFS SPÉCIFIQUES

- Comprendre les relations intra et interspécifiques des Tilapia niloticus et Clarias gariepinus au lac Kivu dans le site de Kalengera.
- Déterminer les types d'aliments que consomment les deux espèces au lac Kivu et spécialement à Kalengera.
- Connaître comment et quand on donne la nourriture aux poissons dans le site de Kalengera.
- Démontrer les proies et les prédateurs qui interviennent dans l'alimentation de ces deux (T. niloticus et C. gariepinus) à Kalengera au lac Kivu.
- Montrer l'importance et l'impact du maintien stable de l'écologie alimentaire de ces deux espèces au lac Kivu précisément à Kalengera sur le plan de la rentabilité.

2 REVUE DE LA LITTÉRATURE

2.1 MORPHOLOGIE EXTERNE DES POISSONS

2.1.1 FORME GÉNÉRALE DU CORPS

Les Poissons forment un goupe hétérogène de vertébrés anallantoïdiens, généralement ovipares, respirant toujours par des branchies; seuls les Dipneustes possèdent également des poumons. Ce sont des animaux à coeur simple placé sur le trajet du sang veineux, à circulation simple, à température variable, à tégument couvert d'écailles ou de pièces osseuses, à nageoires paires (0 ou 2 ou 4) et à nageoires impaires; pas de vessie urinaire antérieure.

« La classe des Batraciens, par les plus dégradés d'entre ces animaux, est si intimement unie à celle des Poissons que, si l'ensemble des caractères à l'aide desquels on définit les Poissons est vrai dans sa généralité, il n'est pas un de ces caractères qui ne puisse ou faire défaut, ou être appliqué à des êtres placés sur les confins qui limitent les deux classes » (Sauvage). D'autre part, l'Amphioxyus (Céphalocordés) établit nettement la transition entre les Poissons, qui sont les plus inférieurs des Vertébrés, et les Invertébrés.

Essentiellement aquatiques, les Poissons possèdent une conformation extérieure bien adaptée à leur rapide progression dans les milieux liquides : la tête se continue sans ligne de démarcation avec le tronc, le corps est en général comprimé latéralement, il y a des nageoires paires et impaires, les écailles sont imbriquées d'avant en arrière. La bouche est en général placée à la partie antérieure de la tête, parfois à la face ventrale (Raie, Requin, etc.). L'anus est placé en avant de la nageoire anale et de l'orifice des organes génito-urinaires. Cette forme fondamentale présente des exceptions, chez les Raies, les Torpilles, etc., dont le corps est comprimé et étalé en disque, chez les Poissons plats dont le dos est bombé par suite d'une compression latérale, chez les Taonioïdes qui ont le corps rubané, chez les Orbes épineux dont le corps se gonfle comme un ballon et est disposé pour flotter. La bouche est munie de mâchoires, et disposée pour la mastication, sauf chez un petit nombre d'espèces, où elle est disposée pour la succion. Le coeur est composé seulement d'une oreillette et d'un ventricule, et il est placé sur le trajet du sang veineux.

La respiration branchiale se fait pour les uns dans l'eau douce, pour les autres dans l'eau salée, quelques espèces pouvant alternativement vivre dans l'eau douce ou l'eau salée. Beaucoup de Poissons, auxquels la respiration aquatique ne fournit pas assez d'oxygène, viennent souvent à la surface de l'eau respirer l'air en nature. Un grand nombre de Poissons ont une vessie

aérienne ou vessie natatoire ; on appelle ainsi une poche remplie de gaz, de forme variable, située au-dessous de la colonne vertébrale ; c'est un organe accessoire de respiration. Les gaz de la vessie natatoire ne proviennent pas du dehors ; ils se dégagent du sang. Le Poisson n'a aucune action sur sa vessie ; celle-ci augmente ou diminue de volume suivant la pression ; quand le poisson monte, il est soumis à une pression moindre, et sa vessie se gonfle ; le contraire se produit quand le poisson descend. La vessie natatoire manque chez un grand nombre de Poissons, qui alors sont toujours plus lourds que l'eau et ne peuvent rester immobiles sans descendre ; la plupart de ces poissons reposent sur le fond de la mer (raies, soles), ou sont des poissons de rapine (requins) effectuant des mouvements brusques de montée ou de descente **(http://aquafish.free.fr/morphologie/morphologie.htm) .**

2.1.2 LES NAGEOIRES

Une nageoire est un membre en général large et plat permettant le mouvement et le soutien dans le milieu aquatique. Différents animaux ont développé des nageoires, notamment la plupart des poissons, ainsi que certains mammifères marins (cétacés, pinnipèdes), les reptiles (les tortues de mer, les plésiosaures aujourd'hui disparus, les mosasaures, les ichthyosaures et metriorhynchidés), les calmars et certains oiseaux (les manchots). Les nageoires des poissons sont des appendices composées d'épines osseuses saillant du corps couvertes et reliées ensemble par une fine peau chez la plupart des poissons osseux, et plus semblable à des palmes chez les poissons cartilagineux. Elles permettent au poisson de nager, mais elles peuvent également être utilisées pour le vol ou la marche, comme chez les poissons volants et les antennaires. Les nageoires sont situées à différents endroits sur le poisson et ont chacune une forme appropriée à leur utilité, comme avancer, tourner, ou garder une position verticale.

2.1.3 TYPES DE NAGEOIRES

a. Les nageoires dorsales : sont situées à l'arrière. Un poisson peut en avoir jusqu'à trois. Les nageoires dorsales servent à protéger les poissons contre le roulement, et les aide à se tourner et à s'arrêter brusquement. Chez les Lophiiformes, la partie antérieure de la nageoire dorsale est modifiée en un Illicium, équivalente à une canne à pêche et un leurre. Les os qui soutiennent la nageoire dorsale sont appelés « pterygiophore ». Il y a deux à trois d'entre eux: «proximal», «moyen» et «distal». Chez les nageoires apophyses épineuses, le distal est souvent fusionné au moyen, ou pas du tout.

b. La nageoire caudale : est la queue du poisson, située au bout du pédoncule caudal. Les types de nageoire caudale: **(A)** - hétérocerque, **(B)** - protocerque, **(C)** - homocerque, **(D)** - diphycerque. La queue peut être **hétérocerque**, ce qui signifie que les vertèbres s'étendent dans un lobe de la queue ou que la queue est asymétrique.

Epicerque signifie que le lobe supérieur est plus long (comme chez les requins).

Hypocerque signifie que le lobe inférieur est plus long (comme chez les poissons volants).

Protocerque signifie que la nageoire caudale s'étend autour de la colonne vertébrale, présents chez l'embryon des poissons et les myxines. Il ne doit pas être confondu avec une nageoire caudale qui a fusionné avec la dorsale et anale pour former une nageoire contiguë.

Diphycerque signifie que la nageoire caudale possède trois lobes, comme chez le cœlacanthe et les protoptères où les vertèbres s'étendent tout jusqu'à l'extrémité de la queue. La plupart des poissons ont une queue homocerque, les vertèbres ne s'étendent pas dans un lobe et l'aileron est plus ou moins symétrique. Il existe une grande variété de formes :

- La nageoire caudale peut être arrondie au bout.
- La nageoire caudale peut être tronquée ou débouche sur un plus ou moins à la verticale de bord (comme chez le saumon).
- La nageoire caudale peut être fourchue, ou en deux branches.
- La nageoire caudale peut être échancrée, ou avec une légère courbe vers l'intérieur.
- La nageoire caudale peut être semi-lunaire, ou en forme de croissant de lune.

c. La nageoire anale : est située sur la face ventrale devant l'anus. Cette nageoire permet de stabiliser le poisson lorsqu'il nage.

d. La paire de nageoires pectorales : elles sont situées de chaque côté, en général juste derrière l'opercule, elles sont homologues aux membres antérieurs des tétrapodes. Une fonction particulière des nageoires pectorales, très développé chez certains poissons, est la création de la force de levage dynamique qui aide certains poissons, comme les requins, dans le maintien en profondeur et permet également la «fuite» des poissons volants. Les poissons volants ne battent pas des ailes, mais planent. Chez de nombreux poissons, les nageoires pectorales permettent de marcher, particulièrement chez certaines baudroies et chez les Périophthalmes.

Certains rayons des nageoires pectorales peuvent être en forme de doigts, comme les Triglidés et Dactylopteridés. Les «cornes» des raies manta et leurs proches, sont appelées nageoires céphaliques, ce qui est en fait une modification de la partie antérieure de la nageoire pectorale.

e. La paire de nageoires pelviennes ou nageoires ventrales : est située sous les nageoires pectorales, sur le ventre. Ils sont homologues aux membres postérieurs des tétrapodes. Les nageoires pelviennes assistent le poisson lorsqu'il va vers le haut ou vers le bas en pleine eau, se tourner brusquement, et s'arrêter rapidement.

Chez les gobies, les nageoires pelviennes sont souvent fondus en un disque servant de ventouse. Il peut être utilisé pour s'attacher aux objets.

f. La nageoire adipeuse ou nageoire molle : elle est en rayons mous, cette nageoire charnue se situe sur le dos, derrière la nageoire dorsale et juste avant la nageoire caudale. Elle est absente dans de nombreuses familles de poissons, mais se retrouve chez les Salmonidés, les characins et les poissons-chats.

Certains types de poisson rapide ont une quille caudale horizontale juste avant la nageoire caudale. Il s'agit d'une arête latérale sur le pédoncule caudal, généralement composée d'écailles, qui offre une stabilité et un soutien à la nageoire caudale. Il peut y avoir une quille unique jumelée, une de chaque côté, ou deux paires au-dessus et au-dessous.

g. Les pinnules : sont de petites nageoires, en général derrière les nageoires dorsale et anale (chez les Polypteridés, il ya des pinnules seulement sur la surface dorsale et pas de nageoire dorsale). Chez certains poissons comme le thon ou le balaous, n'ont pas de rayons, non rétractable et trouvés entre la dernière dorsale et/ou de la nageoire anale et la nageoire caudale.

Il y a un certain nombre d'espèces de poissons chez lesquels cette nageoire particulière a été perdu durant l'évolution **(www.techno-science.net).**

2.1.4 LES TÉGUMENTS

La peau des Poissons présente un épiderme sans couche cornée et un derme conjonctif avec des vaisseaux et des nerfs, sans muscles ni glandes, et entre les deux les formations de l'exosquelette. Les cellules de l'épiderme offrent de nombreuses assises ; elles sont vivantes et nucléées et entremêlées de cellules mucipares caliciformes qui sécrètent une matière huileuse protectrice (Téléostéens, etc.). L'exosquelette est constitué par des écailles qui couvrent le corps, par des os de recouvrement qui garnissent le crâne et parfois le corps tout entier, et par la ceinture scapulaire. Phylogéniquement il est plus ancien que le squelette interne, car les Poissons du Silurien et du Dévonien étaient tous cuirassés.

Quelques Poissons actuels, les Syngnathiformes (Hippocampes, etc.) et les Ostracion (= Poisson-coffre), Diodon (Poisson porc-épic), Trétraodon (Poisson-globe) et autres Plectognathes (Balistes, Poissons-lune) ont encore tout le corps couvert de plaques osseuses.

Les écailles existent chez tous les Poissons, à l'exception de certaines Anguilles et de quelques Poissons électriques. Elles sont implantées dans des cavités formées par le tissu conjonctif du derme et recouvertes par l'épiderme soit pendant toute la vie (Téléostéens, Dipneustes), soit pendant la vie embryonnaire seulement (Holostéens, Sélaciens). Leur développement est analogue à celui des dents : une papille dermique pénètre comme une cheville dans l'épiderme et se coiffe d'un capuchon épidermique; puis elle se sclérifie et se transforme en os ou en ivoire, pendant que la coiffe épidermique fournit l'émail. Les écailles ont fourni des caractères importants au point de vue de la classification des Poissons :

1° Les écailles placoïdes, spéciales aux Sélaciens, analogues aux dents par leur structure, offrant en leur milieu un tubercule saillant ou une épine; la substance fondamentale est l'ivoire; il y a une pulpe abondante, très vasculaire et riche en nerfs;

2° Les écailles ganoïdes, ce sont des plaques losangiques, sans cavité bulbaire, formées de tissu osseux recouvert d'une épaisse couche d'émail qui lui donne un aspect brillant. On les retrouve dans deux groupes : les Holostéens et les Chondrostéens.

3° Les écailles cténoïdes et 4° écailles cycloïdes, caractéristiques des Téléostéens et des Dipneustes; elles sont minces, et l'émail qui les recouvre, cessant de s'accroître, se dissocie en lames concentriques à leur surface.

Le derme, et pour certains ailleurs également l'épiderme, renferment des cellules pigmentaires étoilées ou chromatophores en rapport avec des filets nerveux, et susceptibles de modifier la coloration de la peau selon la couleur du fond de l'eau (Epinoches, Soles, Limandes, etc.). Le dépôt de pigment augmente au moment de la reproduction, du moins chez les mâles (robe de noce). Ajoutons que chez beaucoup de Poissons l'éclat nacré du tégument est dû à de nombreux cristaux de guanine juxtaposés et donnant lieu à un jeu de lumière analogue à celui produit par les réseaux; chez les Ablettes cet enduit est si abondant qu'on s'en sert pour la fabrication des perles artificielles **(www.cosmovisions.com)**.

2.1.5 LA PIGMENTATION

Les pigments possèdent de très nombreuses fonctions. Nous ne les envisagerons pas toutes ici, renvoyant le lecteur à d'autres articles pour le cas des pigments respiratoires et visuels, qui peuvent participer à la pigmentation du corps, mais dont la fonction principale est tout autre.

Il est possible de distinguer deux niveaux parmi les rôles de la pigmentation, un premier niveau qui concerne les animaux eux-mêmes, un second niveau qui concerne leurs relations avec les autres animaux (appartenant à la même espèce ou à des espèces différentes).

Les pigments d'un animal jouent certainement un rôle photoprotecteur. En absorbant les rayons ionisants, en particulier les rayons ultraviolets, ils évitent que ceux-ci provoquent des dommages dans les cellules sous-jacentes. Il est significatif à cet égard que l'exposition au soleil stimule la production de mélanine dans la peau humaine, et que de nombreux animaux (poissons, reptiles) présentent une pigmentation noire de la membrane périviscérale ou de membranes entourant les nerfs, structures particulièrement sensibles. On peut également penser que la pigmentation des œufs de nombreux animaux marins joue également ce rôle photoprotecteur. À côté de cette fonction, les pigments tégumentaires peuvent posséder une fonction thermorégulatrice, tout particulièrement chez les espèces qui présentent des changements de couleur physiologiques. En effet, une pigmentation sombre permet une absorption efficace des rayons solaires, alors qu'une pigmentation claire les réfléchit. On conçoit dès lors que les changements de couleur permettent de contrôler l'absorption de l'énergie lumineuse, et participent à la régulation thermique chez les poïkilothermes. La présence de pigments (mélanines) peut également dans certains cas assurer une protection mécanique : ainsi, on a pu montrer que, chez les oiseaux, les plumes noires sont plus résistantes à l'abrasion que les plumes blanches, et il semble que cela soit lié à la présence des pigments qui renforcent la structure de la plume.

Outre ces fonctions physiologiques, la pigmentation joue un rôle fondamental dans les relations de l'animal avec les autres animaux (fonction écologique). La pigmentation peut servir à rendre l'animal moins visible dans le milieu environnant. On parle alors de coloration cryptique, ou de camouflage, ce qui correspond soit à une coloration homogène, par exemple une couleur verte pour des animaux posés sur des feuilles (homochromie), soit à une livrée bigarrée, qui masque la forme de l'animal. La similitude entre l'aspect de l'animal et le milieu peut être très poussée, comme chez les poissons plats posés sur un fond sableux, et renforcée par la forme particulière de l'animal (homotypie des phasmes, papillons-feuilles...). La coloration/pigmentation peut au contraire être très voyante ; l'animal paré de couleurs vives attire alors l'attention. On parle dans ce cas de coloration sématique. On la rencontre par exemple chez des animaux non comestibles pour d'éventuels prédateurs, elle sert alors de signal avertisseur, facilement reconnaissable, à rôle répulsif (coloration aposématique). Il arrive qu'un animal comestible présente la même pigmentation qu'une espèce non comestible. Ce phénomène de mimétisme protège l'animal comestible, pour lequel on parle de coloration pseudosématique (plus précisément pseudoaposématique). Cette coloration voyante peut au contraire avoir un rôle attractif (coloration épisématique), dans deux cas bien distincts, soit pour favoriser le rapprochement des sexes par exemple chez les oiseaux et les poissons, dont les mâles ont des livrées aux couleurs vives en période de reproduction (coloration épigamique), soit chez des prédateurs ou des parasites, qui simulent ainsi un partenaire sexuel ou une proie (coloration épisomatique), **(Alain BOUTHIER, René LAFONT, « PIGMENTATION ANIMALE », Encyclopædia Universalis ou https://www.universalis.fr/encyclopedie/pigmentation-animale/Encyclopædia Universalis - Contact - Mentions légales - Consentement RGPD)**.

La peau est constituée de denticules (ou écailles placoïdes) dont la dureté a été utilisée déjà par les anciens pour polir toute sorte de matériaux. Ces écailles sont fermément implantées jusqu'au derme, se sont de véritables dents épidermiques avec une surface d'émail recouvrant une pulpe de dentine. Elles peuvent revêtir les formes les plus diverses, y compris chez une même espèce, selon la partie du corps qu'elles protègent. À ce côté du rôle de défense, la peau hérissée de milliers de denticules favorise l'écoulement de l'eau. Cet aspect de la mécanique des fluides a été par l'homme pour réduire la traînée sur les avions, bateaux et sous-marins, **(www.spa-rac.org).**

2.1.6 LA PEAU ET LES ÉCAILLES

La peau est une couche de tissus protecteurs (de tégument) contre les multiples influences du milieu extérieur. Chez nous, c'est aussi un organe excréteur de sueur. Les poissons ne transpirent pas, mais leur peau sécrète un abondant mucus, enduit visqueux, « glu » , qui contribue à favoriser leur glissement dans l'eau et qui constitue un préservatif, en particulier contre les infections et les parasites.

Il suffit d'observer le développement de la « mousse », sur le corps des poissons affaiblis ou trop manipulés, pour s'en convaincre. On voit parfois des places attaquées par le champignon correspondre exactement à la marque des doigts qui ont saisi et serré l'animal. L'intégrité de cette enveloppe muqueuse est également essentielle à la régulation aqueuse du corps. On sait, par exemple, que l'anguille prise en eau douce supporte bien l'eau de mer, mais qu'essuyée pour enlever la couche de mucus, elle meurt rapidement par l'effet de la salure. La plupart des poissons sont couverts d'une carapace souple, formée de

plaques minces imbriquées comme les tuiles d'un toit. Le plus souvent ces écailles sont lisses, ce sont des écailles cycloïdes, parfois elles sont plus ou moins couvertes d'aspérités fines qui les rendent rugueuses, ce sont alors des écailles cténoïdes, celles des perches, par exemple. L'esturgeon porte des plaques spéciales couvertes d'émail, qui ont la consistance des dents, ce sont des écailles ganoïdes.

Le nombre et la disposition des écailles sont sensiblement constants dans une espèce donnée. Ces caractères sont souvent employés dans la détermination. On compte par exemple les écailles le long de la ligne médiane des flancs.

Comme ces écailles sont d'habitude perforées, formant ensemble la ligne latérale, elles sont faciles à reconnaître. Pour dénombrer les rangées au-dessus et au-dessous de cette ligne, il est préférable de compter en suivant une oblique.

Les écailles sont des formations de la peau l'épiderme les recouvre. Leur intégrité est importante pour la santé du poisson. Quand elles sont accidentellement arrachées, elles se reconstituent si le poisson guérit. Le nombre des écailles ne varie guère au cours de l'existence, elles s'accroissent au fur et à mesure que le poisson grandit, puisque l'écaillure garde son aspect. Cet accroissement est saisonnier et fort ralenti en hiver. On l'observe aisément à la loupe sous farme de stries concentriques, nettement plus serrées quand elles se forment pendant la mauvaise saison. Une écaille se présente ainsi comme la coupe d'un tronc avec des anneaux d'accroissement annuels, chaque anneau correspondant à une année. L'évaluation de l'âge d'un poisson par ce genre d'examen s'appelle **la scalimétrie.**

La technique exige une grande habitude, les causes d'erreurs étant multiples; c'est pourquoi on parle de la » lecture » des écailles. Par exemple, une maladie, une blessure assez grave, en diminuant la vitalité de l'individu, ont pu arrêter sa croissance normale et il peut en résulter un anneau de plus. Ou bien le boril des écailles actées entamer par les frottements **(www.cosomovisions.com)**.

Les écailles jouent à la fois un rôle protecteur contre les agressions extérieures (physiques, infections, parasites) et un rôle de lubrifiant permettant d'améliorer la vitesse du poisson grâce au mucus sécrété par des glandes dont elles sont recouvertes. Elles sont imbriquées à la manière des tuiles d'un toit.

Le mucus, la substance gluante et collante qui recouvre les écailles du poisson, agit en tant que barrière contre les bactéries et les parasites, en les engluant littéralement afin de les empêcher de pénétrer sous la peau. Certaines matières dangereuses peuvent aussi partiellement être bloquées grâce au mucus : mais si le poisson est très irrité (parasite, pollution de l'eau), on voit alors se manifester une hypersécrétion de mucus, stratégie visant à le débarrasser de ces irritants en les rejetant en dehors du cuticule. Chez quelques espèces, les écailles sont très épaisses et forment des plaques osseuses alors que chez d'autres elles sont minuscules (anguilles) ou ont même disparu. Les écailles grandissent avec le poisson mais leur nombre n'augmente pas **(www.aquariophilio-pratique-net)**.

2.1.7 LES DENTS

La denture occupe une place capitale dans l'alimentation de la majorité des espèces animales, car c'est cette dernière qui est chargée de couper et de triturer la nourriture qui sera ensuite digérée. C'est d'ailleurs pour cette raison qu'il existe également des poissons avec des dents, mais, il est plus fréquent que les poissons avec des dents se nourrissent de viande ou de matière végétale car ils utilisent leur denture afin d'attraper leurs proies ou pour arracher certaines espèces de plantes. Même si la dentition est propre des poissons gnathostomes, ou poisson à mâchoire, il convient de souligner le fait que ce sont les poissons agnates, ou poissons sans mâchoires, comme la lamproie, qui ont été les premiers à développer des petites structures cornées qu'ils utilisaient pour attraper leurs proies et leur sucer le sang.

2.1.7.1 LES DIFFÉRENTS TYPES DE DENTS DES POISSONS

Selon la forme et la localisation des dents, celles-ci peuvent être classées en trois grands groupes :

- **Dents pharyngiennes** : elles se trouvent dans l'arc branchial du poisson et leur principal objectif est de protéger les branchies contre l'entrée de toute matière étrangère qui pourrait causer des dommages à l'animal.
- **Dents buccales** : elles sont localisées juste à l'intérieur de la cavité buccale. Selon l'espèce elles peuvent adopter différentes formes et certains poissons ont des dents de vomériens, qui sont situées sur le palais supérieur et qui permettent de triturer la nourriture.
- **Dents mandibulaires** : à la différence des précédentes, ces dents sont externes et on les retrouve sur le bord de la mâchoire des poissons. Selon les espèces de poissons, les dents mandibulaires peuvent présenter différentes formes. Ainsi, il est possible de distinguer **les dents viliformes**, qui sont caractérisées pour leur forme pointue et fine ; **les dents cardiformes**, similaires aux précédentes mais plus courtes ; **les dents canines**, de forme conique et pointue ; **les incisives, aplaties et biseautées** afin de pouvoir couper ; et **les dents molariformes**, plus plates, dont le but est de broyer et d'écraser les aliments.

2.1.7.2 EST-CE QU'IL EXISTE UN POISSON AVEC DES DENTS HUMAINES ?

Comme il existe de nombreux types de poissons dans les grandes mers et les océans, il est normal que vous vous demandiez s'il existe une espèce de poisson avec des dents humaines, et, de fait, sachez que OUI, il existe des poissons avec des dents humaines. Parmi ces nombreuses espèces il est possible de distinguer le Rondeau mouton (Archosargus probatocephalus), un poisson endémique du golfe du Mexique et de la côte occidentale de l'Atlantique. Ces animaux, appartenant à la famille Sparidae, mesurent environ 80 cm, ils peuvent peser jusqu'à 14 kg et ils ont un corps grisâtre et plat sur les côtés avec quelques bandes plus sombres. Néanmoins, ce qui attire l'attention chez le Rondeau mouton sont ses dents, car ces dernières sont grandes et plates et elles ressemblent à celles de l'être humain. Cette denture leur permet de se nourrir aussi bien de matière végétale (algues) que de petits animaux (mollusques et crustacés) car il s'agit de poissons omnivores. Il est inoffensif pour l'être humain et il est pêché dans certaines régions du globe afin d'être mangé. Archosargus probatocephalus n'est pas le seul poisson avec des dents humaines, car on sait qu'il existe d'autres poissons avec des dents aussi particulières. Parmi eux se trouve le célèbre poisson-baliste, qui vit dans de nombreuses mers et océans de la planète.

2.1.7.3 LISTE DE POISSON AVEC DES DENTS

Bien qu'il existe de nombreuses espèces de poissons filtreuses qui n'ont pas besoin d'une dentition pour se nourrir, il existe de nombreux spécimens de poissons avec des dents et avec différentes dentures. Voici une petite liste non exhaustive de poissons avec des dents :

- *Requin blanc (Carcharodon carcharias)*

Quand on pense à un poisson avec des dents, on pense directement aux requins blancs. Ce sont des gigantesques et incroyables poissons équipés de plusieurs rangées de dents surpuissantes. Les dents des requins blancs sont des canines, car elles sont coniques, pointues et capables de déchirer toutes leurs proies. Il convient de surligner le fait que la denture des requins a la capacité de se remplacer quand les dents sont usées ou quand elles tombent.

- *Potamotrygon brachyurus*

Ces rajiformes sont répartis, principalement, dans les rivières de l'Uruguay et du Paraguay. Ils ont une très petite bouche au niveau de leur ventre où se trouvent environ 25 rangées de petites dents. Ce sont des poissons benthiques et, grâce à leurs dents, ils peuvent capturer leurs proies.

- *Micropogonias furnieri*

Ce poisson d'eau salée à l'apparence commune se caractérise par une mâchoire forte et des molaires avec lesquelles il peut écraser les coquilles de ses principales proies, les mollusques benthiques. Il possède également de fortes dents pharyngées qui lui permettent d'écraser la nourriture et d'empêcher l'entrée de corps étrangers dans les branchies.

- *Le granulé (Pterodoras granulosus)*

Cette espèce de poisson avec des dents d'eau douce se caractérise par sa grande bouche dans laquelle se trouvent des petites dents buccales très fines et ordonnées en rangées qui leur permettent de se nourrir de nombreux crustacés, algues, mollusques, fruits, etc. Il a également une plaque au fond de la gorge constituée de dents pharyngiennes.

- *Carpe commune (Cyprinus carpio)*

Cette espèce d'eau douce originaire d'Asie est connue pour ses lèvres charnues avec deux barbillons de chaque côté. Elles possèdent des petites dents buccales et de remarquables dents pharyngées qui, comme la Micropogonias furnieri, leur permettent d'écraser la coquille de nombreux mollusques. La carpe commune est un poisson omnivore, puisqu'elle se nourrit à la fois de matières végétales et de nombreux petits invertébrés qui se trouvent dans les fonds.

- *Bagre blanc (Pimelodus albicans)*

Ce type de poisson avec des dents est caractérisé pour sa grande bouche où se trouvent des dents orales, des petites dents vomériennes qui forment deux plaques et des grandes maxillaires formant une seule rangée. Bien qu'il s'agisse d'un poisson omnivore, il a tendance à se nourrir d'autres poissons (ictiofagia).

- *Mandi (Pimelodus maculatus)*

Ce poisson est endémique des fleuves d'Amérique du Sud et il est caractérisé pour son corps aux couleurs jaunes. Il compte sur de nombreuses dents orales et mandibulaires, ces dernières étant viliformes et légèrement incurvées. Ces dents lui permettent seulement de capturer leur nourriture, car elles sont inutiles pour la broyer. Cependant, ces poissons ont aussi des dents pharyngiennes avec lesquelles ils aident à broyer les matières végétales et animales, car ce sont aussi des poissons omnivores.

- *Schizodon borellii*

Sa bouche est petite et elle présente juste 8 dents orales incapables de broyer leur nourriture. Dans la zone de l'arc branchial on retrouve également des dents pharyngées. Cette denture est adaptée à la consommation de matière végétale, car il s'agit d'un poisson herbivore qui consomme une grande quantité d'algues.

- *Tête-en-bas (Chilodus punctatus)*

Ce poisson avec des dents est endémique du fleuve Amazone, il est connu pour son corps aplati sur les côtés et pour ses tonalités grisâtres avec des petites taches noires sur toute la longueur de son corps. Le tête-en-bas a, principalement, des incisives qu'ils utilisent pour gratter les fonds marins afin de se nourrir.

- *Sparaillon (Diplodus annularis)*

C'est un poisson marin qui raffole des environnements rocheux à la dense végétation. Il présente un corps aplati et brillant avec une petite bouche où se trouvent des dents de type incisives et molaires. Grâce à ces dernières, le Sparaillon peut se nourrir de certains poissons, échinodermes, de vers, etc...

2.1.7.4 D'AUTRES POISSONS AVEC DES DENTS

La liste des poissons carnivores, herbivores ou omnivores est très longue, de sorte qu'il existe de nombreuses espèces de poissons avec des dents. Parmi elles on retrouve :

- Poisson-chat (Acanthodoras spinosissimus)
- Piranha (Serrasalmus brandtii)
- Poisson-perroquet bicolore (Cetoscarus bicolor)
- Corydoras areio
- Requin-taureau (Carcharias taurus)
- Leporinus obtusidens (Leporinus obtusiden)
- Chauliodon
- Rhinodoras dorbignyi
- Raie léopard (Aetobatus narinari)
- Requin-baleine (Rhincodon typus),...**(www.planeteaniamal.com).**

2.2 ANATOMIE INTERNE DES POISSONS

2.2.1 LE SQUELETTE

Le squelette interne reste cartilagineux chez les Poissons les plus archaïques, Sélaciens, Dipneustes, Chondrostéens; il est ossifié chez les Holostéens et surtout chez les Téléostéens.

2.2.1.1 COLONNE VERTÉBRALE

Chez les embryons de Poissons on observe une corde dorsale ou notocorde, entourée d'une gaine fibreuse ou couche squelettogène. La notocorde persiste toute la vie, mais la couche squelettogène ne se transforme que partiellement en cartilage et en tissu osseux. Chez les Chondrostéens et les Dipneustes, la gaine figure déjà le corps vertébral, toujours encore cartilagineux, de consistance fibrillaire; il existe ici un arc neural fermé de trois pièces dont la médiane est la neurépine, et un arc hiémal dont les pièces sont soudées dans la région caudale avec une hémépine sur la ligne médiane. Dans la région du tronc, les arcs inférieurs divergent et restent inclus dans la paroi dorsale de la cavité générale, tandis que dans la région caudale ils convergent, comme nous venons de le voir.

La réunion de ces arcades hémales forme un canal où passe l'aorte caudale. Chez quelques autres Chondrostéens et chez les Sélaciens, des pièces intercalaires réunissent les deux arcs neural et hémal, la notocorde se chondrifie et se divise en segments vertébraux; le corps vertébral est devenu alors biconcave et commence à se calcifier. Chez les Holostéens et les Téléostéens, la soudure est complète, tout est calcifié : les vertèbres sont toujours biconcaves ou amphicoeliques, la corde est étranglée à leur niveau, mais se dilate dans les espaces intervertébraux, et l'ensemble figure une sorte de chapelet. Il y a cepenant un Holostéens, le Lépidostée, qui a les vertèbres opisthocoeliques,c.-à-d. concaves en arrière et convexes en avant. La cavité des corps vertébraux est remplie d'une substance demi-fluide, à grandes cellules, restes de la corde dorsale. A tous ces Poissons s'applique ce que nous avons dit plus haut au sujet de la distinction à faire entre la région du tronc et la région caudale, c.-à-d. sur la manière dont se comporte l'arc hémal dans ces deux régions. Ajoutons que la région caudale du rachis présente, des aspects divers. Chez les Dipneustes, la notocorde s'étend en droite ligne jusqu'à l'extrémité du corps et s'y trouve entourée symétriquement par la nageoire caudale, formant la queue homocerque.

Chez tous les autres Poissons, le rachis subit une inflexion du côté dorsal, la nageoire caudale n'étant plus symétrique, et la queue est dite hétérocerque, et l'hétérocercie est extérieure (Esturgeon) ou intérieure (Brochet, Saumon, etc.), masquée quelle est alors par une symétrie apparente de la nageoire caudale. Enfin, dans le tissu conjonctif des myocommes, on observe la production de formations squelettiques, appelées arêtes, qui sont les unes l'analogue des côtes, s'articulant avec les arcades hémales, les autres des pièces accessoires produites par l'ossification des expansions aponévrotiques intermusculaires. Le sternum manque toujours, et lorsque les côtes se réunissent sur la ligne médiane, c'est au moyen de pièces qui dépendent de l'exosquelette (ceinturre scapulaire).

2.2.1.2 SQUELETTE DE LA TÊTE

Le squelette de la tête existe toujours chez les Poissons.

En somme, « chez tous les Poissons cartilagineux, le crâne est une boîte complète présentant un plancher et une voûte tout à fait continus et d'une seule coulée, sans aucune suture ni interruption. C'est à cet état qu'il se trouve chez les Cyclostomes [=Agnathes], chez les Sélaciens et même chez les Chondroganoïdes [=Chondrostéens]. Mais chez ces derniers apparaissent des formations nouvelles; ce sont des plaques osseuses, qui se développent dans le derme et forment un second plafond protecteur au-dessus du plafond cartilagineux. Ces os, à partir des Ganoïdes, vont se former partout. Il est clair que cette double protection est superflue, le plafond cartilagineux devient inutile, et, en effet, à partir des Poissons osseux, il ne se forme plus : quand, dans l'embryon des Téléostéens, le crâne, est encore à l'état cartilagineux, il se réduit à une cuvette, qui deviendra la base du crâne osseux; à cette période, le cerveau est uniquement protégé en dessus par une membrane qui fait corps avec le derme. Au moment de l'ossification, des centres d'ossification apparaissent en grand nombre, aussi bien dans la base cartilagineuse que dans la voûte membraneuse dermique et déterminent la formation d'un crâne osseux complet, mais il importe de bien mettre en relief la double origine des os du crâne, dont l'histoire des Poissons nous a révélé la raison d'être. Chez tous les Vertébrés, jusqu'aux Mammifères, la base du crâne est formée d'os de cartilage, la voûte d'os de membrane. Ce qui caractérise le crâne des Poissons osseux, c'est la multiplicité des os qui le forment; les îlots osseux provenant des divers centres d'ossification, au lieu de se sonder en larges pièces osseuses, comme chez les Vertébrés supérieurs, restent isolés, à l'état d'os séparés les uns des autres par des sutures. » **(Rémy Perrier, Cours de zoologie)**.

Le squelette viscéral de la tête est formé par une série d'arcs destinés à soutenir les parois de la bouche et des fentes branchiales; au point de vue phylogénique, ce système est plus ancien que le crâne, puisqu'on le trouve déjà chez l'Amphioxus, qui est acranien.

Enfin, chez les Poissons supérieurs, on distingue sept arcs viscéraux: 1° l'arc mandibulaire; 2° l'arc hyoïdien; 3° les arcs branchiaux, au nombre de cinq (sauf chez deux Sélaciens, l'Hexanchus, qui en a six, et l'Heptanchus, qui en a sept).

2.2.1.3 SQUELETTE DES MEMBRES

Chez l'embryon on trouve un repli cutané ininterrompu qui entoure la queue et se termine derrière l'anus. Dans le cours du développement, ce repli s'atrophie et disparaît sur certains points, tandis que sur d'autres, il forme des nageoires séparées les unes des autres et soutenues par des rayons; ce sont la ou les dorsales, la caudale et l'anale, nageoires impaires. Les rayons peuvent manquer dans la dorsale postérieure (Saumons); et peuvent être des stylets osseux, durs, épineux (Acanthoptérygiens), ou être composés d'une série d'osselets ramifiés par dichotomie, mous, flexibles.

Chez les Baudroies, les rayons antérieurs sont insérés sur le crâne et se prolongent en filaments; chez les Rémoras ou Echenois, les rayons sont déjetés de chaque côté et forment un disque aplati, porté par la tête, et qui, grâce à ses lames mobiles, petit adhérer aux corps étrangers. Les nageoires impaires sont soutenues par une série de pièces osseuses (os interépineux). Les pectorales, membres pairs, sont soutenues par deux os qui sont les analogues de l'avant-bras et sont eux-mêmes supportés par une ceinture osseuse suspendue au crâne par la clavicule, la supraclavicule et la postclavicule, ce qui assure aux pectorales une certaine constance dans leur position. Il n'en est pas de même des nageoires abdominales ou ventrales, parce que la

ceinture abdominale n'a de connexion fixe avec aucune autre partie du squelette. Placées primitivement dans la partie postérieure du corps, elles peuvent se rapprocher plus ou moins des pectorales, et même se placer au-devant d'elles. Le bassin est généralement formé d'une pièce unique. Quant aux nageoires mêmes, elles comprennent une partie basilaire, cartilage ou os, formant le squelette du membre, et une partie terminale constituée par des filaments cornés, rayonnants, disposés en éventail comme dans les nageoires impaires. Chez les Téléostéens, l'ossification de ces rayons est plus ou moins complète.

2.2.2 SYSTÈME MUSCULAIRE

Il se compose essentiellement d'une grande masse placée de part et d'autre du tronc et de la queue, formée de deux faisceaux entre lesquels se trouve un muscle grêle; de petits muscles comblent les intervalles que présentent les muscles latéraux.

Le mode de locomotion diffère selon la forme du corps; le principal agent de la natation, c'est la nageoire caudale qui fait office d'hélice; les pectorales et les abdominales servent plus au maintien de l'équilibre qu'à la propulon; enfin, les nageoires dorsale et anale jouent le rôle de gouvernail et déterminent la direction du mouvement. La vessie natatoire, sur laquelle nous reviendrons, et qui manque généralement chez les Poissons qui vivent au fond de l'eau, contribue au maintien de l'équilibre en sa qualité d'appareil hydrostatique.

Les muscles du corps du poisson sont sur les côtés, le long du tronc et de la queue. La plus grande masse musculaire court le long du dos, de chaque côté de la moelle épinière. Des petits muscles commandent les mouvements de la bouche, des branchies, des nageoires et des yeux. Certains poissons se propulsent par l'action de leurs nageoires, sans beaucoup de mouvements du corps.

Les muscles d'un poisson sont ordonnés en séries simples, emboîtées les unes dans les autres comme des cornets à sorbets. Cet emboîtement se remarque fort bien dans les conserves de thon ou de saumon. Leur jeu est peu compliqué. Il s'agit surtout de contractions alternatives à gauche et à droite, qui sont naturellement commandées par le système nerveux. A part les grosses masses musculaires, on observera les petits muscles insérés sur les baguettes osseuses qui supportent les nageoires; ils provoquent le redressement, l'écartement ou encore les mouvements souples et complexes, plus ou moins hélicoïdaux, des pectorales, par exemple.

Naturellement, des muscles relativement compliqués permettent les mouvements des mâchoires, le jeu de l'appareil respiratoire, le déplacement des yeux dans les orbites…

2.2.3 SYSTÈME NERVEUX

Le cerveau des Poissons est loin d'occuper toute la boîte crânienne; il est relativement petit et le tiers au moins de la cavité est occupé par du tissu conjonctif. D'ailleurs, les hémisphères cérébraux sont plus ou moins rudimentaires ; sauf chez les Sélaciens, dont le système nerveux est en général mieux développé que chez tous les autres Poissons, ils n'existent pour ainsi dire qu'à l'état d'indication, sous la forme d'une membrane épithéliale mince, qui n'a rien de la structure nerveuse et qui, sous le nom de manteau ou de pallium, forme le plafond du cerveau antérieur. En revanche, les corps striés, qui forment le plancher du cerveau, sont volumineux et constituent les ganglions dits basilaires. « Longtemps le manteau a passé inaperçu, et on décrivait alors les hémisphères cérébraux des Poissons qu'on confondait avec les ganglions basilaires » **(Rémy Perrier).**

Au-devant des hémisphères sont situés les lobes olfactifs très développés, soit ovoïdes, soit allongés en tractus, et qui constituent avec les organes précédents le protencéphale. Les couches optiques présentent un faible développement; les organes les plus importants de cette région, qui est le thalamencéphale, sont l'épiphyse et l'hypophyse, cette dernière accompagnée d'organes spéciaux aux Poissons et appelés lobes intérieurs ou latéraux et sacs vasculaires (sanguins). Le thalamencéphale est relativement développé chez les Sélaciens et les Téléostéens. Chez les Torpilles, les lobes latéraux font saillie sur la paroi du quatrième ventricule et constituent les lobes électriques. Le cerveau moyen ou mésencéphale offre deux tubercules bijumeaux, très nets chez les Sélaciens, énormes chez les Téléostéens; l'aqueduc de Sylvius y est toujours plus ou moins élargi. Le cervelet, qui constitue le métencéphale, est en général volumineux, lisse et non lobulé chez les Téléostéens, muni de circonvolutions et lobulé chez les Sélaciens. Chez ces derniers, le quatrième ventricule communique avec le myélencéphale ou fosse rhomboïdale, située au-dessous du cervelet et qui existe chez tous les Poissons. Notons encore que chez les Dipneustes et les Holostéens, le cerveau présente des rapports étroits avec celui des Batraciens : l'ensemble est allongé, le protencéphale et les lobes olfactifs prédominent (indice net de perfectionnement), les lobes inférieurs et les sacs vasculaires sont plus ou moins dégradés, le cervelet se réduit à une commissure transversale en avant de la fosse rhomboïdale, le mésencéphale et le cervelet forment un angle, une courbure à concavité centrale (flexion nucale) au niveau du point d'union du myélencéphale et de la moelle, et se trouvent placés à un niveau plus élevé que le reste de l'encépale.

La moelle est généralement bien développée relativement à l'encéphale; elle est cependant très courte chez quelques espèces telles que la Baudroie et le Poisson-lune. Les nerfs cérébraux sont d'ordinaire séparés, à l'exception du glosso-pharyngien et du spinal; le nerf moteur oculaire externe (Lamproie), le nerf facial (beaucoup de Téléostéens) peuvent n'être que des branches du trijumeau. Chez les Holostéens et les Sélaciens, les deux nerfs optiques forment un chiasma.

2.2.4 ORGANES DES SENS

2.2.4.1 ORGANE OLFACTIF

En général, les fosses nasales sont doubles et ne communiquent pas avec la bouche; chaque fosse possède deux orifices s'ouvrant tous deux à l'extérieur, sauf chez les Dipneustes dont les fosses nasales traversent la voûte palatine en arrière de l'extrémité du museau. Chez les Sélaciens, l'un des orifices est placé sur la commissure des lèvres.

2.2.4.2 OEIL

Sauf chez les Poissons les plus archaïques, l'oeil est très visible. Le cristallin est sphérique et la cornée presque plate ; il n'existe pas de muscle ciliaire et l'accommodation se fait par un mécanisme spécial : la chambre postérieure de l'oeil est traversée par un repli de la choroïde, le ligament falciforme, qui s'avance au milieu du cops vitré et s'y épanouit en forme de cloche (campanule de Haller) ; le ligament falciforme, très vascularisé, sert à la nutrition du corps vitré; le campanule de Haller, musculeux, détermine par ses contractions les changements de courbure da cristallin. La sclérotique est généralement incrustée d'os ou de cartilage. Les paupières manquent presque toujours; on trouve cependant chez les Sélaciens deux paupières et fréquemment une membrane clignotante ou nictitante, ainsi qu'un tapis.

2.2.4.3 ORGANE AUDITIF

Chez tous les Poissons l'organe de l'ouïe se réduit à l'oreille interne.

Celle-ci prend naissance, comme chez les autres Vertébrés, « par une invagination de l'exoderme, qui s'enfonce dans la profondeur, se renfle à son extrémité et modifie sa forme de façon à donner les diverses parties de labyrinthe membraneux. Primitivement ce labyrinthe est en communication avec l'extérieur par un petit canal, vestige de l'invagination première; mais à peu près toujours il se ferme; toutefois, chez les Squales, il reste ouvert à l'extérieur et garde sa disposition primitive. L'oreille reste très peu différenciée chez les Cyclostomes [= Agnathes], où il n'existe qu'un vestibule indivis et un canal semi-circulaire; partout ailleurs il existe un utricule avec trois canaux semi-circulaires, et un saccule, présentant déjà un petit diverticule, qui est le rudiment du limaçon. L'oreille interne est donc pour ainsi dire complète » **(R. Perrier).**

2.2.4.4 SENS DU GOÛT

Très peu développé, le goût a peut-être pour organe l'appareil très curieux que l'on désigne sous le nom de ligne latérale et qui est absolument spécial aux Poissons.

« C'est, dit R. Perrier, un sillon, courant tout le long du corps, sur-chacun des côtés, et se ramifiant sur la tête ; quelquefois le sillon se transforme en un canal qui communique avec l'extérieur par de nombreux orifices. Dans ce canal se trouvent des boutons nerveux qui sont innervés par une branche du nerf pneumogastrique, le nerf latéral. Bien qu'on ne puisse émettre à cet égard que des hypothèses, il est probable que ces organes de la ligne latérale servent à apprécier les qualités de l'eau ambiante. »

2.2.4.5 SENS DU TOUCHER

Il est certain que les barbillons qui parfois existent autour de la bouche sont en rapport avec le sens du toucher; il en est de même des filaments pêcheurs de la Baudroie, des lambeaux charnus des Rascasses, des doigts des Grondins, des barbillons jugulaires des Mulles, qui dépendent de l'appareil hyoïdien, enfin des divers appendices cutanés disséminés sur le corps.

2.2.5 APPAREIL DIGESTIF

Les Poissons sont pour la plupart carnivores, mais leurs dents sont loin de répondre à un même type. Elles sont extrêmement variables de siège, de forme et de nombre. Chez les Sélaciens, elles n'existent que sur les mâchoires. Dans d'autres groupes, elles peuvent siéger sur les os pharyngiens, sur le palais, sur les points les plus divers des parois de la bouche, et même sur la langue. En général, elles sont fixées à l'os sous-jacent par un os de rattachement. Absentes chez les Esturgeons

et les Lophobranches, elles peuvent se souder en plaques (Chimères, Myliobates), être disposées en mosaïques (certaines Raies), etc.

Les formes des dents varient à l'infini, depuis la dent large et plate jusqu'à la dent pointue et acérée ou fine et presque filiforme. Même variabilité quant à leurs dimensions et à leur nombre. De plus, les dents des Poissons ne servent pas toujours à la mastication; souvent elles ont pour but de retenir les aliments ou de les couper. Elles peuvent être remplacées quand elles sont hors d'usage, témoin les Requins qui ont derrière leurs dents robustes et coniques des séries de dents de remplacement couchées contre les maxillaires. La forme et la position de la bouche sont également très variables. La langue se présente comme un simple épaississement du plancher de la bouche, auquel elle est généralement soudée ; on ne la voit individualisée que chez les Sélaciens. Les diverses parties du tube digestif sont peu différenciées ; l'estomac, l'oesophage et l'intestin ne se reconnaissent guère que par leur structure histologique. La longueur de l'intestin est variable ; généralement assez court, il ne présente de circonvolutions que chez les Téléostéens. Chez les Sélaciens et quelques Holostéens existe une valvule spirale, comparable à un escalier tournant dans une tour de faible diamètre et destinée à multiplier la surface d'absorption. Quand ce repli fait défaut, il y est suppléé par le développement d'appendices pyloriques (un chez le Polyptère, jusqu'à 190 chez les Scomber), digitiformes et sécrétant un liquide analogue au suc pancréatique ; cependant le pancréas existe le plus souvent et s'observe nettement, surtout chez les Elasmobranches.

En revanche, il n'existe pas de glandes salivaires, mais le foie est constant et volumineux. « Chez les Cyclostomes [Agnathes] et les Dipneustes, chaque cellule de l'épithélium digestif est doué de la faculté de sécréter ; c'est une petite glande. Groupées en tubes dans l'estomac chez les Sélaciens, ces cellules forment des régions glandulaires plus distinctes encore dans le tube digestif des Poissons supérieurs » **(Aubert, Histoire naturelle des êtres vivants)**. Chez les Sélaciens, les Dipneustes et certains Holostéens le rectum débouche, en avant des conduites de l'appareil génito-urinaire, dans une cavité commune, le cloaque. L'anus est distinct chez les Téléostéens et la plupart des Holostéens et Chondrostéens. La vessie natatoire est une dépendance du tube digestif; nous y reviendrons plus loin.

2.2.6 APPAREIL RESPIRATOIRE

Les Poissons respirent au moyen de branchies : l'eau entre par la bouche, va baigner les branchies qui, grâce à leur structure lamelleuse, présentent une grande surface pour l'hématose, puis sort par les orifices branchiaux. La disposition est la plus simple chez les Sélaciens; l'appareil branchial comprend cinq paires de fentes branchiales, s'ouvrant au dehors de chaque côté du cou ; les cloisons qui les séparent sont soutenues par des arcs branchiaux ; sur les parois de chaque fente se développent les feuillets branchiaux, où viennent se ramifier les vaisseaux. Chez les Holostéens et les Téléostéens, les cloisons de séparation des fentes branchiales ont presque entièrement disparu, et il ne reste que les arcs branchiaux transformant le plancher buccal en une sorte de claire-voie ; sur ces arcs sont insérées de doubles rangées de longues lamelles branchiales, disposées comme les dents d'un peigne, et qui se trouvent ainsi à nu dans un espace largement ouvert, la chambre branchiale ou respiratoire. Cette chambre est protégée extérieurement par un opercule, formé par un repli cutané, libre en arrière, ossifié dans sa partie supérieure (battant osseux) qui s'attache à l'hyomandibulaire, membraneuse dans sa partie inférieure et soutenue par une série d'arcs (rayons branchiostège), dont la base s'articule avec l'hyoïde.

« L'espace compris entre l'arc hyoïdien peut, lui aussi, être percé d'une fente qui est l'homologue d'une fente branchiale ; on lui donne le nom d'évent ; elle n'existe que chez les Ganoïdes [Holostéens et Chondrostéens] et les Sélaciens ; encore ne présente-t-elle, pas le plus souvent de lamelles branchiales, et ne reçoit-elle que du sang artériel; elle n'est donc jamais fonctionnelle » **(R. Perrier).**

Chez les Dipneustes existe une respiration pulmonaire en même temps que la respiration branchiale. Chez eux la vessie natatoire est transformée en un véritable poumon qui communique avec le pharynx par une trachée munie d'une glotte.

La vessie natatoire, surtout fréquente chez les Holostéens et les Téléostéens, nulle chez les Sélaciens et quelques Poissons osseux, est, comme nous l'avons dit, une dépendance, un diverticule, du tube digestif et, au point de vue du développement, est l'analogue d'un poumon. Cependant sa situation est le plus souvent dorsale; à cet égard, le Polyptère fait exception ; chez lui elle est ventrale. Le sang qui y arrive artériel, en ressort veineux; elle ne joue donc aucun rôle dans la respiration. En revanche, elle est sans contredit un organe hydrostatique.

« Dans son état primitif, dit R. Perrier, elle communique avec l'oesophage par un canal, et cette disposition reste permanente chez les Ganoïdes et chez un certain nombre de Poissons osseux (Physostomes). Mais ce canal ne sert ni à la pénétration, ni à la sortie des gaz ; il n'est pas fonctionnel, et chez un grand nombre de Poissons osseux (Physoclistes), il se ferme et se transforme en un cordon plein ; la vessie natatoire est alors close.

On peut considérer les poumons des Dipneustes comme homologues de la vessie natatoire. Quand les branchies fonctionnent, ils sont placés exactement dans les mêmes conditions que cette dernière, au point de vue du circuit sanguin.

Chez quelques Ganoïdes ([Holostéens :] Lepisosteus, Amia) la vessie natatoire peut aussi servir exceptionnellement à la respiration. »

2.2.7 APPAREIL CIRCULATOIRE

Chez les Poissons, le coeur situé dans la région jugulaire est entouré d'un péricarde . qui peut communiquer avec la cavité viscérale (Sélaciens, Chondrostéens) et il est protégé par la ceinture scapulaire. Il est veineux, formé d'un ventricule et d'une oreillette qui a la tendance à se diviser en deux et se dédouble effectivement chez les Dipneustes, qui par là se rapprochent des Batraciens. L'oreillette communique avec le ventricule par un orifice valvule. Le ventricule se continue par un bulbe on cône artériel élastique, musculeux (Sélaciens, Chondrostéens, Holostéens, Dipneustes) ou par un court bulbe aortique (Téléostéens). Le bulbe aortique est muni chez le Protoptère et le Lepidosiren de valvules semi-lunaires disposées en spirales à l'instar des Batraciens. Au bulbe fait suite l'aorte ou mieux l'artère branchiale qui fournit les artères hypobranchiales par paires correspondant aux fentes branchiales et amenant du sang veineux dans les branchies.

A la sortie de celles-ci le sang est artérialisé et amené par les artères épibranchiales dans une paire de gros vaisseaux, les racines aortiques, qui s'anastomosent en avant en fournissant les vaisseaux de la tête et se fusionnent en arrière pour constituer l'aorte dorsale, qui fournit les vaisseaux du corps. Le système veineux se termine par quatre grandes veines, deux veines cardinales antérieures, qui ramènent le sang de la tête, et deux veines cardinales postérieures qui ramènent le sang du corps; les deux veines antérieure et postérieure de chaque côté se réunissent pour former le canal de Cuvier; enfin, les deux canaux de Cuvier débouchent dans le sinus veineux précardiaque, qui communique avec l'oreillette. Ce même sinus reçoit, en outre, la veine de Duvernoy et la grande veine hépatique, à la formation de laquelle concourt, avec d'autres, la veine porte hépatique. Un autre système porte est celui des reins, qui ne fait défaut que chez les Sélaciens; la veine porte rénale, de chaque côté, se jette dans les veines cardinales postérieures. On trouve parfois des coeurs accessoires sur la veine caudale (Anguille).

2.2.8 L'APPAREIL LYMPHATIQUE

En général, la lymphe suit les gaines périvasculaires des gros troncs sanguins, du bulbe aortique et du ventricule, Il existe, entre autres sinus, un sac lymphatique sous-vertébral qui entoure l'aorte et un autre sac mésentérique où débouchent les lymphatiques de l'intestin; ces deux sacs communiquent ensemble. On ne trouve de canaux fermés que sous les téguments. Il existe des replis valvulaires aux points où les veines reçoivent la lymphe; il y a des sinus lymphatiques pulsatiles, entre autres chez l'Anguille un véritable coeur lymphatique formé aux dépens du sinus postérieur et qui lance de la lymphe dans la veine caudale. La rate est constante chez les Poissons, quoique chez les Pleuronectes, les Sturioniens et les Sélaciens elle soit fragmentée. Le corps thyroide et le thymus sont presque constants.

2.2.9 APPAREIL URO-GÉNITAL

Les reins des Poissons sont représentés tantôt par une portion du pronephros, qui persiste plus ou moins longtemps après la naissance (Téléostéens), tantôt par le mésonéphros qui constitue le rein primitif permanent (Sélaciens, Holostéens, Téléostéens). Chez les Holostéens et Chondrostéens, la partie antérieure du rein, correspondant au pronéphros, disparaît rapidement et le rein véritable répond seulement au mésonéphros.

Chez les Sélaciens, les embryons présentent un appareil excréteur analogues aux néphridies ou organes segmentaires des Vers. Plus tard, les tubes segmentaires antérieurs se mettent en rapport, chez le mâle, avec le testicule et servent à l'évacuation des spermatozoïdes; la partie postérieure du rein conserve son rôle urinaire. Il résulte de là que les canaux de Wolf sont à la fois uretères et canaux déférents du mâle. Il faut remarquer que chez la femelle, la glande génitale est indépendante de l'appareil urinaire, et chaque canal de Wolf se trouve longitudinalement dédoublé en deux canaux parallèles, l'un servant d'uretère, l'autre d'oviducte qui a été appelé **canal de Müller**. Le rein des Téléostéens peut, avons-nous dit, représenter à la fois le pronéphros et le mésonéphros ; le premier disparaît dans la majorité des cas. Les reins sont généralement volumineux et s'étendent de la région abdominale jusqu'à la base du crâne; les deux reins peuvent se fusionner dans toute leur longueur (Truite) ou par places (Sardine) ; les reins présentent encore d'autres particularités de conformation sur lesquelles nous n'insisterons pas.

« Considérés dans leur structure, les reins sont caractérisés par le diamètre de leurs tubes urinifères, plus gros que chez les Vertébrés supérieurs. En outre, les glomérules de Malpighi sont moins nombreux et le peloton vasculaire s'y montre beaucoup plus simple. Des amas pigmentaires s'observent fréquemment dans la substance propre des reins. Les uretères naissent de la face ventrale et se réunissent généralement en un urètre; ce tronc commun peut porter une vessie urinaire qui ne saurait être assimilée à celle des Amniotes, car elle figure une simple dilatation des conduits urinaires (Tanche, Plie, etc.). Dans la plupart des types, l'orifice urinaire est distinct de l'orifice génital qui est placé en avant; parfois il existe une ouverture commune, urogénitale (Murènes, etc.) » **(Chatin)**.

2.2.10 LE SYSTÈME EXCRÉTEUR

Ce système possède 3 parties essentielles :

- L'anus qui sert à évacuer les excréments.
- Le pore urinaire servant à la sortie de l'urine.
- Les branchies qui évacue les substances azotées.

Dans tout être vivant, les produits de déchets du fonctionnement organique sont évacués, soit par les excréments, soit par les organes excréteurs qui sont principalement les reins et la peau. Les reins sont des bandes de tissus rouges sombres. Les produits solubles entraînés par le sang et destinés à être évacués (ce sont des dérivés de l'urée surtout) sont filtrés au niveau des pelotes de canalicules, appelées **glomérules de Malpighi**, et elles passent ainsi du sang dans l'urine.

Les glomérules des reins des poissons ont aussi et surtout pour fonction de régulariser la teneur en eau des tissus.

Chez le poisson d'eau douce, l'eau pénètre constamment à travers les tissus perméables (peau, branchies etc.) par le phénomène physique de l'osmose, qui est le passage du liquide du milieu où les sels sont le moins concentrés dans celui où la concentration est la plus forte. Cet apport d'eau constant est compensé par une extraction équivalente au niveau des reins. Le corps du poisson et les reins sont donc traversés par une sorte de lent courant d'eau et l'urine est abondante, beaucoup plus, relativement que celle d'un mammifère. Remarquons en passant que le sel ordinaire (chlorure de sodium) indispensable à l'organisme, peut pénétrer au niveau des branchies aussi bien qu'avec les aliments. Inversement, les poissons de mer plongés dans une eau beaucoup plus salée que leur sang, rejettent du sel et justement par les branchies. Les poissons capables de supporter les deux milieux (on les dit euryhalins) absorbent le sel par les branchies quand ils sont en eau douce et l'excrètent par les mêmes organes, en eau salée. Il est d'ailleurs probable que les poissons qui ne supportent pas ce passage (les sténohalins), meurent en partie par asphyxie consécutive aux désordres causés dans les tissus des branchies, tout autant que par leur incapacité physiologique de régler leur hydratation dans le milieu inaccoutumé.

Nous avons dit que la peau est aussi un organe excréteur. Les poissons ne transpirent pas, ils n'ont pas de glandes sudoripares. Mais l'excrétion peut se produire aussi sous forme de substances insolubles ou de cristaux, qui sont déposés et mis ainsi hors circuit, si on peut dire.

Si surprenant que cela paraisse, les couleurs des poissons et spécialement leur aspect argenté, résultent en partie du dépôt à la périphérie de telles substances dans des cellules appelées chromatophores. Ces cellules ne sont pas de vulgaires dépotoirs. Par un phénomène comparable à l'utilisation des restes ou des sous-produits dans l'industrie, ces déchets colorés qui sont des pigments, acquièrent des fonctions importantes. Les cristaux de guanine, par exemple, qui chargent certaines cellules et donnent aux poissons leur argenture, sont surtout abondants chez les espèces pélagiques et sont en rapport avec l'éclairage des couches superficielles de l'eau. Ils forment dans la peau des écrans protecteurs dans certains cas, ou font office de miroirs réfléchissants. Un autre pigment, la mélanine, qui est foncée, ou même noire, forme des écrans, absorbant peut-être les radiations utiles.

Les pigments colorés disposés en bandes ou en taches peuvent jouer un rôle analogue au camouflage. Les chromatophores bruns, jaunes ou rouges, sont des cellules en rapport avec des filets nerveux qui déclenchent l'étalement ou la condensation des pigments. Le poisson, selon les conditions, change ainsi de ton en quelques instants.

Les couleurs des poissons dépendent aussi de la sécrétion d'hormones qui, conjointement avec le système nerveux, provoquent l'étalement ou la condensation des pigments dans les chromatophores. C'est pourquoi, au moment de la reproduction, certains mâles surtout, mais aussi les femelles dans certaines espèces, présentent de si somptueuses « parures nuptiales ». On déclenche des parures passagères, au laboratoire, en injectant des hormones sexuelles ou même certains produits chimiques à des poissons au repos. A propos des couleurs chatoyantes des poissons, rappelons qu'ils ne possèdent pas de pigments bleus, ni de verts, ni violets.

Leurs teintes bleues résultent de la dispersion des rayons lumineux dans l'épiderm : sur un fond de mélanine noir, l'effet produit peut être un bleu intense ou un violet. Le vert, couleur si fréquente, résulte de la combinaison de ce bleu avec le pigment des chromatophores jaunes. Les irisations sont causées par le jeu des rayons lumineux sur les cristaux de guanine. C'est un phénomène physique identique à celui des irisations d'une bulle de savon ou d'une tache d'huile répandue sur une route mouillée.

2.2.10.1 LA RECHERCHE DE LA NOURRITURE

Les modalités de cette recherche sont très variables et les observations faites sur une espèce donnée ne sont pas directement valables pour une autre espèce, même voisine. On pourrait même signaler des écarts entre des races. On nourrit facilement les truites arc-en-ciel avec des aliments artificiels ; l'élevage des truites fario est considérablement plus malaisé. Un brochet ne chasse pas comme une anguille. Le premier chasse à vue, la seconde à l'odorat. Le brochet s'élance sur un vif ou sur un leurre mobile. Aveuglé, il se précipite encore sur une proie qui se déplace, mais il est incapable de s'en saisir tant qu'elle reste immobile Son attaque peut encore être déclenchée si on agite un appât près de lui; donc, il peut être guidé par les ébranlements de l'eau, mais aveugle, il mourra de faim à côté d'une abondance de proies inertes. L'anguille aveuglée, au contraire, découvre sans peine un appât immobile, parce que, comme un chien, elle chasse surtout à l'odorat. C'est en général l'odorat et le goût qui guident principalement les poissons de fond.

La plupart des alevins en eau calme en tout cas, se nourrissent de plancton, même si plus tard ils deviennent des rapaces. Mais tous les individus d'une même espèce qui ont subi les mêmes influences, se comportent sensiblement de la même façon.

2.2.10.2 LA VORACITÉ DES POISSONS

C'est presque un mythe, c'est en tout cas une exagération. Un animal a besoin de nourriture pour :

- Subsister.
- Conserver sa chaleur.
- Augmenter de taille.
- Mûrir ses organes reproducteurs.

De ces termes, le deuxième est quasi nul chez les poissons qui conservent sensiblement la température du milieu et le quatrième, qui est saisonnier, ne semble pas important.

Au contraire du poisson, un animal à sang chaud, un oiseau surtout dont la température reste voisine de 40 degrés, « brûle » beaucoup de combustible pour maintenir cette chaleur. Il faut donc logiquement s'attendre à ce que la ration alimentaire d'un poisson soit relativement faible : il n'y a guère de raison qu'il soit vorace. La ration quotidienne pour un homme normal représente 0,7 à 0,8% de son poids. On a calculé qu'elle n'est que de 4,5% en été, chez des carpes à l'engrais.

Un tel résultat est bien conforme à ce qu'on pouvait supposer, sachant que les besoins d'énergie des animaux sont inversement proportionnel à leur taille, et que la croissance des carpes d'élevage est fort accélérée. Pour un brocheton d'une année, la ration quotidienne s'est élevée à 3 ou 5 % quand la nourriture était du poisson blanc, à 11 ou 12% avec des gammares comme aliments. Douze pour cent pour un brocheton en pleine croissance, nous voilà bien loin du brochet qui mange son propre poids par jour. Pourtant, les recherches expérimentales ont établi la réelle voracité des alevins, dont les rations sont de l'ordre de 10 à12 %. L'appétit des poissons dépend assez étroitement de la température de l'eau et augmente avec elle jusqu'à un certain point.

A 18 degrés l'appétit des truites atteint un maximum, leur ration à ce moment peut représenter 10 %, leur croissance est alors remarquable.

Dans la nature, les poissons trouvent toujours dans leur nourriture les vitamines dont ils ont besoin. En pisciculture, avec l'alimentation artificielle, il importe de leur assurer un apport de ces substances indispensables. On voit encore fréquemment des élevages qui périclitent, tout au moins qui végètent, faute de cette précaution **(www.aquablog.fr)**.

2.2.11 LES SENS D'UN POISSON

L'odorat est sans doute plus développé que la vue. Presque tous les poissons possèdent une ou deux paires de narines. A l'intérieur se trouvent de multiples petites cavités recouvertes d'une membrane extrêmement sensible. Les narines ne communiquent pas avec la bouche et ne servent pas à la respiration. Les yeux sont placés latéralement et ne possèdent pas de paupières. Des expériences prouveraient que les poissons ont une mauvaise vision de loin. Le regard fixe des poissons vient du fait que leur pupille ne peut pas se contracter. Cependant, cette fixité leur permet d'avoir un large champ de vision.

a. La vue

On a longtemps prétendu que les poissons étaient sourds, on a admis qu'ils étaient aveugles aux couleurs, on leur a attribué un sens chimique spécial, remplaçant ou combinant le goût et l'odorat, on a imaginé les fonctions les plus diverses et les plus fantaisistes pour la ligne latérale. C'est dire l'importance des études scientifiques de laboratoire, lorsqu'il s'agit de départager les opinions divergentes et souvent contradictoires des observateurs. Sans ces expériences, on discuterait encore à perte de vue, même chez les spécialistes… Comme chez les mammifères, on observe des espèces dont la vue est excellente et d'autres qui sont pratiquement aveugles.

Quand même on aurait établi que l'œil de l'anguille est très déficient et qu'elle voit fort mal, on n'aurait pas le droit, pour autant, de contester que la truite soit capable de discerner les infimes détails de structure ou de couleur qui différencient une mouche sèche d'une autre.

b. L'œil

L'œil du poisson fonctionnant dans l'eau, c'est dans l'eau qu'il faut étudier ses qualités optiques. Sa lentille, le cristallin, est pratiquement sphérique et concentre les rayons visuels au maximum. Les images des objets se forment donc en avant de la rétine, le poisson est myope. Ce cristallin n'est pas déformable comme le nôtre, l'accommodation se fait exactement comme dans un appareil de photographie où la mise au point résulte du déplacement de l'objectif. Les images sont au point pour des objets très rapprochés, puisque l'œil est myope, mais l'accommodation permet la vue à distance. Le cristallin pour cela est tiré en arrière et rapproché de la rétine par un muscle spécial, le muscle lenticulaire, Quand ce muscle se relâche, la lentille revient en avant sous l'action de son ligament suspenseur. La rétine comprend des cônes et des bâtonnets, les premiers sensibles aux couleurs, les seconds à la quantité de lumière. Sa structure est moins fine que celle de notre rétine, on pourrait la comparer à du film ordinaire, tandis que nous disposerions de film à grain fin. La figure 10 donne une idée schématique des modifications des cellules rétiniennes selon la quantité de lumière qui les atteint.

Si la lumière est abondante, les cellules noires (P) s'allongent, les bâtonnets s'enfoncent en profondeur, les cônes restent à la surface. Dans la pénombre, les cellules noires se rétractent, les bâtonnets viennent en avant, les cônes se retirent en profondeur. Dans cette dernière situation, les bâtonnets sont disposés au mieux pour recevoir toute la lumière disponible. La vision des couleurs par les poissons est maintenant un fait bien établi. Les travaux de laboratoire ont confirmé que certains poissons, en tout cas, sont particulièrement sensibles aux radiations rouges ou orangées. Dans la lumière atténuée, la vision des couleurs diminue rapidement et en expérience les poissons ne discernent plus le rouge, par exemple, des diverses teintes de gris. On sait que la pénétration des diverses radiations dans l'eau est très différente.

Le rouge est absorbé le premier, c'est le violet qui pénètre le plus profondément. Cette pénétration des rayons varie considérable- ment, elle est très faible dans les eaux troubles ou chargées d'un abondant plancton. On sait que les rayons lumineux obliques sont réfractés au passage de l'air dans l'eau, et que les objets immergés ne sont pas exactement où on les voit de la rive, mais plus près qu'il ne semble et plus aplatis qu'en réalité. Passé une certaine obliquité, les rayons sont même réfléchis par la surface comme par un miroir et les objets dans l'eau deviennent invisibles.

Inversement, et pour la même raison, les objets sur la rive apparaissent au poisson aplatis, écrasés, déformés. A mesure que le poisson s'enfonce, une plus grande partie de ces objets lui deviennent invisibles. Pour un être aquatique, à une certaine profondeur, l'obscurité peut être complète alors que le soleil brille encore à l'horizon, parce que les rayons trop obliques ne pénètrent plus dans l'eau. Il convient peut-être d'observer encore que la plupart des poissons d'eau douce ont les yeux très latéraux et que leur champ de vision binoculaire est faible ; or, c'est par vision binoculaire que nous apprécions vraiment bien les profondeurs et que les objets s'individualisent.

En revanche, les poissons voient tout autour d'eux, leur angle de vue approchant du cercle complet, puisqu'il atteint au moins 300 degrés. S'accroupir sur la rive pour demeurer invisible est une bonne tactique, mais celui qui croirait surprendre un poisson en approchant par derrière se tromperait grossièrement.

c. L'audition d'un poisson

Entendre, c'est éprouver les impressions (les sons et les bruits) qui résultent de l'ébranlement de l'air, de l'eau ou d'une matière solide. Pour entendre dans l'eau une parole prononcée dans l'air, il faudrait que l'agitation minime de l'air se transmette à la masse liquide, ce qui ne se produit qu'à peine. Au contraire, le bruit produit par les sabots sur le fond d'un bateau, ou même celui des pas sur une berge, se communique facilement à l'eau. Pour juger de l'ouïe des poissons, il importe donc de s'assurer que les ondes sonores parcourent réellement le liquide où ils baignent.

Moyennant cette précaution, il est facile de prouver que les poissons entendent, et même fort bien, et réagissent avec une grande vivacité, d'autant plus que les sons circulent dans l'eau trois fois plus vite que dans l'air. Les expériences de divers auteurs ont montré des différences sensibles, selon les espèces, et même des écarts notables entre les individus d'une même espèce. Les cyprinidés sont particulièrement doués: ils entendent les vibrations correspondant aux sons musicaux ordinaires d'un orchestre (de 16 à 5000 vibrations environ) et distinguent les écarts d'un ton ou même d'un demi ton, ce qui est remarquable.

Les poissons n'ont que des oreilles internes. La figure 11 montre l'aspect d'un de ces organes. Leur oreille comprend deux parties. En haut sur la figure, la partie triangulaire qui porte trois tubulures, représente l'utricule et ses trois canaux semi-circulaires. C'est l'organe essentiel de l'équilibre. En bas sur la figure, l'appendice inférieur ovale représente le véritable centre

de l'audition, c'est le saccule, avec à droite la lagena, comme une sorte de petit bourgeon. Ce bourgeon répond à ce que nous appelons le colimaçon dans notre propre oreille. L'appareil auditif est donc rudimentaire comparé au nôtre, aussi les poissons n'ont-ils pas la finesse de notre ouïe, notre capacité remarquable de discerner d'infimes écarts de tons et, surtout, de situer dans l'espace les bruits perçus. En revanche, leur organe équilibreur avec ses canaux semi-circulaires, atteint des dimensions relativement considérables.

C'est de cet organe que partent les influx nerveux qui règlent automatiquement les mouvements nécessaires à l'équilibre. Commandes nerveuses d'une précision et d'une rapidité remarquables, si l'on songe à l'instabilité d'un courant violent ou d'un remous.

d. Le sens de la pression

Nous sommes incapables d'imaginer en quoi consiste ces sensations, pour la même raison qu'un aveugle-né ne peut pas se représenter les couleurs. Certes, nous ressentons l'augmentation de la pression de l'eau en descendant en profondeur et surtout, nous éprouvons des bourdonnements d'oreilles et des malaises en remontant trop vite, mais alors ce sont déjà des troubles fonctionnels. Les poissons, au contraire, sont pourvus d'appareils qui enregistrent les variations de pression. Ce sont la vessie natatoire et chez les cyprinidés, chez les loches et quelques autres, l'appareil de Weber.

La vessie natatoire des poissons est un stabilisateur hydrostatique, comparable au ballon qu'un aéronaute gonfle pour une ascension et dégonfle pour redescendre.

Chez les physoclistes, la vessie est close et le gaz qui la remplit est sécrété par une glande spéciale, la glande gazeuse. Quand l'air de la vessie est en excès, il peut être résorbé par un autre organe, l'oval, où cet air se dissout dans le sang. Glande gazeuse et oval sont faciles à observer chez la perche, par exemple. Chez les poissons physostomes, la vessie communique avec l'oesophage par un mince canal pneumatique. Au besoin, un poisson de ce groupe peut venir à la surface gober de l'air et en tout cas, si la pression de la vessie est excessive, il peut rejeter l'excès de gaz sous forme de bulles, par la bouche, ce qui a pour résultat de l'alourdir et de lui permettre de s'enfoncer. Mais la vessie n'est pas seulement un stabilisateur, c'est aussi un organe récepteur sensible à In pression. C'est du moins le cas chez les poissons qui possèdent les osselets de Weber.

L'appareil de Weber est constitué par une chaîne de petits os, par laquelle la vessie communique avec l'oreille interne. L'analogie entre ces osselets et ceux de notre oreille moyenne est frappante et malgré leur origine toute différente, on leur a donné les mêmes noms. Les cyprinidés, les siluridés, qui possèdent cet appareil ont l'ouïe particulièrement fine. Peut- être la vessie fonctionne-t-elle comme organe de résonance? En tout cas, par ce dispositif, la vessie transmet à l'oreille les variations de pression. Les loches ont aussi des osselets, mais leur vessie natatoire est très particulière. Elles sont réputées pour avoir un sens très délicat des variations de la pression atmosphérique, elles se tiennent en effet à des niveaux différents selon les fluctuations du baromètre, se rapprochant de la surface quand la pression baisse. Elles doivent certainement cette sensibilité à la constitution spéciale de leur vessie.

e. Le sens vibratoire

Encore des sensations dont nous ne pouvons pas plus imaginer la nature que celles fournies par la ligne latérale. Le système de la ligne latérale est une spécialité des poissons. Seules, parmi les vertébrés, les larves de batraciens le possèdent aussi. C'est un appareil d'animal aquatique. Il s'agit d'un système de canaux, dont le plus évident est celui qui court le long des flancs et qui s'ouvre par une série de pores creusés dans les écailles. C'est la rangée de ces orifices qui constitue de chaque côté du corps, la ligne latérale. Le canal latéral se prolonge dans la tête par un petit nombre de canaux, en particulier le long des mâchoires et au-dessus des yeux.

On peut facilement observer à la loupe les pores correspondant à ces canaux céphaliques. Tout le long des canaux, des cellules sensibles sont groupées en bourgeons sensoriels. Elles sont innervées par des rameaux du nerf latéral et, pour celles de la tête, du nerf facial.

La ligne latérale renseigne les centres nerveux sur la position du corps dans le milieu et par rapport aux obstacles situés à une certaine distance. C'est aussi grâce surtout à ce système que le poisson ressent les mouvements de l'eau, les courants, les vaguelettes, les ébranlements. C'est en quelque sorte un sens intermédiaire entre le toucher et l'ouïe; on l'a comparé à un toucher à distance. Chez les poissons sans écailles, les organes sensibles de la ligne latérale peuvent être à fleur de peau et, par conséquent, en contact direct avec l'eau. Il semble que dans ce cas, la sensibilité aux vibrations soit particulièrement fine. Cependant il y a aspect pouvant monter au microscope, des cils sensibles de la ligne latérale. Sollicités par les déplacements et les vibrations de l'eau, ils s'inclinent dans le sens du courant, provoquant de ce fait une excitation du nerf.

f. Le sens du toucher

La peau nue ou couverte d'écailles n'est pas insensible, bien au contraire, mais l'analyse des sensations cutanées est difficile. Si des terminaisons nerveuses spécialisées enregistrant des impressions de douleur existent, on ne les a pas mises en évidence. Affirmer que les poissons souffrent de leurs blessures est aussi gratuit que de prétendre le contraire. Tout ce qu'on peut dire, c'est qu'une lésion, même grave, ne provoque que des réactions défensives banales et peut ne pas couper le moins du monde l'appétit du poisson. En revanche, il y a une analogie frappante entre les déplacements éperdus d'un poisson dans l'eau formolée par exemple, et les gestes déments d'un individu brûlé et » fou de douleur « . Le sens du toucher existe à coup sûr chez les poissons. Il est probablement délicat sur les parties ventrales des espèces qui se posent sur le fond.

g. L'odorat et le goût

Contrairement à ce qu'on prétend encore souvent, les poissons, comme nous, sont doués de ces deux sens. C'est une erreur que de parler d'un unique sens chimique. Il s'agit bien, chez eux aussi, de deux ordres de sensations, preuve en soit la différence des organes qui les reçoivent et surtout la localisation cérébrale des centres qui les enregistrent. Le centre de l'odorat est logé dgé dans la partie la plus antérieure du cerveau, le lobe olfactif, qui représente chez eux l'essentiel du cerveau antérieur.

Comme nous sommes mal dotés quant à l'odorat, nous avons grand-peine à imaginer en quoi consistent ces sensations quand elles sont subtiles ; en tout cas, les poissons peuvent sentir les parfums solubles dans l'eau, mais nous sommes mal renseignés sur leurs capacités dans ce domaine. Elles varient certainement beaucoup selon les espèces, il suffit pour s'en convaincre de comparer leurs fosses nasales. Les espèces à l'odorat subtil ont des narines à double ouverture, dont un des orifices est parfois porté au sommet d'un appendice. Chaque narine dans ce cas s'ouvre dans une vaste loge occupée par un organe olfactif formé de nombreuses lamelles. Les poissons à vue aiguë n'ont au contraire que des fosses nasales simples, presque sans replis.

Les prédateurs chassant à l'odorat, possède en revanche de longues narines, dont le premier orifice est près de la pointe du museau et le second proche de l'œil. Notons que les poissons ont des fosses nasales closes, sans communication avec la bouche.

Quant au goût, il est chez nous localisé dans la bouche et surtout sur la langue. Rien de tel chez les poissons qui ont des bourgeons du goût sur les lèvres, sur les barbillons, autour de la bouche, sur la tête et même, pour certains d'entre eux qui ont la peau nue, jusque près de la queue. Nous ne pouvons goûter un aliment qu'en l'amenant à, la bouche, les poissons goûtent à distance.

La raison en est simple : les poissons baignent dans un liquide où les substances sapides peuvent diffuser et les particules émanant d'une matière en dissolution peuvent atteindre à une certaine distance les bourgeons sensoriels de l'animal.

Les sensations gustatives peuvent donc venir des alentours. Pour analyser les différences entre le goût et l'odorat, on peut expérimentalement boucher les narines ou sectionner les nerfs olfactifs. On constate alors que les substances sapides n'attirent le poisson qu'à courte distance, les odeurs l'attirant de beaucoup plus loin. Les impressions de goût sont fort importantes chez certaines espèces, en particulier chez celles qui se nourrissent sur le fond. La preuve en est fournie indirectement par le développement considérable, chez ces espèces, des centres gustatifs situés au niveau du bulbe rachidien.

h. Interaction des organes des sens

Les réactions des poissons aux impressions multiples émanant du milieu sont extrêmement complexes et difficiles à analyser. C'est d'ailleurs ce qui rend la pêche si attrayante, malgré l'intelligence très limitée du poisson. Celui-ci, comme tout animal sauvage, conscient ou non, agit avec une extrême circonspection, étant toujours partagé entre des impulsions contraires. On peut admettre que, malgré les apparences, tous ses sens sont alertés au moment où il attaque ou quand il s'enfuit.

Une truite approchant d'une mouche noyée peut être attirée par sa couleur et sa forme, et retenue par l'allure insolite de son déplacement. Nous n'avons aucune idée de certaines des sensations qui peuvent, à l'occasion, entrer en ligne de compte, de raisons inanalysables peut-être. Les poissons goûtent souvent leurs aliments et rejettent ce qui ne leur convient pas. Ainsi, plusieurs sens interviennent conjointement ou successivement dans le choix de leur nourriture. Ces animaux ont des façons d'agir assez constantes pour chaque espèce **(www.aquabase.fr)**.

2.3 CLASSIFICATION DES POISSONS

La science qui étudie les poissons s'appelle l'ichtyologie (du grec ichty = poisson et logos = étude). Les scientifiques ne considèrent pas les poissons comme un groupe naturel et les divisent en 4 groupes :

- Les poissons sans mâchoires : **1. agnathes** (~70 espèces)

- Les poissons avec mâchoires (gnathostomes) : **2. cartilagineux** (chondrichtyens) : (~700 espèces), les poissons osseux (ostéichtyens) : plus de 25 000 espèces. Parmi ces poissons osseux,on a : **3. sarcoptérygiens** (nageoires rayonnées) et **4. actinoptérygiens** (nageoires charnues).

2.3.1 LES POISSONS SANS MÂCHOIRES (AGNATHES)

Ce sont des poissons primitifs , dont ne subsistent plus que deux groupes :

- Les lamproies
- Les myxines

2.3.2 LES POISSONS AVEC MÂCHOIRES (GNATHOSTOMES)

Ils sont subdivisés en deux catégories :

a. Les poissons cartilagineux : (trois groupes), essentiellement marins et souvent prédateurs :

- Les requins
- Les raies
- Les chimères

b. Les poissons osseux :

Ils constituent le groupe de poissons le plus vaste et le plus varié, dont on distingue notamment :

- Les poissons à nageoires charnues : dipneustes et coelacanthes.
- Les poissons à nageoires rayonnées primitifs : esturgeons.
- Les autres poissons à nageoires rayonnées, à savoir :
    - Les poissons à langue osseuse : notoptère
    - Les anguilles et tarpons
    - Les harangs et alliés
    - Les poissons-chats, les carpes et alliés
    - Les poissons-dragons et alliés : poissons abyssaux
    - Les poissons-lanternes et alliés
    - Les morues et baudroies
    - Les poissons à rayons épineux : poisson-clown, poisson-ange, perche.

N.B : La classification des poissons a changé au cours des années : elle évolue en fonction des résultats des recherches scientifiques **(Daniel Thurre & Christiane Kurth)**.

2.3.3 CARACTÉRISTIQUES DE LA FAMILLE DE CICHLIDAE

Les poissons de cette famille sont les plus utilisés en pisciculture africaine et malgache, à cause de leurs nombreuses qualités:

- Chair de bonne qualité ;
- Rusticité et résilience ([8]) ;
- Reproduction toute l'année en étang dès que la température est supérieure à 20°C ;
- La facilité de manipulation.

Leur principal défaut est de ne pas toujours avoir une croissance rapide. Un second défaut est dû à leur reproduction très importante qui surcharge les étangs et ne permet donc pas aux poissons de croître rationnellement **(Eric Lacroix, Pisciculture en zone tropicale).**

2.3.4 CARACTÉRISTIQUES DE TILAPIA NILOTICUS

Ses caractéristiques principales sont :

- Une croissance rapide : de 1 et jusqu'à 3 g /jour /individu dans de bonnes conditions. Il peut atteindre 3,5 kg de poids total.
- Une reproduction aisée et rapide ; incubation buccale avec nid en cuvette, mais modérée pour un tilapia.
- C'est préférentiellement un microphage mais il assimile facilement divers aliments : son de riz, tourteau, déchets d'abattoir. Les alevins ont une tendance micro carnivore et même cannibale. On peut dire qu'il est omnivore en étangs.
- Une bonne chair, appréciée. De plus, c'est une espèce rustique, facile à manipuler et son hybridation est possible.
- Il est disponible localement.
- Il supporte une légère salinité (5 à 15 pour mille), ce qui réduit cependant la reproduction et gène la croissance.
- Une reconnaissance aisée grâce aux rayures caudales. Mais il faut faire attention aux hybrides **(Eric Lacroix, Pisciculture en zone tropicale)**.

2.3.5 CARACTÉRISTIQUES DE LA FAMILLE DE CLARIDAE

Les poissons chats Siluriformes forment un groupe diversifié de poissons à nageoires rayonnées. Nommé pour leurs éminents barbillons, qui ressemblent à des moustaches de chat, l'ordre est particulièrement diversifié dans la taille des espèces et le comportement des trois plus grandes espèces, le poisson chat géant du Mékong, le panga, de l'Asie du Sud-Est, le silure de l'Eurasie... L'ordre des Siluriformes comprend 33 familles, environ 400 genres et plus de 310 espèces dont 1200 vivent en Amérique. Le régime alimentaire est très variable aussi : détritivore avec des espèces qui mangent la matière morte et détritique sur le fond, herbivore à carnivore, et la plupart sont algivores. Il existe plusieurs types de poissons chats "blindés" et il y a aussi des types nus, sans aucune écaille. La grande majorité des grandes espèces est constituée de redoutables prédateurs et leur introduction, accidentelle ou intentionnelle, dans un milieu naturel non indigène les amène souvent à devenir une espèce envahissante et indésirable.

Les membres de l'ordre Siluriformes sont définis par des caractéristiques du crâne et leur vessie, la vessie natatoire. Les poissons chats sont d'une importance commerciale considérable; bon nombre des plus grandes espèces sont d'élevage en aquaculture ou pêchés pour la nourriture. Beaucoup de petites espèces, en particulier le genre Corydoras, sont importantes en aquariophilie. Beaucoup de poissons chats sont nocturnes, mais d'autres sont crépusculaires ou diurnes (les Loricariidés Loricariidae ou les callichthyidésCallichthyidae par exemple). Ils vivent dans des environnements d'eau douce et la plupart habitent l'eau douce courante peu profonde.

En tant qu'adjectif, Siluriforme désigne une forme, une morphologie de poisson, essentiellement d'eau douce mais cela peut s'appliquer à des poissons marins, généralement des poissons tels que le silure, le loricaire, le poisson chat.

Les Siluriformes (avec majuscule et au pluriel) forment un ordre regroupant tout un ensemble de poissons vivant le plus souvent proche du substrat, sur le benthos **(www.aquaportail)**.

Ces grands poissons Clariidae sont des Siluriformes, une forme de poisson chat, dont le premier enregistrement fossile date du Pliocène inférieur. Leur distribution géographique est étendue, en Afrique et dans le sud et l'ouest de l'Asie (Philippines à Java). La famille des clariidés comprend environ 100 espèces appartenant à 16 genres. Ils sont communs en Afrique et au Moyen-Orient, ainsi qu'en Asie du Sud et de l'Est. Une des caractéristiques morphologique de la famille est de présenter des poissons avec une nageoire dorsale s'étendant sur une grande partie de la longueur du corps. Une particularité de cette famille de poissons est constituée par les organes supra-ramifiés (élargissement superficiel bien perfusé de la muqueuse pharyngée au-dessus des arceaux branchiaux dans le but d'utiliser de l'air-oxygène). Cette adaptation leur permet de survivre même dans des habitats pauvres en oxygène. Certaines espèces peuvent parcourir de courtes distances par voie terrestre. En conséquence, et à travers l'air qui respire, le poisson-chat à branchies peut basculer d'un étang à l'autre. Les caractéristiques communes incluent : la longue nageoire dorsale, qui couvre presque tout le dos, l'absence d'une première épine saillante, les larges ouvertures des branchies et quatre paires de barbillons **(googleweblight.com)**.

2.3.6 CARACTÉRISTIQUES DE CLARIAS GARIEPINUS

C'est le Clarias gariepinus, une espèce de la famille des Claridae.

Ses caractéristiques principales sont :

- Une bonne connaissance par les populations. Sa croissance est exceptionnelle : 3 g /individu /jour et plus, mais on regrette sa difficulté de reproduction. La taille maximale observée personnellement : 1,2 mètres à Bouaké.
- Une reproduction délicate nécessitant une installation spéciale et une certaine connaissance. On peut récolter des alevins dans le milieu naturel à petite échelle.

- Un régime omnivore à tendance benthique: il prospecte la vase et avale tout ce qui peut être mangé, ainsi que le son, les déchets, les tourteaux etc. Il a une tendance ichtyophage (attention aux tailles respectives des juvéniles et des prédateurs).
- Une grande rusticité, il supporte une forte promiscuité (10 poissons/ m2), ainsi que les cages. Il remue beaucoup le fond, ce qui trouble l'eau et peut gêner d'autres espèces associées dans le même bassin. Grâce à sa respiration aérienne et son corps anguilliforme, il peut se déplacer d'un bassin à l'autre, ce qui nécessite une barrière ou des berges à pente forte. C'est un bon prédateur.
- On en trouve partout au Bénin et au Sénégal. Il se reproduit lors des crues. Il est courant aussi dans le Sud-est asiatique.
- Il supporte des eaux chaudes et peu oxygénées ce qui est un grand avantage pour l'aménagement de pièces d'eau peu profondes **(Eric Lacroix, Pisciculture en zone tropicale).**

2.4 ÉCOLOGIE GÉNÉRALE DES POISSONS

2.4.1 REPRODUCTION

2.4.1.1 GONADES

Comme les autres Vertébrés, les Téléostéens sont typiquement unisexués. Pourtant, dans quelques groupes, existe un hermaphrodisme plus ou moins régulier. Par exemple chez les jeunes Anguilles, bien avant la maturité sexuelle, la gonade comporte dans des portions différentes de grosses ovogonies et des spermatogonies bien plus petites. Bientôt, une de ces catégories cellulaires régresse, tandis que l'autre poursuit son évolution. On a donc affaire à un hermaphrodisme transitoire, juvénile, qui n'est jamais fonctionnel. Dans quelques familles (Sparidés, Serranidés), l'hermaphrodisme est la règle, chez certaines espèces au moins. La gonade est un ovotestis comportant des portions mâles et des portions femelles distinctes. Chez certains Serranidés, la maturation simultanée des deux portions de la glande a été observée, et la possibilité d'autofécondation peut être envisagée.

L'appareil génital des Téléostéens est simple comparativement à celui des autres Vertébrés. Les gonades paires (testicules ou ovaires, exceptionnellement ovotestis) sont logées au plafond de la cavité générale et y occupent un volume très variable suivant les espèces et surtout suivant la période du cycle sexuel, contrôlé par des facteurs internes (hypophyse en particulier), mais soumis également à l'action de facteurs externes (température, photopériode...). Les conduits génitaux (cf. appareil génital) sont de simples prolongements des gonades, qui n'ont rien à voir avec les canaux de Müller (pour la femelle) ou de Wolff (pour le mâle) qui habituellement chez les Vertébrés donnent naissance aux oviductes et aux canaux déférents. Les deux canaux symétriques, comme les uretères, se réunissent avant de s'ouvrir par un pore génital médian ventral distinct ou confondu avec le pore urinaire en arrière de l'anus. Chez certaines espèces, les œufs ou les spermatozoïdes, libérés dans la cavité abdominale, sont recueillis par de courts entonnoirs génitaux qui débouchent au pore génital. Les gonades des Téléostéens, comme celles des autres Vertébrés, associent à leur fonction d'élaboration des produits génitaux une activité hormonogène qui contrôle la vie sexuelle et détermine éventuellement les caractères sexuels secondaires **(www.universalis.fr).**

2.4.1.2 SEXE-RATIO

Le sexe-ratio ou sex-ratio (nom masculin[1] ou féminin[2], souvent abrégé en « SR»), encore appelé rapport des sexes ou rapport de masculinité, est le rapport du nombre de mâles et de femelles au sein d'une espèce à reproduction sexuée, pour une génération, ou dans la descendance d'un individu. C'est un indice biologique important, car la proportion de mâles et de femelles peut affecter le succès reproductif. Chez certaines espèces, le sexe-ratio peut être un indicateur de la température du milieu d'incubation (par exemple, les tortues, chez lesquelles le sexe ratio est fortement influencé dans l'œuf par la température) ou de l'exposition à des polluants qui sont aussi des perturbateurs endocriniens.

On distingue **le sexe-ratio primaire**, rapport du nombre d'individus de chaque sexe à la conception, du **sexe-ratio secondaire**, de chaque sexe à la naissance (ou éclosion), et du sexe-ratio tertiaire, rapport du nombre d'adultes de chaque sexe **(wikipédia)**.

2.4.1.3 LE DIMORPHISME SEXUEL

Par définition simplifiée, le dimorphisme indique la coexistence de deux formes distinctes. Chez les poissons, il est fréquent que la femelle soit plus petit que le mâle et soit moins colorée, mais cela n'est pas toujours une règle exacte...

Le dimorphisme sexuel chez certains cichlidés est étonnant : Le dimorphisme sexuel chez ce couple de cichlidés Pelvicachromis pulcher montre une femelle plus petite (en bas) que le mâle (en haut). Mais les couleurs, au cours du frai, sont à l'avantage de la femelle. Une partie du dimorphisme sexuel est provisoire.

2.4.1.3.1 LE DIMORPHISME SEXUEL PROVISOIRE

Chez les animaux susceptibles de changer de coloris, en particuliers les poissons, les différences apparaissent avant ou pendant le frai, ou durant la parade nuptiale.

En règle générale, une coloration très accentuée du mâle (le plus souvent, il existe quelques exceptions comme ci-dessus) s'accompagne quelquefois de l'apparition d'un "masque". Mais chez les poissons, la distinction par les oviductes des femelles en période de frai (plus gros et presque perpendiculaire au corps de la femelle) est très visibles chez les vivipares par exemple.

2.4.1.3.2 LE DIMORPHISME SEXUEL PERMANENT, ET SES CARACTÈRES

Outre un aspect provisoire avec une adaptation du patron de coloration, certaines espèces ont des caractères sexuels différents de façon permanente :

- Présence d'un organe de copulation, le gonopode (Poecilia wingei endler, Xiphophorus hellerii, etc.).
- barbillons (tentacules moins nombreux chez la femelle ancistrus...).
- Une squamation (région pectorale de la femelle Hoplosternum thoracatum totalement recouverte de plaques osseuses).
- Une réserve graisseuse chez les individus mâles (vieux Cichlidés, Steanocranus casuarius...).
- Une hypertrophie générale des nageoires chez les mâles (Aphyosemion, Betta...).
- Une forme des nageoires (concavité externe de la nageoire anale chez la femelle d'Hyphessobrycon bifasciatus, interne chez le mâle; nageoire caudale du xipho mâle terminée par au moins une épée -basse-); premiers rayons épineux de la nageoire dorsale plus long chez le mâle de Mikrogeophagus ramirezi que chez la femelle.
- La forme du corps (plus élancé chez le mâle de Pelvicachromis pulcher, mâle plus svelte chez Paracheirodon innesi...).
- Une coloration (femelle guppy Poecilia reticulata beaucoup plus terne comme les femelles Aphyosemion, Trichogaster (Colisa) lalius... femelle Melanochromis auratus dorée alors que le mâle est brun-violet...,**(www.aquaportail.com).**

2.4.1.4 HERMAPHRODISME

C'est quoi l'hermaphrodisme ? L'hermaphrodisme est un phénomène biologique au cours duquel un individu peut être à la fois mâle et femelle. Il s'oppose au **gonochorisme**, où les individus ont des sexes bien séparés. Il existe deux grands types d'hermaphrodisme.

L'HERMAPHRODISME SUCCESSIF (OU SÉQUENTIEL) est le plus fréquent, avec les individus qui passent d'un sexe à l'autre. Cette alternance de sexe a été observée chez 27 familles de poissons avec trois configurations possibles.

- **L'hermaphrodisme protogyne** : le poisson nait femelle puis devient mâle. On retrouve cette caractéristique chez les labres, dont le poisson Napoléon, ou encore chez les mérous.
- **L'hermaphrodisme protandre** : le poisson nait mâle puis devient femelle. On observe ce phénomène chez les poissons-clowns, les daurades, ou encore les demoiselles.
- **L'hermaphrodisme bi-directionnel** : le poisson change de sexe plusieurs fois selon les besoins. C'est le cas par exemple du gobie vert qui vit dans les coraux.
- Qu'il s'agisse de protogynie ou de protandrie, le changement de sexe n'aura lieu généralement qu'une seule fois, à la différence donc de l'hermaphrodisme bi-directionnel.

L'HERMAPHRODISME SYNCHRONE (OU CONTINU) est un type plus rare, où les individus ont la possibilité d'avoir les deux sexes simultanément, tels le serran-chèvre et quelques Sparidés. Ce type d'hermaphrodisme permet l'autofécondation chez de rares espèces, comme le killi des mangroves (Kryptolebias marmoratus).

Un poisson hermaphrodite nait avec les deux sexes, il est bisexué. Ce phénomène d'hermaphrodisme est courant, mais ces poissons naissent tous avec le même sexe tout en conservant la faculté de se transformer en l'autre sexe. Les poissons hermaphrodites ne pratiquent pas l'autofécondation ! Certaines familles de poissons sont des hermaphrodites : **Amphiprion ocellaris** est un poisson hermaphrodite.

En milieu marin, le poisson-clown de mer naît mâle et seul le poisson dominant se transforme en femelle : il ne peut d'ailleurs y exister qu'une seule et unique femelle au sein d'un groupe hiérarchisé dans une anémone de mer. On parle alors d'hermaphrodisme dit **protandre**.

La protandrie mène à un hermaphrodisme protandre. On peut citer en exemple Nemo devenu populaire grâce à un dessin animé avec l'espèce Amphiprion percula.

À l'inverse, le poisson-ange naît automatiquement femelle par hermaphrodisme protogyne et quelques individus se transformeront en mâle dominant un territoire **(www.aquaportail.com).**

2.4.1.5 MATURITÉ SEXUELLE

La plupart des poissons atteignent leur maturité sexuelle quand ils ont la taille caractéristique (plus tôt pour les mâles que pour les femelles) et ce n'est pas nécessairement en rapport direct avec l'âge. Le développement gonadique produit une perte des réserves de protéines et de lipides du fait que l'animal ne se nourrit peu ou pas du tout, surtout si la reproduction coïncide avec une migration vers les frayères. Certaines espèces (saumon du Pacifique, anguille) ne parviennent à migrer qu'une fois et meurent. Ceci est dû au fait que ces espèces ne se nourrissent pas pendant la migration ; ainsi, la perte peut aller jusqu'à 92 % de leurs lipides, 72 % de leurs protéines (cas du saumon). La durée de la période du frai varie beaucoup. La plupart des espèces ont une périodicité saisonnière ; d'autres ont des ovaires mûrs à longueur d'année.

2.4.1.5.1 EXEMPLES DE REPRODUCTION

Voici trois exemples de reproduction :

- La bouvière pond 40 œufs dans un anodonte qui protège et oxygène les œufs. Sur 40 environ, deux arriveront à se reproduire ;
- L'ombre creuse un nid dans le gravier bien oxygéné. Sur 2.000 œufs environ, deux aussi arriveront à l'âge de la reproduction : il y a donc beaucoup de pertes ;
- Les corégones pondent plusieurs dizaines de milliers d'œufs très petits qui coulent au fond et ne sont pas protégés : deux aussi environ peuvent arriver à maturité.

On voit que les stratégies de reproduction sont très variables mais plus l'œuf est protégé, plus il est gros, moins il y en a, ce qui se vérifie souvent dans le monde animal **(www.futura-sciences.com)**.

2.4.1.6 FÉCONDITÉ

La reproduction des poissons répond à des règles bien particulières et strictes selon les espèces élevées. Etat des lieux pour s'y retrouver.

2.4.1.6.1 LES OVOVIVIPARES (GUPPIES, PLATIES)

La fécondation interne s'effectue via l'organe copulateur des mâles, le gonopode, issu de la transformation des rayons de la nageoire anale. Ces ovovivipares portent des œufs dont l'éclosion s'opère avant ou après être issus de la mère. Les alevins sont d'ailleurs prêts à se débrouiller seuls. Si vous souhaitez assister à la naissance, vous pourrez voir un alevin sortir queue ou tête première mais également sortir en boule pour se déplier précipitamment.

2.4.1.6.2 LES VIVIPARES (GOODÉIDÉS)

Nous avons, là aussi, une fécondation interne. L'alevin est relié à la mère via un **«cordon ombilical»**. Là encore, les alevins naissent autonomes avec les risques que cela comporte. L'intervalle à respecter entre deux pontes est le même que précédemment. Ici encore, L'absence de couple pour cette espèce entraîne généralement une répartition d'un mâle pour 3 ou 4 femelles.

2.4.1.6.3 LES OVIPARES (CHARACIDÉS, CYPRINIDÉS)

Dans ce cas, la fécondation est externe. Les femelles pondent les œufs très rapidement fécondés par les mâles. Chez les ovipares, les pontes peuvent s'effectuer toutes les semaines. Plus petits pour ces espèces, les alevins sont pris en charge et nourris dès que leurs réserves sont épuisées.Les pondeurs en eau libre : (Characidés, Cyprinidés….) Ces poissons pondent en pleine eau ou dans les touffes de plantes.

Ils libèrent alors des centaines œufs qui ne sont pas protégés laissés ainsi en pâtures à certains adultes. Spécificité chez certains poissons de cette espèce, les œufs sont dits lucifuges (Characidés) ayant recours à l'obscurité pour leur développement. Dans cette catégorie, certains poissons collent leurs œufs (plantes ou même vitres) et les abandonnent

généralement (Corydoras, Rasbora), le Copella arnoldi collant, quant à lui, ses œufs hors de l'eau. Là encore, s'il n'y a pas de couple, les poissons pondent à plusieurs, le rapport mâle-femelle variant selon l'espèce.

Alors, toujours tenté par l'expérience ? C'est, en effet, un fabuleux domaine et puis...la Ferme des Animaux peut vous guider avec un grand choix d'aliments et de nourritures pour poissons ! **(www.blog.lafermedesanimaux)**.

2.4.1.7 NIDIFICATION

"Ces poissons qui fond des nids", voilà un sujet que je pensais vite traiter. Mais c'était sans compter sur les multiples stratégies de reproduction des quelques 80 espèces colonisant nos eaux douces (France Métropolitaine). Si la plupart des poissons déposent leur œufs sur un support définis : **de la végétation ou un substrat minéral (gravier sable)**. D'autres espèces pondent leurs œufs **en pleine eau**. Ces œufs adhésifs se déposeront par la suite au grès de courants sur les substrats des fonds de rivière. Parmi les espèces qui ne pondent pas en pleine eau, quelques poissons ont choisi de déposer leurs œufs dans **un nid** afin de maximiser les chances de réussite de leur reproduction. Certaines espèces exercent même une garde de ce nid, des soins parentaux à la ponte et même aux alevins. On parle alors de gardien de nid. Mais ces soins et cette garde peuvent aussi être entrepris par des espèces qui n'ont pas à proprement parlé fabriqué de nid. De même, si certaines espèces accordent beaucoup de soin à la confection de leur nid, d'autres se contentent d'un nid très rudimentaire. Enfin quelques poissons pondent sous le gravier ou dans des interstices minéraux, sans que la littérature scientifique évoque la notion « de nid ».

Voici donc la liste commentée des poissons de France métropolitaine qui construisent un nid. **Les truites** pondent leur oeuf dans des nids. Pour débuter, il existe dans la famille des salmonidés ("les truites"), quelques espèces très connues des pêcheurs qui confectionnent des nids. On peut d'abord évoquer les trois écotypes de truite (Salmo trutta : truite de mer, truite lacustre, truite de rivière).

2.4.1.7.1 TRUITE DE RIVÈRE

Chez la truite, la femelle s'aide de sa queue pour creuser des nids de pontes ou poche d'œufs (cuvette de 10 à 20 cm de profondeur). Dans ces nids, sont déposés **les ovocytes**, immédiatement fécondés par le sperme du mâle puis recouverts, par la femelle, de gravier afin d'éviter leur entrainement par le courant. Pour préciser, la femelle creuse des nids de ponte en crête de radier. Les œufs de la première ponte sont recouverts par les graviers du second nid dont les œufs sont à leur tour enfouis sous les graviers du 3ème nid.

Le saumon atlantique (Salmo salar), autre espèce emblématique de la famille des salmonidés, présente aussi la particularité d'aménager un nid pour sa reproduction. Avant de pondre, la femelle creuse à l'aide de sa nageoire caudale, une ou plusieurs excavations. Le nombre de nid dépend du nombre de mâles présents sur la frayère. On dénombre généralement entre 1 et 5 nids de pontes creusés dans un lit de galets.Toujours chez les salmonidés, la truite arc en ciel (Oncorhiynchus mykiss) ainsi que l'omble de fontaine (Salvelinus fontinalis), deux espèces introduites à des fins halieutiques, sont des poissons qui constituent des nids sur des fonds de graviers galets. Mais, la reproduction en France comme en Europe de la truite arc en ciel est exceptionnelle. De même, l'omble de fontaine forme seulement quelques populations viables dans les régions des Alpes, du Massif Central, du Jura, des Vosges, des Ardennes et des Pyrénées.

2.4.1.7.2 OMBLE DE FONTAINE

Enfin, l'ombre commun (Thymallus thymallus) enfouit ces œufs dans le sédiment (galets, graviers, sables grossiers), sans constituer de nid. En effet, pour leur reproduction, les géniteurs étroitement accolés, enfoncent la partie postérieure de leur corps dans le gravier par des vibrations rapides de leur pédoncule caudal.

2.4.1.7.3 OMBRE COMMUN

Le black bass pose ses oeufs dans un nid. Pour poursuivre et changer de famille, il convient de citer les centrarchidés dont « les représentants » entreprennent la construction d'un nid lors de leur reproduction. On peut citer **la perche soleil** et **le black bass** pour les plus connus. Pour les moins connus, il faut évoquer le crapet de roche. Ces trois espèces, toutes présentes en France Métropolitaine, sont ce qu'on appelle **des gardiens de nids**.

La perche soleil (Lepomis gibbosus) est un nidificateur peu exigeant. Un nid plat fait d'une excavation de fond sableux et de divers matériaux végétaux fait très bien l'affaire. Plusieurs femelles pondent dans un même nid qui sera surveillé par un mâle. Par la suite, le mâle surveille plusieurs jours les alevins après leur éclosion.

Chez **le black bass (Micropterus salmoides)**, le nid est confectionné par le mâle. Ce nid, peu profond en forme de cuvette (30 à 50 cm) est généralement constitué sur un fond sablonneux voir graveleux. Lorsque les substrats minéraux viennent à manquer, les black bass peuvent se reproduire dans une "dépression" sur des fonds de glaise dure, des branches et des bois. Les femelles déposent leurs œufs dans plusieurs nids. Le nid est gardé par le mâle qui ventile aussi les œufs. Mais son rôle ne s'arrête pas là, puisque ce dernier protège les alevins pendant 2 à 3 semaines. Enfin chez **le crapet de roche (Ambloplites rupestris)**, c'est aussi le mâle qui construit le nid sur un fond de sables grossiers où de graviers. Comme pour le black bass et la perche soleil, le mâle garde les œufs puis les alevins.

2.4.1.7.4 CRAPET DE ROCHE

Le sandre pond dans un nid Autre espèce bien connue des pêcheurs, mais dans une autre famille, celle des percidés, **le sandre (Stizostedion lucioperca)** aménage un nid rudimentaire. C'est au mâle que revient cette responsabilité. Ce dernier semble même rester fidèle année après année au même site de reproduction. Non seulement le mâle aménage le nid, mais il le garde et l'entretient en réalisant un nettoyage des particules de vase par la création d'un courant généré par le battement de ses nageoires. Lors de la garde du nid, le mâle présente un comportement très agressif : s'attaquer à un plongeur ne lui fait pas peur. Dans un tout autre genre, **le poisson chat (Ictalatus melas)** fabrique aussi un nid pour se reproduction. Pour cette espèce, c'est la femelle qui confectionne le nid dans un fond sablo-vaseux ou de gravier ou encore parmi la végétation. La ponte est ensuite gardée et défendue (avec agressivité) par les parents qui procèdent à la ventilation **(Rem, sandre sur frayère 2015)**.

2.4.1.8 ÂGE ET CROISSANCE

L'examen des écailles des poissons, **la scalimétrie** est souvent utilisée pour déterminer les rythmes de croissance et de préciser l'âge des individus. La croissance des poissons varie en fonction de plusieurs facteurs, notamment selon **les caractéristiques génétiques** et **les conditions de vie. Cette** croissance qui n'est pas constante durant toute la vie, se trouve influencée par la température de l'eau. C'est ainsi que les saisons rythment régulièrement la croissance des poissons. Les phases de croissance se répercutent sur le développement des parties calcifiées, notamment les écailles. Elles se marquent sous forme de zones claires à stries espacées pour les périodes de croissance rapide (printemps et été) et de zones foncées à stries serrées pour les périodes de croissance brute (automne - hiver). L'alternance de ces zones permet de compter, en particulier, le nombre de zones foncées servant à déterminer l'âge du poisson.

La scalimétrie fourni des informations importantes sur le fonctionnement des populations piscicoles et trouve directement son application pour la gestion de la pêche. Ces informations sont exploitées pour déterminer la taille légale de capture, censée permettre aux poissons concernés de se reproduire au moins une fois.

C'est ainsi que pour les truites dans le département des Pyrénées Orientales les tailles réglementaires sont de 20 cm dans les cours d'eau et de 23 cm dans les plans d'eau de montagne. Deux exceptions pour les truites des cours d'eau des vallées de la Rotja et de Mantet avec une taille portée à **23 cm en 2007** et pour les truites du plan d'eau des Bouillouses avec une taille portée à **30 cm en 2004**.

Pour les truites les prélèvements d'écailles doivent se pratiquer sur le flan du poisson dans la zone située sous la nageoire dorsale. L'interprétation des lectures d'écailles nécessite un matériel optique spécialisé et passe par le savoir faire du technicien. La fiabilité des informations doit aussi reposer sur un nombre important de prélèvements. A cet effet la collecte d'écailles, destinée à vérifier la croissance des truites des lacs du massif du Carlit, qui a été mise en place à la fin de l'été 2008 se poursuivra à la même période en 2009. Une nouvelle fois nous comptons sur les pêcheurs pour y participer activement **(www.peche66.org)**.

2.4.1.8.1 LA SCLÉROCHRONOLOGIE

« La sclérochronologie, discipline qui étudie les pièces calcifiées dans le but de reconstruire l'histoire vécue par les organismes vivants, est essentielle pour la connaissance de la biologie des poissons et pour la gestion des pêches ». Cette discipline regroupe plusieurs techniques qui permettent notamment d'estimer l'âge d'un poisson à partir de l'observation de pièces calcifiées (noyau et stries de croissance). Les plus fréquemment utilisées sont la lecture des écailles ou scalimétrie et la lecture des otolithes ou otolithométrie. Différentes pièces calcifiées pouvant être utilisées dans les études de sclérochronologie et trois principaux types de structure (otolithe,écaille, squelette), **(d'après Panfili et al. 2002)**.

2.4.1.8.2 LA SCALIMÉTRIE

La scalimétrie est une méthode permettant de déterminer l'âge des poissons (mais aussi des reptiles) à partir de leurs écailles. Elle est donc réservée par définition aux poissons à écailles et préférentiellement aux poissons des eaux des climats

tempérées. C'est aujourd'hui la technique la plus utilisée pour l'étude démographique des populations de Salmonidés. Les écailles grandissent à partir **d'un noyau (nucléus)** par adjonction de cernes concentriques successives (« circuli ») pendant toute la vie du poisson. Elles présentent donc des stries de croissance comparables à celles que l'on peut observer sur un tronc d'arbre coupé. Le rythme de croissance varie suivant les saisons, la température de l'eau, la quantité de nourriture disponible, l'état de santé, etc. En été, les eaux chaudes sont favorables à la croissance rapide des poissons ; celle-ci est matérialisée au niveau des écailles par un espacement régulier des cernes d'accroissement **(circuli épais et espacés)** formant des zones claires. En hiver en revanche les basses températures obligent les poissons à réduire leur métabolisme d'activité afin de lutte contre le froid ce qui diminue sensiblement l'espacement des cernes **(circuli fins et resserrés)**. Le résultat de cette réduction des espacements est l'apparition d'une zone sombre appelée **anneau annuel de croissance** ou **« annulus »**. Très souvent les cernes d'été, plus espacées, coupent ou interrompent celles d'hiver. Ce phénomène ou « cutting over » est la confirmation de la présence d'un anneau de croissance annuel.

2.4.1.8.3 EXEMPLE DE SCALIMÉTRIE SUR UNE ÉCAILLE DE SAUMON

Les écailles sont le plus souvent examinées en lumière réfléchie ou transmise à l'aide d'une loupe ou d'un microscope binoculaire ou encore d'un lecteur de microfiche (optique X5 à X50). Le prélèvement, qui ne nécessite pas de tuer le poisson, s'effectue en général au dessus de la ligne latérale au niveau de la nageoire anale. Plusieurs écailles sont nécessaires car certaines peuvent être abîmées. A noter qu'une écaille qui tombe est toujours remplacée ! Dans la pratique, chaque annuli observé correspond à un hiver, il suffit de compter les annuli pour connaître le nombre d'hiver passés et donc déterminer l'âge de l'individu. La croissance des écailles est également sensiblement proportionnelle à la croissance du poisson, il est donc possible en théorie de calculer la longueur du poisson aux différents stades de sa vie et d'avoir une idée du taux de croissance selon la formule suivante : **Taille à n année** = (Taille totale mesurée x distance du noyau au nième annulus) / Distance totale du noyau au bord de l'écaille.

2.4.1.8.4 OTOLITHOMÉTRIE

En ichtyologie, les otolithes sont considérés comme de véritables **« boîtes noires »**, indices de tous les évènements marquants du poisson depuis sa naissance. **L'otholite** est une concrétion minérale (carbonate de calcium) contenue dans l'oreille interne des poissons osseux (3 paires) formée par déposition des couches successives. L'accroissement annuel se manifeste généralement par la présence de deux zones concentriques successives, **une zone opaque** correspondant à la majorité de la croissance annuelle et **une zone creuse plus claire (hyaline)** formée par le ralentissement de la croissance. Comme pour la scalimétrie, l'âge est donc déterminé en se référant aux couches concentriques. Considérée comme plus fiable, l'analyse otolithométrique permet aussi une lecture plus fine avec plusieurs niveaux de résolution : accroissements journaliers, saisonniers et annuels. Cette méthode s'accompagne inévitablement de la mort du poisson et les techniques utilisées sont également plus complexes que celles requises pour les écailles (lames minces, microscope électronique…). Il a également été démontré que la composition chimique des otolithes comportent des marqueurs d'habitat. Une étude a ainsi été menée sur les saumons du bassin de l'Adour pour comprendre leur stratégie migratoire. A gauche : otolithe en coupe ; à droite : tronc d'arbre en coupe

Scalimètrie et **Otolithométrie** permettent donc en définitive d'enregistrer des données sur l'état d'une population piscicole: taux de croissance des individus, structure en âge de la population, dynamique de la population, etc. Ces analyses permettent également sur certaines espèces comme le saumon de déceler les marques de reproduction ou de fraie, voire des événements ou incidents ayants stoppés la croissance …**(Panfili et al.)**.

2.4.2 MODES DE VIE DES POISSONS

2.4.2.1 POISSONS PARASITES

Chez les poissons, on trouve deux sortes de parasites : **externes**, sur la peau, les branchies et les nageoires, et **internes**, dans la cavité abdominale ou sous forme de kystes sur les viscères et dans la chair.

2.4.2.1.1 QUELS SONT LES PARASITES DES POISSONS ?

Les parasites des intestins sont propres aux poissons et ne peuvent se reproduire chez l'Homme. Ce sont les plus observés par les pêcheurs. Le poisson se nourrit de végétaux ou d'animaux, espèces animales qui peuvent être porteuses de parasites et contaminer le poisson. Pour se développer, les œufs infectent le plancton, les crustacés, les escargots et, si les poissons mangent de ces organismes, ils pourront être porteurs de parasites. La majorité des parasites des poissons sont sans danger pour l'Homme. Toutefois, certains peuvent entraîner des problèmes de santé. Certaines espèces appartenant à **la famille des**

Anisakidae se trouvent chez le saumon atlantique, tandis que **Diphyllobotrium sp.** se trouve chez plusieurs espèces de poissons: saumons, truites, brochets, etc.

2.4.2.1.2 EXEMPLES DE PARASITES DE POISSONS

Parmi les parasites des poissons, on trouve : des vers plats de plusieurs espèces différentes comme **Diphyllobotrium sp.** dans la cavité abdominale ; **des copépodes (Salmincola sp.)** qui se retrouvent sur les branchies, les nageoires et la peau. Les parasites adultes se caractérisent, chez la femelle, par une coloration jaunâtre et la présence d'une paire de sacs à la partie postérieure du corps. Ces sacs contiennent les œufs en développement. Les parasites se transfèrent directement d'un poisson à un autre ; des virus qui causent **le Lymphocystis**, maladie qui peut s'observer chez presque toutes les espèces de poissons d'eau douce et d'eau salée. La peau et les nageoires sont couvertes de verrues, petites tumeurs comme des perles. Au cas où vous seriez pêcheur, renseignez-vous auprès des organismes adéquats de votre région ! **(www.futura-sciences.com)**.

2.4.2.2 POISSONS COMMENSAUX

Certains animaux se nourrissent de certaines plantes, ou d'autres animaux, et la présence des seconds indique alors souvent la possibilité de voir les premiers.

D'autres relations que la prédation existent, toutes intéressantes à observer.

Voici 5 catégories de relations inter-espèces, classées suivant le profit qu'en tirent les espèces concernées :

- **Symbiose** : Nécessaire à la survie des deux espèces.
- **Mutualisme** : Profite aux deux espèces.
- **Commensalisme** : Profite à l'une, sans nuire à l'autre.
- **Parasitisme** : Profite à l'une, au détriment de l'autre.
- **Prédation** : Une espèce tue et mange l'autre.

- **Symbiose** : Association de 2 espèces différentes, qui ne pourraient survivre ou se développer dans un milieu donné sans cette association.
- **Mutualisme** : Association de 2 organismes différents, qui en tirent un bénéfice réciproque.
- **Commensalisme :** Littéralement, "manger à la même table". **Le commensal** est un organisme qui profite d'un autre organisme, sans lui nuire, mais sans lui apporter de bénéfice non plus. **Les rougets** et **les raies pastenagues** fouillent le sable pour se nourrir. Ils sont souvent suivis de poissons commensaux. **Les crabes pinnothères** vivent à l'intérieur de la coquille de divers bivalves, huîtres et moules en particulier. Ces dernières n'en tirent aucun bénéfice connu.
- **Parasitisme** : Mode de vie d'un organisme qui est hébergé par un autre (l'hôte) et vit à ses dépens, sans le détruire.

Exemples de parasitisme : L'anilocre (Anilocra sp) est un crustacé qui s'accroche sur les poissons (particulièrement les labres, et souvent sur la tête) et vit de leur sang. Deux individus accrochés sur le même poisson peuvent communiquer et même se reproduire en utilisant le circuit sanguin de leur hôte. Quand plusieurs anilocres sont accrochés au même poisson, le plus gros de tous est la femelle. Sa présence contraint les autres anilocres à rester males. Quand elle meurt, l'inhibition cesse et le plus gros des mâles devient femelle à son tour. On a longtemps cru que c'était du commensalisme, mais en fait le remora nuit à son hôte. On a pu constater qu'il abîme sa peau à l'endroit où il se ventouse. **Le remora** est parfois employé pour pêcher; une ligne est attachée à son pédoncule caudal et le remora est ensuite libéré ; quand il s'est fixé à un autre poisson, le remora et son hôte sont remontés par le pêcheur.

L'aurin vit le jour à l'intérieur des holothuries, il s'introduit par l'anus, la queue en premier. Ce poisson se nourrit en partie des viscères de l'échinoderme. Quand cela devient trop insupportable à l'holothurie, elle expulse le poisson avec ses organes digestifs qu'elle est capable de régénérer par la suite.

Le crabe vert (Carcinus maenas) est parfois parasité par **la sacculine (Sacculina carcini), (www.puteauxplongee.com)**.

Le commensalisme, en écologie, consiste en une association d'espèces dont chaque individu est dit commensal. Mais cette commensalité n'est pas d'une nécessité vitale pour aucune d'entre elles. Cette association de deux organismes vivants au bénéfice de l'un et l'autre est donc aussi de l'inquilinisme.

Le commensalisme, en biologie, est une forme de relations entre deux organismes d'espèces différentes où un organisme bénéficie de l'autre sans l'affecter. Le commensal, l'espèce qui bénéficie de l'association, peut obtenir des éléments nutritifs, un abri, un soutien, ou la locomotion de l'espèce hôte, qui est sensiblement non affectée. La relation commensale a souvent lieu entre un hôte plus grand et un commensal plus petit; l'organisme hôte est non modifié, alors que les espèces commensales peuvent montrer une grande adaptation structurelle pour se conformer aux habitudes de l'hôte. Le commensalisme est parfois spécialisée comme la phorésie, l'inquilisme et la métabiose.

- **Différences entre commensalisme, mutualisme, amensalisme et parasitisme**

Le commensalisme se distingue du mutualisme dans lequel les deux organismes bénéficient les uns des autres, diffère de l'amensalisme où l'hôte est affecté mais réel préjudice, et le parasitisme où le commensal profite de l'autre qui est lésé.

- **La phorésie** est un forme particulière de commensalisme ne concernant que le transport, principalement chez les arthropodes.
- **La métabiose** est une dépendance plus indirecte, dans laquelle un organisme crée ou prépare un environnement approprié pour leur vie ou habitat.
- **La synanthropie** est une relation commensale d'un animal avec l'Homme : les blattes, les pigeons, les souris et rats vivent auprès de l'Homme.

Pour les organismes commensaux, en biologie, la symbiose est un terme généraliste qui regroupe, sans les préciser, les différentes formes de relations de coopération, désignant à la fois le commensalisme, le mutualisme, l'amensalisme et le parasitisme.

Exemples de commensalismes : Le rémora, associé aux requins, raies, grandes tortues marines et d'autres grands poissons, tout comme le poisson-pilote, se nourrit des restes des repas de leurs hôtes. De nombreux oiseaux se nourrissent des insectes attirés et repoussés par les mammifères lors du pâturage : l'oiseau est alors un commensal de l'animal **(www.aquaportail.com)**.

2.4.2.3 POISSONS D'EAUX DOUCES

Les nombreux écosystèmes aquatiques d'eau douce abritent une diversité biologique unique. Celle-ci se caractérise par sa capacité à survivre dans des environnements d'eau douce et par sa sensibilité aux changements physico-chimiques que subissent souvent les eaux qu'elle habite. Ces changements sont souvent dus aux actes irresponsables de l'Homme, dans les écosystèmes fluviaux du monde entier. Pour les poissons d'eau douce, la conservation et la protection de leur habitat naturel sont d'une importance capitale. En effet, ils remplissent des fonctions importantes en tant que corridors biologiques, agissant également comme des membranes semi-perméables qui permettent et contrôlent le flux de matière et d'énergie au sein de l'écosystème.

2.4.2.3.1 TYPES DE POISSONS D'EAU DOUCE

Afin de savoir quels types de poissons d'eau douce existent dans la nature, nous pouvons nous baser sur différentes classifications qui répondent à diverses caractéristiques de ces poissons. Par exemple, selon la teneur en graisses et en nutriments fournis par les poissons de rivière comestibles, nous pouvons faire la distinction suivante :

- **Le poisson de rivière blanc** : il a un faible apport en graisse, car il ne fait pas de grands efforts énergétiques pour survivre dans les profondeurs des rivières dans lesquelles il vit.
- **Les poissons bleus de rivière** : ils ont une teneur en graisse plus élevée, en raison, entre autres, de leur grande capacité migratoire, qui nécessite un apport élevé en graisse et en énergie pour survivre. D'autre part, il est possible de classer **les poissons de rivière** en fonction du bénéfice que l'homme en tire, on trouve ainsi **les poissons de rivière comestibles** et **les poissons de rivière ornementaux**, comme le poisson guppy (Poecilia reticulata) et le poisson-ange (Pterophyllum scalare) aux couleurs vives. Dans les prochaines sections, nous citerons les noms d'autres espèces de poissons d'eau douce qui vivent dans ces intéressants écosystèmes à travers le monde. Nous soulignerons aussi certaines de leurs caractéristiques les plus étonnantes comme, leur capacité à remonter les rivières et à s'y reproduire.

2.4.2.3.2 POISSONS D'EAU DOUCE - LISTE DES NOMS

Vous trouverez ci-dessous des exemples de poissons de rivière figurant dans ces listes par pays :

Poissons de rivière en France et en Espagne

- Syngnathe de lagune (Syngnathus abaster)
- Luciobarbus sclateri (Luciobarbus sclateri)
- Loche du Languedoc (Barbatula quignardi)
- Truite commune (Salmo trutta)
- Esturgeons (Acipenser sturio)
- Poissons de rivière en Argentine (poissons de la rivière Paraná)
- Dourado (Salminus brasiliensis)

- Prochilodus lineatus
- Surubi (Pseudoplatystoma corruscans)
- Anguille des marais (familia Synbranchidae)
- Charracin (familia Characidae)

Poissons de rivière à Pérou

- Acaronia nassa
- Amblydoras nauticus
- Landonia latidens
- Rhamdia jequetepeque
- Brycon atrocaudatus

Poissons de rivière au Chili

- Aplochiton taeniatus
- Basilichthys australis
- Galaxias maculatus
- Mauleanum
- Aplochiton zebra

2.4.2.3.3 LES PLUS GROS POISSONS D'EAU DOUCE

Dans cette section, nous proposons une liste des noms des plus gros poissons d'eau douce qui existent dans divers écosystèmes fluviaux du monde :

- Arapaima (Arapaima gigas) - Amérique du Sud
- Lépisosté osseux (Lepisosteus osseus) - Amérique du Nors
- Poisson-chat géant du Mékong (Pangasianodon gigas) - Asie
- Estugeon blanc (Acipenser transmontanus) - Amérique du Nord
- Béluga (Huso huso) - Amérique du Nord
- Potamotrygon motoro (Potamotrygon motoro) - Amérique du Sud
- (Polyodon spathula) - Amérique du Nord
- Perche du Nil (Lates niloticus) - Afrique
- Taimen (Hucho taimen) - Asie
- Requin-bouledogue (Carcharhinus leucas) - Amérique du Nord et Amérique du Sud. Cette espèce est distribuée dans le Nord et le Sud, mais on ne peut la trouver dans les eaux fluviales que dans le cas du fleuve Amazone, car dans certaines zones elle y pénètre.

2.4.2.3.4 LES POISSONS D'EAU DOUCE QUI REMONTENT LES COURS D'EAU POUR FRAYER

Saviez-vous que de nombreux poissons ont la capacité de remonter le courant sur de longues distances pour frayer ? Il s'agit de l'une des stratégies de reproduction les plus étonnantes du royaume des poissons. En effet, à une certaine période de l'année, l'horloge biologique de diverses espèces de poissons d'eau douce, leur dit de remonter le courant pour assurer leur reproduction et la survie de leur progéniture. Certains d'entre eux meurent au cours de ce long et épuisant voyage à contre-courant qui garantira la persistance de leur espèce dans la nature. Découvrons ici quelques-unes de ces espèces de poissons de rivière qui remontent le courant pour frayer :

- Aguilles (Anguilla anguilla)
- Gobie transparent (Aphia minuta)
- Goujon (Gobio gobio)
- Éperlan (Osmerus esperlanus)
- Esturgeon d'Europe (Acipenser sturio)
- Pejerrey (Odontesthes bonariensis)
- Sábalo (Prochilodus lineatus)
- Saumon (genre Salmo), **(Sverlij, S. et al. 2007)**.

2.4.2.4 POISSONS LITTORAUX

Les poissons littoraux sont des poissons vivant près des côtes, au-dessus du plateau continental jusqu'à une profondeur d'environ 200 mètres. Les poissons littoraux sont également appelés **des poissons néritiques**. Le poisson littoral peut être un poisson récifal car la faune récifale vit obligatoirement près d'une côte continentale **(www.aquaportail.com)**.

Le terme exact pour désigner les petits poissons que l'on retrouve dans les eaux peu profondes situées à proximité du rivage est **poisson fourrage littoral**.

Les poissons fourrages regroupent plusieurs espèces de poissons de petite taille (qui demeurent petits même lorsqu'ils sont adultes) ainsi que les jeunes stades de vie d'espèces de poissons de plus grande taille. Leur rôle est fondamental dans les écosystèmes aquatiques puisqu'ils servent de proies aux poissons prédateurs, qui sont généralement ciblés par la pêche sportive. Dans le contexte du lac Saint-Jean, il s'agit des petits poissons qui nourrissent le doré jaune, la ouananiche, le grand brochet, la lotte et la perchaude. Tout au long du mois de juillet, nos deux équipes : captureront les poissons dans un grand filet qu'on appelle **une seine de rivage** ; feront le décompte des poissons capturés ; identifieront sur place les espèces récoltées ; remettront les poissons à l'eau vivant.

Au total, nos 2 équipes effectueront 160 arrêts sur les rives du lac afin de couvrir l'ensemble du littoral du lac Saint-Jean. Avec ses 153 km de rivages, un arrêt sera fait à environ tous les 950 m (ou 3 000 pieds). Le rôle des poissons fourrages est fondamental dans les réseaux de la chaîne alimentaire. Ils servent de proies aux poissons prédateurs qui sont généralement ciblés par la pêche sportive. Dans le contexte du lac Saint-Jean, il s'agit des petits poissons qui nourrissent le doré jaune, la ouananiche, le grand brochet, la lotte et la perchaude.

L'écologie du principal poisson fourrage fréquentant les eaux profondes du lac Saint-Jean, l'éperlan arc-en-ciel, est maintenant bien connue, tout comme sa relation particulière avec la ouananiche **(Fortin et al. 2009)**. Cependant, très peu de connaissances sont disponibles sur les poissons fourrages littoraux.

L'objectif du projet est de mesurer les variations interannuelles d'abondance des populations de poissons fourrages fréquentant la zone de rivage et ainsi établir si les populations sont stables, en hausses ou encore en baisses.

Parmi les 28 espèces de poissons répertoriées dans le lac Saint-Jean, on totalise 18 espèces différentes de poissons fourrages. La réalisation de ce projet permettra d'acquérir des connaissances sur les espèces de poissons fourrages suivantes fréquentant la zone littorale du lac Saint-Jean :

- L'éperlan arc-en-ciel (Osmerus mordax),
- Le méné émeraude (Notropis atherinoides),
- Le méné à tache noire (Notropis hudsonius),
- Le naseux des rapides (Rhinichthys cataractae),
- La ouitouche (Semotilus corporalis),
- Les catostomidés juvéniles (0+; meunier rouge et meunier noir; Catostomus sp.),
- L'omisco (Percopsis omiscomaycus),
- Le fouille-roche zébré (Percina caprodes),
- La perchaude juvénile (0+; Perca flavescens).

Malgré leur rôle essentiel dans les écosystèmes d'eau douce (comme les lacs), les poissons fourrages littoraux sont boudés par la science. Pratiquement aucune étude les concernant n'a été réalisée ni ici ni ailleurs dans le monde. En s'étendant sur près d'une décennie, notre projet scientifique permettra de recueillir une quantité de données importantes dans un domaine encore largement méconnu : les poissons fourrages littoraux en eau douce, **(www.unlacpourtous.fr)**.

2.4.2.5 POISSONS DE FONDS

Un poisson de fond est une espèce aquatiquebenthique qui vit au plus proche du substrat ou du décor en règle générale. Beaucoup sont en fait benthopélagiques, car ils évoluent aussi aussi dans une partie supérieure de la colonne d'eau au dessus du substrat, du benthos. La nature du milieu aquatique est indifférente (eau douce, eau salée). **Le poisson de fond Ancistrus temminckii** est une espèce classique en aquarium qui occupe le fond benthique, vivant directement posé sur le substrat. L'ancistrus commun est adapté à l'aquariophile débutant par sa facilité de maintenance.

En aquarium d'eau douce, le poisson de fond (ou plutôt poisson benthique) est parfois appelé **laveur de vitre** car les espèces sont le plus fréquemment des poissons de la **famille des Loricariidés**, essentiellement des Ancistrus et les poissons chats en général, ou des loches comme le kuhli. Voir aussi comment distinguer un Ancistrus d'un Pléco. Mais tous les poissons ayant un mode de vie inféodé au décor (pierres, branches et racines, sable, etc.) sont considérés comme faisant partie des poissons de fond, y compris **des Corydoras**. Les biologistes utilisent également des termes spécifiques faisant référence aux poissons de fond, tels que **les poissons démersaux**, **les poissons benthiques** et **les poissons benthopélagiques**.

Parmi les groupes d'espèces de poissons de fond, on citera les poissons plats (flétan, plie, sole), les anguilles, la morue, l'aiglefin, l'achigan, le mérou, la carpe commune, la brème et certaines espèces de poissons-chats et de requins. Les poissons de fond ne sont pas nécessairement des détritivores, bien qu'ils soient nombreux. Certains animaux se nourrissent au fond, se nourrissant de matériel végétal. D'autres animaux de fond peuvent se nourrir d'autres animaux et sont donc carnivores. Certains sont coprophages. De nombreux animaux de fond sont également capables de s'enfouir, tels que les poissons plats et les raies. Chez de nombreux animaux benthiques, un mécanisme permettant de traiter le substrat est souvent nécessaire. Chez le poisson, le sable sera pompé de la bouche à travers la fente branchiale. La plupart des poissons de fond présentent une région ventrale plate de manière à ce que leur corps repose plus facilement sur le substrat. L'exception peut être le poisson plat, qui est latéralement déprimé mais couché sur le côté. En outre, beaucoup présentent ce que l'on appelle **une bouche "inférieure" (infère)**, ce qui signifie que la bouche est dirigée vers le bas ; cela est bénéfique car leur nourriture est souvent inférieure à celle-ci dans le substrat. Les mangeurs de fond dont la bouche est dirigée vers le haut ont tendance à saisir leurs proies en train de nager. Certains poissons plats tels que le flétan ont en fait un oeil "en migration" (oeil migrateur) qui se déplace vers le côté du poisson tourné vers le haut à mesure qu'il vieillit.

En aquarium, le poisson de fond est populaire car il est perçu comme nettoyeur, surtout les algues qui poussent dans le bac. En règle générale, ils ne sont utiles que pour la consommation d'aliments supplémentaires (frais) laissés par d'autres organismes suralimentés ou maladroitement nourris ; la biomasse ajoutée d'organismes supplémentaires signifie que l'aquarium sera probablement plus sale. Certains **"mangeurs de fond"** spécialisés sont plus spécifiquement vendus comme "mangeurs d'algues" pour augmenter la quantité d'oxygène libre et l'attrait esthétique d'un aquarium. En pêcherie, la pêche du poisson de fond en eau de mer est soumise à de nombreuses réglementations. La récolte de poisson de fond d'eau douce n'est soumise à aucune réglementation car beaucoup d'espèces (notamment les poissons-chats) aspire vivre énormément dans son habitat. Il existe des recommandations de pêche pour les poissons admis comme des espèces envahissantes **(www.aquaportail)**.

2.4.2.6 POISSONS MIGRATEURS

Un poisson migrateur est un poisson qui effectue des déplacements, ou migrations, plus ou moins longs au cours de sa vie pour accomplir son cycle biologique. Certaines espèces appelées **holobiotiques** réalisent leurs migrations uniquement en eau douce, comme le brochet. D'autres espèces appelées **thalassiques** réalisent leurs migrations uniquement en eau salée, comme le hareng.

Les espèces migratrices présentes sur le bassin de la Loire sont **des espèces amphihalines** : elles effectuent une partie de leur cycle de vie en mer, et une partie en rivière. Elles-mêmes peuvent être séparées en deux catégories :

- **Les espèces thalassotoques** : Il s'agit de poissons amphihalins se reproduisant en mer, et venant grandir en rivière. L'espèce emblématique sur la Loire est **l'anguille européenne (Anguilla anguilla)** mais d'autres espèces thalassotoques sont présentes sur le bassin telles que le mulet porc et le flet.
- **Les espèces potamotoques** : Il s'agit des poissons amphihalins venant se reproduire en rivière, mais grandissant en mer. L'espèce emblématique sur le bassin est **le saumon atlantique (Salmo salar)**, mais il en existe d'autres comme les aloses ou les lamproies, ou l'éperlan. La migration vers la mer est appelée **catadrome** tandis que la remontée de la rivière est dite **anadrome**. Il est souvent fait un raccourci et nous pouvons lire que l'anguille est un **"thalassotoque catadrome"** mais il est juste de dire que sa migration génésique (de reproduction) est **catadrome**.

A partir du 19ème siècle, les cours d'eau sont aménagés. Le bassin Loire-Bretagne compte ainsi plus de 12 000 seuils ou barrages, construits pour différentes raisons : utiliser l'énergie des cours d'eau, créer des plans d'eau, faciliter la navigation… Environ 60% d'entre eux n'ont plus aucun usage aujourd'hui, mais leur présence brise la continuité écologique nécessaire aux poissons migrateurs pour atteindre leur zone de reproduction et de croissance. Ajoutés à la dégradation de la qualité des eaux et l'exploitation non raisonnée de ces ressources, les barrages ont un impact fort sur ces populations, dont plusieurs sont aujourd'hui en danger critique d'extinction. Sept espèces sont visées par des dispositions réglementaires visant à améliorer l'état de leur population :

- L'éperlan
- L'esturgeon européen
- La grande alose et l'alose feinte
- La lamproie marine et la lamproie fluviatile
- Le Flet commun
- Le mulet porc
- Le saumon atlantique et la truite de mer
- L'anguille européenne, **(www.logrami.fr)**.

2.4.2.7 POISSONS MARINS

Les poissons marins vivent exclusivement en milieu aquatique d'eau salée, en mer ou océan. Un poisson marin, aquicole, est plus ou moins antagoniste au poisson dulcicole, dulçaquicole, d'eau douce. On peut distinguer deux grands groupes de poissons d'eau de mer en fonction du mode de vie : **les poissons récifaux** sont ceux vivant aux abords des récifs coralliens, en climat tropical et subtropical quand **les poissons pélagiques** sont ceux vivant au large, en pleine mer. En aquarium, on élève quelques centaines d'espèces de poissons d'aquarium marin. Un poisson marin en aquarium, le poisson chirurgien d'Achille, espèce Acanthurus achilles : Ce poisson marin est un poisson récifal, il vit aux abords des récifs coralliens pour y manger des algues et des crustacés benthiques. **Les poissons coralliens** sont les poissons marins qui dépendent des madréporaires pour leur alimentation et leur mode de vie. Le fait qu'ils peuvent survivre sans coraux en aquarium ne prouve pas le contraire.

LES GRANDS TYPES DE POISSONS MARINS

Le maquereau est un poisson pélagique, mais **le poisson-clown** est un poisson récifal. Ces derniers poissons sont plutôt **benthopélagiques**, voir benthiques car ils vivent tèrs proche du substrat du fond océanique. Rappelons que **le requin** ou **la raie pastenague** sont des poissons marins, des poissons cartilagineux qui les distingue des poissons osseux, mais **la baleine** et **le dauphin** sont des mammifères. Les poissons ont la queue en position verticale (haut-bas) quand les mammifères marins ont leur queue horizontale (gauche-droite), **(www.aquaportail.com)**.

Pour attraper le poisson, le pêcheur doit savoir où le trouver. Le poisson se trouve presque partout, dans l'eau, où il y a suffisamment de nourriture, d'oxygène et de couvert où se dissimuler. Près de chez vous, se trouve sûrement un plan d'eau où vivent des poissons. Mais pour en attraper un, vous devez d'abord découvrir où il se cache. Tous les types de poissons ne vivent pas dans les mêmes types d'eau. Le poisson peut tolérer différentes conditions environnementales, par exemple :

- De différentes quantités de sel
- De différentes quantités d'oxygène
- Différents types et quantités de nourriture
- Différentes températures d'eau
- Différents secteurs où se cacher (couvert et fond), etc.

2.4.2.7.1 SALINITÉ (QUANTITÉ DE SEL)

L'un des principaux facteurs qui différencient un type de poisson d'un autre est le sel. Certains poissons ne peuvent pas vivre dans un environnement salin, et d'autres ont absolument besoin de sel pour survivre. Toutefois, certaines espèces de poissons peuvent vivre autant en eau salée qu'en eau douce !

- **Eau douce**

L'eau douce contient bien moins de sel que l'océan. La plupart des étangs, des réservoirs et des rivières au Canada sont des cours d'eau douce. Les poissons couramment trouvés dans l'eau douce sont la carpe commune, la marigane, l'achigan, la perche, le maskinongé, le grand brochet, la truite et le doré jaune.

- **Eau salée**

De nombreuses espèces de poissons vivent dans l'eau salée des océans. Ce sont les reins du poisson qui lui permettent de bien équilibrer la teneur en sel dans son corps. Les poissons d'eau salée les plus courants sont la morue charbonnière, la morue franche, la limande à queue jaune, le bar d'Amérique (aussi en eau douce), la truite mouchetée, le tarpon, le thon, le flétan, le sébaste, la perche blanche, la morue-lingue et le vivaneau à queue jaune.

- **Eaux saumâtres**

Un estuaire est l'endroit où les ruisseaux et rivières d'eau douce se mélangent à l'eau salée de l'océan. La quantité de sel (la « salinité ») change chaque jour au gré des marées, de la pluie ou des sécheresses. Cette eau est appelée « eau saumâtre ». Le changement de la salinité détermine les types de poisson pouvant y vivre.

Certains poissons vivent en eau salée, mais nagent contre le courant dans l'eau douce pour aller pondre. Ces poissons sont appelés « anadromes ». Ils incluent le saumon et quelques types de truite.

2.4.2.7.2 OXYGÈNE

Sans un bon approvisionnement en oxygène dans l'eau, le poisson ne peut pas survivre. Certains poissons, comme la carpe, peuvent vivre avec moins d'oxygène que d'autres, comme la truite. Qu'est-ce qui affecte la quantité d'oxygène dans l'eau? Les plantes vivaces dans un lac ou un ruisseau infusent de l'oxygène dans l'eau grâce à la photosynthèse – le processus selon lequel la lumière du soleil est utilisée pour produire de la nourriture. L'oxygène provenant de l'air environnant peut aussi pénétrer dans l'eau. Dans un ruisseau, l'eau qui s'écoule en traversant des rochers assimile de l'oxygène qui vient de l'air. Les plantes en décomposition utilisent l'oxygène dans l'eau pour se décomposer. La pollution, en de nombreuses formes, réduit la quantité d'oxygène dans l'eau. Les produits chimiques déversés dans l'eau piègent l'oxygène et le retirent du système naturel. La pollution thermique – le réchauffement de l'eau par les industries – réduit la quantité d'oxygène que l'eau peut contenir. La température de l'eau affecte la quantité d'oxygène que l'eau peut retenir. L'eau plus froide contient davantage de molécules d'oxygène que l'eau plus chaude. Les niveaux d'oxygène varient d'un endroit à l'autre dans le même cours d'eau.

2.4.2.7.3 NOURRITURE

La quantité et le type de nourriture à la disposition des poissons jouent un rôle important en ce qui a trait à sa présence dans un plan d'eau particulier. Le niveau de concurrence avec les autres poissons joue aussi un rôle. Chaque type de poisson a sa propre échelle de température où il peut survivre. Certains poissons vivent dans une vaste échelle de température alors que d'autres ont besoin d'eau plus froide. Bien que les poissons n'arrivent pas toujours à trouver la température exacte qu'ils désirent, ils se trouvent souvent dans de l'eau dont la température s'en rapproche.

L'eau dans laquelle vit le poisson doit contenir suffisamment d'oxygène. Une eau de bonne qualité accueille plus d'espèces de poissons et de plus vastes populations de poisson que l'eau polluée. L'eau stagnante, polluée ou manquant d'oxygène n'accueille qu'un nombre limité de poissons.

2.4.2.7.4 QUALITÉ DE L'EAU

La qualité de l'eau affecte différentes espèces de différentes façons. Certains poissons peuvent vivre dans une eau de qualité plus pauvre que d'autres. Par exemple, la carpe peut vivre dans des eaux que la truite ne pourrait pas tolérer.

2.4.2.7.5 COUVERT

Le couvert, comme les plantes aquatiques, les roches, les souches, etc. est essentiel pour de nombreux types de poissons. Le poisson choisit un type particulier de couvert pour deux principales raisons. Tout d'abord, il peut s'y dissimuler de ses ennemis. Ensuite, le couvert le met en très bonne position pour attraper un repas qui passe ou nage sans méfiance, **(www.Futurefisherman.org)**.

2.4.3 RÉGIME ALIMENTAIRE

2.4.3.1 PHYTOPLANCTONOPHAGES

Un organisme planctonophage se nourrit de plancton, par exemple, la plupart des larves de poissons et beaucoup de poissons pélagiques. Dans le cas des poissons, c'est un poisson se nourrissant de phytoplancton ou de zooplancton.

Un cycle alimentaire planctonophage : mysis diluviana et les poissons planctonophages (planctivores) partagent des ressources de proies préférées (zooplancton de cladocères) et des prédateurs (touladi). Les flèches pleines indiquent des interactions directes positives (þ) et négatives (a) liant les mysis aux poissons planctonophages, et les flèches en pointillés représentent des interactions indirectes négatives. Des interactions similaires entre les poissons planctivores et mysis sont omises pour plus de clarté.

Planctonophage est un synonyme valide de planctophage, lequel est un mot raccourci théoriquement invalide. Une espèce planctophage se nourrit de plancton. Théoriquement, le vrai mot à utiliser serait plutôt planctonophage... Les gobiodons sont de petits poissons coralliens qui vivent dans des coraux et sont planctophage, par exemple : **Gobiodon quinquestrigatus**. Le régime trophique est appelé **planctotrophie**. Un organisme **planctonivore** est un synonyme direct de planctonophage, c'est juste la version latine au lieu de l'origine grecque qui a été privilégiée. Les poissons micro-prédateurs sont le plus souvent panctonivores.

Quelque soit l'appellation, **les planctonophages** désignent des animaux prédateurs du plancton, quelle que soit sa taille (du microplancton au mégaplancton) ; de nombreux organismes planctonophages font partie du zooplancton (carnivore et omnivore). Un organisme dit **nanophage** qualifie des animaux (ou des organismes) mangeurs de plancton, ou des organismes de très petite taille. Voir microphage, macrophage, planctophage, bactériophage **(www.aquaportail.com)**.

Les consommateurs de 2ème ordre sont carnivores ou Omnivores. Dans ce dernier cas, ils font également partie des consommateurs de 1er ordre :

On peut discriminer les différentes espèces sur la spécialisation de leur régime alimentaire.

- **Les planctonophages diurnes** : ils se nourrissent des organismes tant de nature végétale (phytoplancton) qu'animale (zooplancton) qui vivent en suspension dans l'eau. Les petits poissons planctonophages diurnes se regroupent souvent en bancs en pleine eau, au-dessus du substrat où ils peuvent trouver refuge en cas de danger.

Les Demoiselles (Pomacentridés) du genre Chromis ou Dascyllus sont planctonophages de même que le poisson cocher commun (Heniochus acuminatus).

- **Les Poissons clowns** sont planctonophages mais se nourrissent également de petits crustacés. Ils sont surtout connus pour leur association symbiotique avec les anémones de mer. Cette association est plus ou moins stricte : Certains poissons clowns n'élisent domicile que dans une espèce déterminée d'anémone tandis que d'autres logent indifféremment dans un grand nombre d'espèces.

A la Réunion, **Amphiprion chrysogaster** (nageoires anale et caudale noires bordées de blanc) se rencontre communément. Les Poissons clowns sont protégés des tentacules urticants par l'épaississement de la muqueuse qui devient 4 fois plus épaisse et par un mucus enduisant leur corps. Ce mucus empêche le fonctionnement des cellules venimeuses (nématocystes). Les poissons clowns ne sont pas immunisés contre le venin des cellules urticantes. En effet, s'ils sont séparés de leur anémone un certain temps puis replacés en contact, ils sont eux aussi paralysés. Un temps d'acclimatation est nécessaire aux poissons clowns pour se réfugier impunément dans les tentacules de leur anémone.

Si l'anémone assure protection aux poissons clowns, ceux-ci en contrepartie la défendent contre les prédateurs. Ils la débarrasseraient également des petits crabes parasites. Les poissons clowns adultes sont très territoriaux et ne tolèrent que les jeunes immatures. Ils partagent toutefois leur anémone avec des crevettes symbiotiques, du genre Periclimenes ou Thor, et des juvéniles de la demoiselle Dascyllus trimaculatus, les poissons dominos. Ces poissons monogames sont d'abord mâles puis femelles. La femelle est plus grosse que le mâle et inhibe son inversion sexuelle. Les œufs sont pondus à l'extérieur de l'anémone, à la base de la colonne assurant ainsi leur protection.

- **Les Barbiers (Anthiinés)** vivent en bande près des côtes rocheuses ou sur les faces exposées des récifs dont ils suivent la morphologie. Ce qui les conduit parfois à nager la tête en bas sous les surplombs. Ils se nourrissent de zooplancton.

Les mâles sont facilement reconnaissables par la présence d'un filament (3ème rayon de la nageoire dorsale) et leur coloration plus vive. On note la présence de 1 ou 2 mâles pour 10 femelles. Quand cette proportion diminue, certaines femelles changent de sexe.

- **Les Fusiliers(Caesionidés)** sont des poissons grégaires aux couleurs irisées, la nageoire caudale est très fourchue. Ces planctonophages vivent en bancs et se déplacent rapidement en pleine eau le jour.
- **Les Poissons fléchettes(Éleotridés)** apparentés aux Gobies, ont un corps allongé dont la nageoire anale et la deuxième nageoire dorsale sont longues et implantées l'une au dessus de l'autre. Ils se nourrissent de zooplancton en se tenant en pleine eau, au-dessus de leur terrier qu'ils regagnent au moindre danger.
- **Requin-Baleine** (longueur > 12 m), et **Raie Manta** (7m, 2T) : Les plus gros sont les plus connus. Ces poissons cartilagineux ou Chondrychthyens sont plus primitifs que les poissons osseux ou Osteichthyens.

- **Les planctonophages nocturnes** : ils sont généralement de couleur rouge avec de gros yeux, ils se réfugient dans des grottes ou dans le corail le jour.

- **Les Poissons soldats (Myripristinés)** appartiennent avec **les poissons écureuils(Holocentrinés)** à la famille des Holocentridés.

Les premiers vivent en banc tandis que les seconds sont solitaires ou en couple et carnivores. Tous se réfugient le jour dans les mêmes cachettes. Les poissons soldats ne sont pas armés d'épines probablement venimeuses sur la joue comme les poissons écureuils. Ces poissons nocturnes peu visibles car de livrée rouge, possède de gros yeux adaptés aux faibles luminosités. Les poissons soldats chassent en eau vive des animaux planctoniques, des alevins et des petits poissons.

- **Apogons** ou **poissons cardinaux (Apogonidés)**: De petite taille, ces poissons possèdent 2 nageoires dorsales, une grande bouche, de grands yeux et sont souvent rayés. Les mâles incubent les œufs dans la bouche. Certaines espèces trouvent refuge dans les coraux le jour.
- **Poisson hachette (Pempheridés)** : De forme caractéristique, ils se rassemblent dans les grottes le jour et se dispersent la nuit pour aller chasser le zooplancton.

Un autre pemphéridé (Parapriacanthus ransonnet) de petite taille (voisin des Priacanthidés) forme des bancs gracieux qui ferment l'entrée des grottes en un ballet délicat de lumière dorée.

- **Les Poissons anges (Pomacanthidés)** : Solitaires ou en couples, sont territoriaux. Les jeunes vivent généralement dans les eaux côtières peu profondes et portent une robe différente des adultes ce qui a conduit à de nombreuses confusions systématiques. Les centropyges forment un groupe d'anges de petite taille et très coloré. Ce sont des brouteurs d'algues filamenteuses. Les autres espèces se nourrissent d'algues, d'éponges et de bryozoaires, ils seraient placés dans la catégorie que nous ouvrons ci-dessous (brouteurs d'invertébrés sessiles), **(F. Trentin)**.

2.4.3.2 DÉTRITIVORES

2.4.3.2.1 DÉFINITION

La spécialisation alimentaire dite détritivore est celle d'une espèce qui se nourrit de restes organiques. Un grand nombre de crustacés et d'escargots sont considérés comme détritivores. Chez les poissons, les espèces qui se nourrissent de filaments d'algues et les espèces géophages sont parfois rangées dans cette catégorie de régime alimentaire.

2.4.3.2.2 EXEMPLES D'ESPÈCES

- Crevette Amano (Caridina multidentata)
- Crabe vampire (Geosesarma sp. Vampire)
- Mélie damier (Lybia tessellata)
- Poisson chat du Malawi (Synodontis njassae)

2.4.3.2.3 EXEMPLES DE TYPES CONCERNÉS

Poisson-chat nain et Poisson-phasme (www.fishipedia.fr).

2.4.3.3 ALGUIVORES

2.4.3.3.1 DÉFINITION

La spécialisation alimentaire dite alguivore, algivore ou algophage, est celle d'un animal qui se nourrit principalement d'algues **(www.fishipedia.com).**

Si les algues peuvent mettre en danger l'écosystème de l'aquarium, certains animaux sont d'une aide précieuse dans un aquarium pour réguler leur prolifération. Pour lutter contre celles-ci, une solution écologique est d'introduire dans l'aquarium des mangeurs d'algues qui se régaleront de ces indésirables : poissons de fond, escargots ou crevettes.

2.4.3.3.2 LES ALGUES DANS L'AQUARIUM

Les algues font partie de la vie de l'aquarium, et tant que leur présence reste minime, on s'en accommode. Une prolifération plus importante a une répercussion sur l'écosystème du bac : en cas de forte invasion, le taux d'oxygène peut chuter et menacer la vie animale. Les algues consomment aussi du dioxyde de carbone pour leur croissance, au détriment des plantes. Il peut en résulter une modification du pH et de la dureté carbonatée, aboutissant à une perturbation de l'équilibre du bac et un milieu hostile. Une plante colonisée par des algues est gênée et peut disparaître.

2.4.3.3.3 LUTTER NATURELLEMENT CONTRE LES ALGUES

La lutte écologique contre les algues est possible et donne des résultats performants uniquement si des changements sont intervenus afin de retourner vers un bon équilibre du milieu. En aquariophilie, il faut éradiquer au mieux ces indésirables. Laissez de côté les divers produits algicides du commerce pour vous tourner vers des poissons, crevettes et escargots pouvant assurer naturellement cette fonction. Et chaque type d'algues peut avoir son animal régulateur.

- **Les escargots**

Parmi les armes efficaces que la nature a mises à notre disposition, il y a les nérites, à raison d'un escargot pour une vingtaine de litres. Leur jolie coloration apporte une touche esthétique dans l'aquarium, sans oublier des formes sympathiques comme celles des nérites.

- **La nérite zébrée**

Cet escargot mangeur d'algues a tendance à passer du temps hors de l'eau et est un très bon allié pour lutter contre les proliférations d'algues. La nérite râpe les petits points verts d'algues très durs délaissés par les autres espèces alguivores.

- **La nérite noire**

Elle ne quitte pas le milieu aquatique. Elle est plus efficace pour éliminer les petites algues encroûtantes vertes sur les vitres, le décor et les plantes à feuilles dures.

- **Septaria porcellana**

Cet escargot à la coquille aplatie et décorée est un alguivore efficace appréciant les grands volumes.

2.4.3.3.4 LES POISSONS DE FOND

Il existe plusieurs espèces de poissons mangeurs d'algues (ou poissons de fond) qui se régalent de micro algues et de biofilm.

- **Le Garra flavatra**

Avec sa bouche en forme de ventouse, il passe son temps à sucer le décor et manger les plantes à la recherche de micro-algues et de biofilm végétal. Ce poisson grégaire joliment coloré apprécie une alimentation classique si l'apport en végétaux n'est plus suffisant. Il est disponible en tant que poisson d'élevage, et ne supporte pas un taux élevé de nitrates. Si les conditions de maintenance sont idéales (présence d'un courant d'eau notamment) les Sewellia et Gastromyzon, Pseudogastromyzon seront d'une aide précieuse. Ces espèces consomment le biofilm et participent à l'élimination des diatomées et des algues encroûtantes. Elles ne sont pas purement végétariennes, il est donc nécessaire de leur fournir des aliments carnés. Leur comportement, la façon dont elles se collent au décor, est un spectacle en soi.

- **Loricariidés**

Otocinclus affinis est idéal pour les petits bacs : sa taille modeste est un atout, son appétit pour nettoyer les plantes est à toute épreuve. Les algues encroûtantes naissantes et les gazons d'algues n'ont pas le temps de se développer qu'ils sont déjà tondus. Les algues visqueuses, les cyanobactéries de couleur bleu vert, sont délaissées par bon nombre d'espëces.

Crossocheilus oblongus est un microphage, plus actif lorsqu'il est jeune, qui lutte efficacement contre les algues pinceaux. Il est fortement actif le jour et doit vivre en groupe de plusieurs sujets dans un aquarium de plus de 100 litres.

Les Ancistrus sont intéressants comme poissons tropicaux à tout faire. Leur priorité n'est pas la présence des algues sur les feuilles des plantes. Par contre, ils sont efficaces sur les éléments du décor, comme les pierres. Ils apprécient particulièrement les racines qu'elles râpent, limitant ainsi les algues encroûtantes qui peuvent s'y fixer. La présence du bois dans l'aquarium est importante pour leur maintenance, car elles ont besoin d'une alimentation riche en fibres.

- **Les vivipares**

Certains vivipares sont plus connus que d'autres pour leur forte consommation d'algues. Ainsi, Ameca splendens, lorsqu'il est jeune, apprécie de sucer les algues et participe à leur limitation. **Poecilia sphenops** est une espèce solide, joliment colorée qui apprécie les végétaux, le zooplancton et le phytoplancton. Son action d'usure sur les algues pousse celles-ci à la régression. Sa reproduction étant facile, vous pourrez vite vous retrouver avec une armée de poissons anti-algues dans le bac.

- **Les crevettes**

De nombreuses espèces de crevettes d'aquarium existent pour luter contre les mauvaises algues du bac. Découvrez les deux plus répandues en France : **la crevette d'Amano** et **la crevette à nez jaune (Xiphocaris elongata)**.

Crevette d'Amano (Caridina multidentata) est une infatigable nettoyeuse. Grégaire, elle est à maintenir à raison d'un individu pour 20 litres. Elle nettoie le bac, mais consomme modérément les algues. Se débarrasser des algues filamenteuses n'est pas une mince affaire. **Xiphocaris elongata** est appréciée pour cette tâche. Moins bien connue que la crevette d'Amano, elle aussi a un cycle de reproduction avec un stade larvaire marin. Adulte, elle ne supporte plus le sel et doit remonter dans les petits cours d'eau douce débouchant sur la mer. C'est la seule crevette à se délecter des algues filamenteuses vertes. Un seul individu suffit pour entretenir un bac de 100 litres. **Neocaridina davidi** est une très bonne mangeuse d'algue et détritivore. Elle participe à l'éradication des micro-algues dont elle raffole. Dans un bac bien planté, pour créer un espace sombre et sécurisant, elle est très efficace. Cette espèce grégaire se plaît en groupe de plusieurs dizaines de sujets. C'est une inlassable nettoyeuse picorant les algues toute la journée.

2.4.3.3.5 LES PLANTES ANTI-ALGUES

Certaines plantes sont connues pour avoir une croissance rapide et permettre l'épuration de l'eau en pompant littéralement les nitrates et en absorbant les éléments nutritifs disponibles au détriment des algues. Le fort développement de **Ceratophyllum demersum** ou **Hygrophila difformis** est une bonne prévention, notamment lors de la mise en route d'un bac neuf. **Hygroryza aristata**, plante de surface, lutte à sa façon contre les algues en puisant dans l'eau de grandes quantités de substances nutritives **(www.autourdesanimaux.com).**

2.4.3.4 HERBIVORES

Les poissons sont les vertébrés aquatiques les plus variés du monde entier, il est en effet possible d'en trouver dans presque tous les endroits où il y a de l'eau. Il existe un large nombre d'ordres et de familles, chacune ayant des caractéristiques uniques qui les différencient des autres. En même temps, il existe des différences quant à leurs besoins écologiques et style de vie, et leurs habitudes alimentaires en dépendront directement. Il est possible de trouver une infinité de formes d'alimentation et, en outre, les aliments consommé par chaque groupe sont très variés, à tel point qu'il y a des poissons qui se nourrissent juste de la viande d'autres poissons ainsi que de celle d'autres animaux (ils sont carnivores), d'autres filtrent l'eau et certains d'entre-eux se nourrissent uniquement d'algues ou de végétaux.

2.4.3.4.1 CARACTÉRISTIQUES DES POISSONS HERBIVORES

Comme nous le disions précédemment, les poissons herbivores sont ceux dont la diète est basée sur la consommation de nourriture d'origine végétale. De manière générale, ils vivent dans les eaux chaudes des zones tropicales, et ils sont plus abondants que d'autres groupes de poissons, bien qu'ils soient également présents dans les zones tempérées. Ils contribuent réellement à l'équilibre écologique des mers, car il dépend d'eux que de nombreuses algues ou plantes aquatiques restent dans leurs limites et ne se développent pas outre mesure. De même, cela favorise le développement des coraux qui ont une croissance plus lente, de sorte qu'un changement dans l'abondance de certaines espèces de ces poissons pourrait entraîner des transformations drastiques dans les récifs, comme le fait d'être recouvert d'algues en peu de temps. D'un point de vue anatomique, ils ont certaines caractéristiques qui les différencient des autres poissons. Leur cavité buccale est généralement plus courte et arrondie, en plus, la majorité de ces poissons a des dents regroupés en rangées qui sont capables de triturer ou de gratter la nourriture, ainsi que pour creuser dans le sol. Les poissons-perroquet, par exemple, ont un bec dans lequel on retrouve des dents unies ou fondues dans la bouche, ces dernières leur permettent de gratter leur nourriture. En outre, leur système digestif se différencie des autres groupes que nous verrons par la suite. Certaines espèces pourraient être qualifiées de brouteuses, c'est-à-dire qu'elles broutent des algues (comme une vache le ferait dans une prairie), et qu'elles passent une grande partie du temps à se nourrir, car elles ont besoin de consommer un haut pourcentage d'algues ou de plantes vasculaires afin de couvrir leurs besoins nutritionnels et obtenir ainsi l'énergie suffisante.

2.4.3.4.2 QUE MANGENT LES POISSONS HERBIVORES ?

Ce groupe de poissons base son alimentation sur la consommation de matière végétale, que ce soit en se nourrissant d'algues de tailles différentes ou de plantes vasculaires aquatiques, ceci dépendra de la profondeur à laquelle ils habitent.

Comme nous le disions, ces animaux passent environ 90% du temps à la recherche de nourriture afin de se nourrir, car ce type d'alimentation leur apporte beaucoup de protéine végétale et de fibre, mais les quantités sont mineures, raison pour laquelle leur estomac est toujours en fonctionnement. De manière générale, ces poissons complètent leur alimentation avec d'autre type d'aliments, qui peuvent être d'origine animale, il est en effet très compliqué de parler de poissons strictement herbivores, toutefois, comme nous le verrons plus tard, certaines espèces consomment exclusivement des algues ou des plantes.

2.4.3.4.3 SYSTÈME DIGESTIF DES POISSONS HERBIVORES

Tous les poissons partagent des caractéristiques anatomiques générales, toutefois, chaque groupe a des différences liées à leur style de vie et à ses besoins écologiques. Dans le cas des poissons herbivores, l'estomac est une structure musculaire appelée gésier qui leur permet de triturer et digérer les fibres d'origine végétale. D'un autre côté, leur intestin est plus long que celui du reste des poissons, et il est plus long que le poisson lui-même, étant de 4 à 5 fois plus long que ce dernier, ce qui lui permet une bonne et lente absorption des nutriments.

2.4.3.4.4 NOMS ET EXEMPLES DE POISSONS HERBIVORES

- Poisson-perroquet bleu (Scarus coeruleus)

Appartenant à la famille Scaridae, ce poisson herbivore se distribue dans les zones tropicales et subtropicales à l'Ouest de l'océan Atlantique et de la mer des Caraïbes, où il vit dans les eaux peu profondes aux fonds sablonneux et aux récifs de coraux. Il peut mesurer de 30 à 80 cm et il est caractérisé pour sa couleur bleue intense et pour son "bec" situé au niveau de sa bouche formée des mâchoires ainsi que d'une bosse, présente chez les mâles et les femelles, sur la tête. Leur bec leur permet de se nourrir des algues disponibles dans les récifs de coraux, ce qui fait qu'ils participent au contrôle de leurs populations et, ainsi, empêcher qu'ils recouvrent complètement les coraux. En plus, ils ont des dents pharyngées, c'est-à-dire qu'au niveau de la gorge ils ont des dents qui leur permettent de ronger le corail et les roches tout en leur permettant de les triturer formant, de cette manière, du sable qui sera expulsé par le poisson. C'est ainsi que les poissons-perroquet bleu remplissent un rôle très important dans la formation de bancs de sable et de petites îles.

- Saupe brésilienne (Kyphosus sectatrix)

Appartenant à la famille Kyphosida, la Saupe brésilienne habite les eaux côtières tropicales et subtropicales tout autour du monde entier. On peut l'observer dans les zones houleuses et les endroits peu profonds où se trouvent des algues et des substrats rocheux et sablonneux. C'est un poisson qui mesure entre 50 à 70 cm et la forme de son corps nous donne l'impression qu'il a un long museau. Sa couleur varie entre les tons verdâtres à gris au niveau du ventre, mais des individus peuvent curieusement être de couleurs jaunes avec des taches. C'est un poisson qui forme des bancs et il est courant de les voir au côté d'autres espèces de poissons. Ils se nourrissent principalement des algues brunes, mais si la situation le requiert, ils peuvent aussi consommer des mollusques et des déchets de mammifères aquatiques, comme ceux des dauphins.

- Saupe (Sarpa salpa)

La saupe est un poisson herbivore de la famille Sparidae présent en Méditerranée, dans le Nord de l'océan Atlantique, le Golfe de Gascogne, le canal du Mozambique, les îles Canaries, à Madère et aux Açores. De manière générale ils vivent à environ 15 ou 20 mètres de profondeur. Il a un corps ovale et comprimé d'environ 50 cm de long, il est de couleur grisâtre avec des franges oranges caractéristiques situées sur les côtés du corps et il est possible d'observer sur son dos une seule nageoire dorsale. C'est une espèce grégaire qui nage toujours en compagnie et, bien que les adultes soient herbivores, les jeunes sont omnivores. Ils nagent toujours à plusieurs et ils consomment plusieurs types d'algues, dont la plupart appartiennent à des espèces exotiques toxiques, ce qui fait que sa consommation puisse causer des problèmes de santé chez les êtres humains. Comme il s'agit d'une des quelques espèces de poissons herbivores présentes en Méditerranée, les saupes remplissent un rôle important pour la sauvegarde de l'écosystème.

- Chirurgien bleu (Paracanthurus hepatus)

Aussi connu comme chirurgien-palette, ce poisson appartient à la famille Acanthuridae et on le retrouve dans de nombreuses mers du monde entier, comme en Australie, Asie et Afrique. Il vit dans des zones aux récifs coralliens à des profondeurs de plus de 30 mètres, utilisant certains coraux pour se cacher de certains prédateurs. C'est une espèce qui mesure environ 30 cm de longueur, il est de couleur bleu brillante sur le corps entier, deux franges noires sur les côtés et avec des nageoires pectorales et caudales sur lesquelles on peut voir des détails jaunes. Pour leurs couleurs et leur forme, ils sont fréquemment capturés par des aquariophiles. Les jeunes nagent généralement en groupes et ils se nourrissent exclusivement de plancton. Les adultes ne sont pas strictement herbivores, mais ils basent la majorité de leur alimentation sur la consommation de macro-algues.

- Poisson perroquet à bande rouge ou perroquet arc-en-ciel (Sparisoma aurofrenatum)

Ce poisson de la famille Scaridae est endémique à l'Ouest de l'océan Atlantique où il vit des Bermudas jusqu'au Brésil, incluant toute la partie des Caraïbes. Il peut vivre jusqu'à une profondeur de 70 mètres, mais en général il préfère les zones coralliennes où il y a des algues et des plantes marines qui font partie de son alimentation. Il est d'environ 30 cm de longueur et d'une couleur rougeâtre sur le corps entier, ses nageoires sont rouges et il est reconnaissable pour la tache noire qui se trouve derrière l'opercule, même si certains individus peuvent ne pas l'avoir. Les jeunes, pour leur part, sont de couleur plus brune/marron et leur ventre est rouge.

De manière générale, il se bouge en petits groupes et à l'époque de reproduction il se déplace dans les fonds marins où se trouvent des zones de broutages et où il se reproduit. C'est une espèce hermaphrodite protogyne, c'est-à-dire qu'il a les deux sexes jusqu'à l'époque reproductive, moment où il se transforme en mâle. Découvrez plus d'espèces animaux hermaphrodites!

- Poisson-chirurgien barbier océanique (Acanthurus bahianus)

Le Poisson-chirurgien barbier océanique appartient à la famille Acanthuridae et il vit dans les zones tropicales de l'océan Atlantique occidental où il vit dans des zones de récifs coralliens aux fonds sablonneux et en présence de prairies d'algues, étant une des espèces herbivores les plus courantes aux endroits où elle vit. C'est un poisson à la forme ovale et il peut atteindre plus de 30 cm de longueur. Il est d'une couleur brune/violacée avec des nageoires plus jaunes, un bec légèrement allongé et une petite bouche. Ils forment des petits groupes territoriaux, dans lequel se trouvent d'autres espèces, comme le chirurgien bayolle (Acanthurus coeruleus) avec lesquels ils patrouillent leur territoire où ils se nourrissent à des profondeurs pouvant aller jusqu'à 40 mètres.

- Carpe de roseau (Ctenopharyngodon idellus)

Aussi appelé carpe herbivore, c'est un poisson de la famille Cyprinidae originaire d'Asie et qui est également présent en Sibérie et en Chine où il habite les fleuves aux eaux lentes et à la végétation aquatique abondante, pouvant se trouver jusqu'à 30 mètres de profondeur. C'est une espèce très tolérante à la salinité de l'eau ainsi qu'à la déficience d'oxygène. Ils peuvent mesurer plus d'un mètre et leur corps est de couleur brune/verdâtre. Il s'agit d'une espèce qui a été introduite aux États-unis et en Europe afin de contrôler la croissance de certaines plantes aquatiques. En outre, c'est un des poissons les plus utilisés en aquaculture, car il a une croissance extrêmement rapide. La carpe de roseau se nourrit principalement d'algues et de plantes atlantiques, mais il peut compléter son alimentation en consommant des détritus ou des insectes.

- Carpe argentée (Hypophthalmichthys molitrix)

Cette espèce de poisson appartient à la famille Cyprinidae et il est natif d'Asie de l'Est. Il est possible de le voir en Chine et en Sibérie, en plus de certains d'autres pays où il a été introduit. Il vit en zones tempérées et subtropicales, dans des fleuves et lacs aux eaux lentes où il est courant de les voir proche de la surface. La carpe argentée mesure près d'un mètre de long et elle est d'une couleur verdâtre/argentée, d'où elle tire son nom. A différence d'autres espèces de carpes, ce poisson a des yeux situés au niveau du ventre. Son introduction à d'autres pays est due au fait qu'elles étaient utilisées pour le contrôle des populations des algues filamenteuses et de certaines espèces de plantes aquatiques, mais comme c'est le cas de la carpe koï, ses populations ont causé de nombreux problèmes écologiques dans certaines zones, car elles consomment tous types de plantes, et pas seulement celles qu'elles devaient contrôler, se convertissant ainsi en une espèce envahissante.

- Johannii (Melanochromis johanni)

Ce poisson est endémique du lac Malaewi en Afrique orientale où on le trouve dans des zones rocheuses de plus de 15 mètres de profondeur. Leur corps est allongé et il mesure environ 10 cm de long, la femelle étant plus petite et de couleur jaune ou avec des bandes plus obscures sur les côtés. Le mâle, pour sa part, a un corps de couleur bleu avec des bandes blanches ou plus claires sur les latéraux.

Le Johannii est une espèce tranquille et grégaire, bien qu'elle soit territoriale avec les mâles de la même espèce ou du même genre, car elles ont les mêmes couleurs et elle peut les confondre avec ceux de son espèce. De manière générale, elles consomment des algues collées aux rocs et au plancton et c'est pourquoi il est courant de les voir dans les fonds rocheux.

- Tilapia du Nil (Oreochromis niloticus)

De la famille Cichlidae, la tilapia du Nil, comme son nom l'indique, est originaire du Nil, mais elle est aussi présente dans les régions du Moyen Orient où elle habite les eaux tranquilles et peu profondes. Son corps est ovale et comprimé latéralement, il mesure environ 60 cm de longueur et sa couleur est grisâtre, les mâles reproducteurs ont des couleurs rougeâtres au niveau de la nageoire caudale.

C'est une espèce qui présentement a été introduite dans d'autres régions pour être consommée, car il possède une large tolérance aux conditions environnementales et à l'alimentation. En outre, il se reproduit facilement et il compte sur une grande résistance aux maladies. Il se nourrit principalement de plantes aquatiques, mais il peut aussi consommer des petits invertébrés et filtrer des particules en suspension.

2.4.3.4.5 D'AUTRES POISSONS HERBIVORES

En plus des poissons herbivores mentionnés précédemment, nous pouvons également vous citer :

- Saupe cuivrée (Kyphosus vaigiensis)
- Scalaire (Pterophyllum scalare)
- Sphinx blenny (Aidablennius sphynx)
- Scarus taeniopterus

- L'os vert ou le Butterfish (Odax pullus)
- Batteur argenté (Kyphosus sydneyanus)
- Siganus vulpinus
- Rachis marbré (Siganus rivulatus)
- Rotengle (Scardinius erythrophthalmus)
- Gardon (Rutilus rutilus)
- Scartichthysviridis Nason à éperons bleus (Naso unicornis)
- Nasique (Naso brevirostris)
- Nain rouge (Centropyge multispinis)
- Poisson-papillon de Klein (Chaetodon kleinii)
- Poisson-chirurgien à deux taches (Ctenochaetus binotatus),**(Antoine Decrouy,2020)**.

2.4.3.5 MOLLUSCIVORES

Le régime alimentaire molluscivore (ou malacophage) est une spécialisation du type carnivore, voir durophage, qui inclut des mollusques (mais pas forcément exclusivement), généralement des escargots dans l'alimentation. Les espèces molluscivores sont incompatibles avec les espèces conchylicoles. De nombreux Tetraodontiformes, comme ici un tétraodon nain d'eau douce, sont molluscivores. Un escargot, devenu très connu et assez commun dans les aquariums d'eau douce est Anentome helena, est un molluscivore très utile en milieu dulcicole pour amoindrir une population d'autres escargots envahissants. De nombreuses loches, du genre Botia ou tétraodons, tel que par exemple : Carinotetraodon travancoricus, sont molluscivores. Du latin **molluscivora** qui signifie "molluscivore". Les animaux molluscivores sont, d'une certaine, des molluscicides naturels **(www.aquaportail)**.

Un molluscivore (ou malacophage) est un animal carnivore (éventuellement saprophage) qui se nourrit surtout de mollusques. **Carinotetraodon travancoricus** est un poisson molluscivore. Plusieurs espèces de poisson-coffre et de loches correspondent à cette catégorie. Les mollusques étant souvent bien protégés par leur coquille, l'évolution a doté les poissons molluscivores d'une denture et de techniques de prédations très spécialisées. On les divise généralement en deux groupes :

- **Les « broyeurs »** , par exemple le poisson-coffre serait plutôt un broyeur car il utilise ses dents, semblables à un bec, pour casser la coquille et accéder à la chair à l'intérieur.
- **Les « slurpers »** , les loches sont des slurpers spécialisés qui se servent de leur museau de forme caractéristique pour saisir l'animal vivant à l'intérieur de la coquille **(Meunier F. ,2012)**.

2.4.3.6 MANGEURS D'INSECTES

Des insectes, nourritures vivantes pour des poissons d'aquarium.

2.4.3.6.1 LES INSECTA, INSECTES

Aujourd'hui sont disponibles dans la plupart des commerces d'aquariophilie, des nourritures vivantes que l'on peut distribuer directement dans un aquarium ou bien utiliser comme souche pour démarrer un élevage. Les proies vivantes stimulent l'appétit des pensionnaires, leur activité, les fonctions hormonales, c'est donc une alimentation adaptée pour les reproducteurs, ainsi que pour quelques rares espèces et certains invertébrés qui n'acceptent comme alimentation que des proies vivantes.

Les alevins sont pratiquement tous alimentés à partir de nourritures vivantes, généralement de très petites dimensions. Les nourritures vivantes présentent aussi l'avantage de ne pas se décomposer immédiatement après leur distribution, laissant du temps aux pensionnaires pour les trouver. Ces nourritures vivantes se conservent quelques jours au réfrigérateur, entre 1 et 3°C, elles doivent être distribuées rapidement avec parcimonie et beaucoup d'attention sur leur innocuité.

Les nourritures vivantes les plus fréquentes sur le marché sont soit des vers : anguillula, enchytrées, lumbriculus, tubifex, soit des organismes microscopiques : infusoires, rotifères ..., soit des crustacés : Artémia salina, krill, Daphnie, soit des insectes: des drosophiles ou des larves d'insectes en particulier de moustiques ou de cousins les vers de vase, objet de cette page. Les Insecta, insectes en français, appartiennent à la branche animale **des Arthropoda**, c'est-à-dire que ce sont des invertébrés avec un squelette externe segmenté et articulé, dont des pattes articulées. Tous les insectes possèdent une tête, un thorax, un abdomen, six pattes deux antennes et quatre ailes parfois réduites à deux ou atrophiées ou absentes.

Les Diptères sont une catégorie d'insectes possédant une seule paire d'ailes, parfois absentes, ce sont les mouches, moucherons, moustiques et cousins. Les insectes se développent à partir d'œufs produisant des larves qui se transforment en

nymphes ou chrysalides avant de devenir adultes. Ce sont **les larves de Diptères** qui constituent généralement une excellente nourriture pour les alevins de poissons. Nous retiendrons comme nourritures vivantes à base d'insectes :

- Les larves de moustiques
- Les vers de vase
- Les drosophiles

2.4.3.6.2 LARVES DE CULICIDAE (MOUSTIQUES)

Les Culicidae forment une famille d'insectes communément appelés **moustiques**, ce sont des Diptères. Ils sont caractérisés par des antennes longues et fines, des ailes et les femelles possèdent un organe buccale rigide de type piqueur-suceur. Il existe 3 à 4 000 espèces de moustiques. Ces moustiques pondent dans l'eau des œufs, donnant une larve de très petite taille, larve qui par trois mues successives atteint une taille de 4 à 10 mm, pour ensuite passer par un stade de nymphe avant de devenir un moustique terrestre. Les larves vivent essentiellement en surface de l'eau, car elles ont besoin de l'air pour respirer.

2.4.3.6.3 LARVE DE MOUSTIQUE

Ces larves de moustiques sont disponibles sur le marché sous forme vivantes, lyophilisées ou gelées, elles sont utilisées comme nourriture en aquariophilie d'eau douce, elles sont commercialisées soit vivantes, soit lyophilisées ou congelées. Vivantes, elles sont appréciées par les espèces prédatrices : Cichlidae, Betta, Trichogaster, Trichopodus... Ces moustiques représentent le plus important groupe d'organismes vecteurs d'agents pathogènes transmissibles à l'être humain. Compte tenu de l'arrivée en France, ces dernières années, de moustiques porteurs de maladies très dangereuses pour l'homme, tout élevage de moustiques est fortement déconseillé.

2.4.3.6.4 LARVES DE CHIRONOMIDAE (VERS DE VASE)

Les Chironomidae (Chironomes) forment une famille d'insectes souvent appelés **cousins**, ce sont des Diptères qui ressemblent aux moustiques, mais les femelles ne possèdent pas d'organe buccal piqueur. Les Chironomes pondent leurs œufs dans l'eau douce, des larves s'en échappent, ce sont de petits vers rouge sang appelés **vers de vase**. Ils vivent au fond, dans la vase d'eaux boueuses stagnantes, souvent très polluées. Les larves de l'espèce Chironomus plumosus sont généralement proposées comme nourriture des poissons exotiques d'eau douce et comme appât pour les pécheurs. Elles sont disponibles sur le marché sous forme vivantes, surgelée ou lyophilisée.

2.4.3.6.5 CHIRONOMUS PLUMOSUS

La Chironomus plumosus est l'espèce dite vers de vase, de couleur rouge il mesure 1 à 2 cm de long et environ 2 mm de diamètre. C'est une nourriture utilisée en aquariophilie d'eau douce, elle est fort riche en protéines et en conséquence, malgré que les poissons adorent ce met, il n'est pas conseillé de leur en distribuer souvent.

Les vers de vase sont commercialisés soit vivants, soit lyophilisés ou congelés. L'élevage est très délicat pour un amateur.

2.4.3.6.6 DROSOPHILA

Les Drosophila sont des petites mouches, dites **"mouches du vinaigre"**, ce sont des Diptères de la famille **des Drosophilidae**, il en existe plus de 400 espèces. L'espèce **Drosophila melanogaster** est la plus connue et la plus utilisée dans les laboratoires, une mutation de cette espèce donne **des mouches aptères**, c'est-à-dire sans ailes ou avec de ailes atrophiées ne leur permettant pas de voler. Cette variété est élevée pour les besoins de nourritures de certains animaux comme les batraciens, mais aussi en aquariophilie. Ces mouches ont la particularité d'être résistantes à la radio activité. Elles sont aussi considérées comme des animaux domestiques **(www.aquariophilie-aquarium)**.

2.4.3.7 MANGEURS D'ÉCAILLES

La lépidophagie (Lat. lepidos (écaille)) est le régime alimentaire qui consiste à manger des écailles de poissons. On la trouve chez certains poissons, comme le Catoprion mentonnier, ou les Perissodus du lac Tanganyika, dans au moins cinq familles d'eau douce et sept familles marines. Les branchioures, ou « poux de poissons » peuvent aussi présenter ce régime alimentaire. Les écailles de poissons sont une source de nourriture étonnamment nutritive, des couches contenant de la kératine et l'émail,

ainsi que d'une partie dermique et une couche de mucus riche en protéines. Ils sont une source riche de phosphate de calcium **(fr.m.wekipédia)**.

2.4.3.8 PISCIVORES

Un animal piscivore (du latin : piscis, « poisson » et vorare « avaler, manger ») ou ichtyophage (du [grec ancien], « mangeur de poissons », composé de ἰχθύς / ikhthús (« poisson ») et de φάγος / phágos) est un animal se nourrissant de poissons. Couleuvre d'eau (Nerodia sipedon) mangeant un poisson.

2.4.3.8.1 DANS LA NATURE

On connait un large éventail d'espèces occasionnellement ou uniquement ichtyophages ; elles jouent un rôle important de régulation et un rôle eco-épidémiologiquement important d'« assainissement » (sélection naturelle, élimination des animaux malades...).

Les ichtyophages peuvent être :

- **D'autres poissons** (prédateurs tels que thons ou requins, avec aussi cas fréquents de cannibalisme chez certains poissons);
- **Des mammifères aquatiques** (phoques, orques par exemple) ; **des animaux non marins et non-aquatiques** (tels que le pygargue ou l'ours par exemple). Certaines espèces ne s'attaquent qu'aux cadavres de poissons (nécrophages), jouant alors un rôle important d'éboueur de l'environnement.

2.4.3.8.2 EXEMPLES

- Poissons piscivores (très nombreux)
- Oiseaux piscivores (exemple : aigrettes, hérons, cormorans, mouettes, goélands, balbuzards et aigles pêcheurs,martin-pêcheur), chauves-souris piscivores (assez rares), loutres, ours, ...
- Serpents piscivores (ex : couleuvres ou serpents jarretière (thamnophis)
- Tortues piscivores
- Méduses (marines ou d'eau douce)
- Arthropodes (passant tout ou partie de son cycle de vie sous l'eau, et adaptés à la capture des proies aquatiques tels que les petits poissons, têtards, grenouilles, etc.

Parmi les plus connus figurent **les scorpions d'eau (Nepidae), les Belostomatidae** et **notonectes (Notonectidae)**, ou encore **les Corixidae** connus pour tuer et manger de petits poissons. Une espèce de trichoptère, **Plectrocnemia conspersa (pl)** (de la famille des Polycentropodidés) a aussi été observée se nourrissant sur les alevins de poissons, de même que certaines larves ou nymphes de libellules Cordulegaster (Cordulegastridae) capables de tuer les poissons de plus de 2,5 cm de long. Les dytiques et d'autres coléoptères aquatiques (Hydrophilidae) mangent aussi de petits poissons.

- Araignées piscivores (appartenant le plus souvent aux genres Dolomedes et Nilus (« araignées de pêcheuses »). On a récemment montré que les araignées ichtyophages sont plus fréquentes qu'on ne l'avait d'abord pensé **(Helfman G. et al. 2009)**.

2.4.3.9 PÉDOPHAGES

Le pédophage se dit des poissons mangeant les oeufs d'autres poissons (une traduction donnerait littéralement : mangeurs d'enfants). Les pédophages du genre **Haplochromis** (ex-genre Lipochromis ; sous-genre Cleptochromis) habitant le lac Victoria ont un appareil spécialisé pour forcer l'ouverture de la bouche des femelles Cichlidés en incubation **(www.aquaportail)**.

Dans le domaine restreint de la zoologie, les pédophages sont les animaux, essentiellement des poissons, qui se nourrissent (en général presque exclusivement) des œufs ou/et des alevins d'autres poissons **(wikipédia)**.

2.4.3.10 ZOOPLANCTONOPHAGES

Un zooplanctivore est un animal se nourrissant de migro-organismes animaux constituant le zooplancton. Sont zooplanctivores divers poissons (les cirrhilabrus).

Bien que le plancton soit constitué de créatures minuscules, comme le krill, il est capable de constituer des masses colossables, seules à même de nourrir les corps énormes des baleines à fanons **(fr.m.wikipédia)**

Un animal planctonivore ou **planctophage** se dit d'une espèce qui se nourrit exclusivement de plancton. Divers animaux marins sont planctonivores comme diverses espèces de poissons (requin-baleine, raie manta..) mais aussi certaines espèces de mammifères marins telle que la baleine bleue. Bien que le plancton soit constitué de minuscules organismes comme le krill, cette source de nourriture peut nourrir à elle seule les corps énormes des baleines à fanons **(www.manimalworld.net)**.

2.4.3.11 TYPES D'ALIMENTS CONSOMMÉS PAR LES ESPÈCES (T. NILOTICUS ET C. GARIEPINUS)

2.4.3.11.1 RÉGIME ALIMENTAIRE DE TILAPIA NILOTICUS OU NILOTICA

Le Tilapia nilotica est un omnivore à tendance végétarienne. Son régime alimentaire au milieu naturel consiste d'une part de phytoplancton filtré par les microbranchiospines et prise par le mucus sécrétée par des glandes buccales. Les diatômées sont les plus importants **(Freyer et Iles, 1972)**. En même temps, le T. nilotica consomme des zooplanctons, insectes aquatiques et toute sorte de sous produits agricoles dont le son de riz, le tourteaux de coton, etc. **(Yashouv et Chervinski, 1971), (Hastings, 1973)**. Les besoins en protéines et l'équilibre en acide aminés sent les principaux facteurs affectant la croissance et posant le plus de problèmes quant à la source de nourriture. Pour toutes les espèces de poissons dont les études des besoins nutritifs sont faites, il y a dix acides aminés indispensables. La quantité de chacun de ces acides aminés presente dans l'aliment est liée directement à la croissance du poisson **(Halver, 1976)**. Il existe des acides gras essentiels necessaires aux poissons ; l'addition d'acide linolenique à l'aliment peut améliorer la croissance dans certains cas **(Lee et Sinnhuber, 1972)**. Les lipides sont généralement bien digérés par les poissons et sont une bonne source d'énergie.

La digestion des glucides differt largement avec l'espèce de poissons. Le T. nilotica à tendance végétarienne, il semble donc que l'alimentation composée peut avoir une haute teneur en hydrates de carbone comme source calorifique. L'augmentation d'energie par lipides et glucides dans l'aliment peut introduire une économie des besoins en protéines **(Philipps, 1972)**.

Les besoins en vitamines sont connus pour quelques espèces de poissons. Pour les poissons phytoplantoniques dont le T. nilotica la vitamine thiamine B1 prend alors plus d'importance car les besoins de cette vitamine sont liés à la consommation d'hydrates de carbonne. Les autres vitamines fonctionnent dans le métabolisme et système de coensymes: le manque d'une vitamine spécifique est manifesté par le défaut d'un système **(Halver, 1972)**. Les besoins de traces de minéraux sont très peu connus ; l'iode est necessaire pour le fonctionnement du thyroid **(Halver, 1976)**.

Quant à la physiologie de digestion, les ensymes actifs dans l'estomac et les intestins reflètent les habitudes alimentaires de chaque espèce de poissons. Pour T. nilotica, l'alimentation à haute teneur d'amidon a diminuée l'activité des proteases et augmentée l'activité des amylases **(Nagayama et Saito, 1969**).

Le T. nilotica a la capacité d'adaptation physiologique à certains aliments.

Pour l'élevage de T. nilotica en étangs, les granulés faites avec 31,7% de protéines, 36,6% d'ENA (extrait non azoté) et 6,7% de lipides ont donnés de bons résultats (Hastings, 1973). Un aliment composé de tourteaux d'arachide et de soja, de farine de poisson, de levure de brasserie et de foie de boeuf a servi à nourrir T. nilotica en bac **(Shell, 1967)**.

Pour l'élevage de Tilapia en cages, un mélange à 18% de protéine, 12,5% de lipides et 54,7 % d'ENA était mis en essai au Lac de Kainji **(Konikoff, 1975)**. Un mélange simple de son de riz et de farine de poissons est utilisé en cages aux Philippines **(Guerraro, 1977)**. Pour les premièrs essais d'élevage à Kossou, une alimentation de volailles à 24,5% de protéines, 4,3% de lipides et 53,6% d'ENA a donnéc des résultats acceptables, mais il y a énviron 30% de mais concassé dans l'alimentation qui n'est pas bien digére par le tilapia et le prix est excessif pour l'élevage de poissons.

Pour la composition des aliments complets de poissons, les sources des nutrients consistent pour la plupart de sous-produits industriels et agricoles. Parmis ces sous-produits, certains comme la farine et le son de riz, les drêches de brasserie, le remoulage de blé, les tourteaux de palmistes etc… sont actuellement disponible en Côte d'Ivoire et sont de bonnes sources d'hydrates de carbons. Les tourteaux de cotons, d'arachide et de copra sont de sources de protéines végétales; la farine de poissons est une source de protéines et de lipides animales. Il existe beaucoup d'autres sous-produits en Côte d'Ivoire, pourtant les problèmes d'approvisionnement, de conservation, de transport et de transformation sous forme de granulés ont prohibité leur mise en essai à Kossou. Les essais de formulation des aliments adaptés à l'élevage de T. nilotica en cages ont suivit les principes majeurs suivants:

- L'augmentation de calories par la haute teneur en hydrates de carbone et lipides afin d'économiser les besoins en protéines.
- L'introduction d'un complexe de vitamines dans l'aliment pour déterminer l'insuffisance de vitamines dans l'aliment.
- L'augmentation de la teneur en acides aminés indispensables pour voir l'effet sur la croissance.

Du point de vue économique, la subtitution de certains ingredients afin de diminuer le prix de l'aliment.

2.4.3.11.2 RÉGIME ALIMENTAIRE DE C. GARIEPINUS

Selon **Corbet (1958, 1961)**, C. gariepinus a un régime omnivore. Les jeunes se nourrissent d'insectes divers, de graines, de débris de végétaux ; les adultes consomment des poissons et des mollusques. Ce régime se retrouve chez ce poisson au niveau du Kou. Les Arthropodes, précisément les Insectes sont les proies préférées de C. gariepinus. Les débris de plantes et les petits poissons constituent leur alimentation secondaire, tandis que les batraciens sont leurs proies accidentelles. Ces batraciens ont été retrouvés au niveau des estomacs des poissons avant la saison des pluies. Cette période se caractérise par un faible taux de macroinvertébrés adultes au niveau de la rivière. Pendant les hautes eaux, les proies des poissons sont constitués d'adultes d'Insectes avec une préférence pour les Coléoptères. Ce constat ne met nullement en doute les résultats de **Coffman** et **Ferrington (1994)** qui affirmaient que la plupart des prédateurs aquatiques se nourrissent de Chironomidae a un moment donné de leur développement. En effet la bonne corrélation entre la densité des macroinvertébrés benthiques et le facteur de condition de Fulton, indique que ces poissons sont bien nourris pendant les périodes de prolifération des Chironomidae. Cependant, la chute de la valeur en début de saison serait liée au stress éventuel lié à tout début de saison des pluies dans les plans d'eau au Burkina Faso comme l'indiquait **Kabré (1994)**.

Selon **Paugy et Levêque (1999)**, les espèces de poissons se nourrissent des proies qu'elles trouvent dans le milieu où elles vivent et le régime alimentaire peut changer d'un endroit à un autre ou d'une saison à l'autre. Toujours selon ces mêmes auteurs, il y a une relation entre la forme de la tête et le régime alimentaire. Donc, la forme aplatie de la tête de ce poisson lui permet de racler les fonds de rivière donc de consommer en majorité les Chironomidae pendant les périodes d'étiage et les périodes de hautes eaux.

3 MILIEU D'ÉTUDE ET MÉTHODOLOGIE DU TRAVAIL

3.1 PRÉSENTATION DU MILIEU D'ÉTUDE

3.1.1 SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Le site de Kalengera se repère spécialement en RDC dans la province du Sud-kivu, ville de Bukavu et précisément dans la commune de Bagira. Il est limité au nord par le quartier Mulambula, au sud par le lac Kivu, à l'est par Bwindi et à l'ouest par la commune d'Ibanda.

3.1.2 HISTORIQUE DE SITE DE KALENGERA

Kalengera étant un site piscicole, est institué d'une symbiose de pêcheurs ayant une association dénommée **"COPEFIMA"** qui veut dire Comité de Pêcheurs au Filet Maillant sur le lac Kivu. Ce comité regorge toutes les étendues permanentes au sein du lac Kivu. COPEFIMA a été créé depuis 1995 tout en ayant une subdivision de 55 groupements. À l'époque du Rassemblement Congolais pour la Démocratie (RCD), COPEFIMA se répandait au Nord-Kivu et au Sud-Kivu.

Après la subdivision de celui-ci, chacune de ces provinces était restée indépendante dans la gestion des activités piscicoles qui se pratiquaient sur le lac Kivu. Signalons que dans le Nord-Kivu, il y a encore quelques groupements d'individus qui sont membres de COPEFIMA au Sud-Kivu. Ce Comité de Pêcheurs au Filet Maillant sur le lac Kivu est chapoté par **Muhindo Nzenze Ntindi**, celui-ci étant secondé par 8 autres personnes. Cette association est donc constituée de 9 personnes dans toute son intégralité.

3.1.3 ESPÈCES DE POISSONS CULTIVÉES AU LAC KIVU

Aujourd'hui, le lac Kivu qui étant un biotope d'espèces aquatiques compte plus de 30 espèces de poissons ; mais les plus pêchées et connues sont les suivantes :

- Limnothrissa miodon (Sambaza)
- Tilapia niloticus
- Haplochromis sp (Ndugu)
- Clarias gariepinus (Kambale)
- Stholosthrissa tanganicanus (Kagame)
- Barbus,...

De ces espèces énumérées ci-dessus, seules le Clarias gariepinus, Limnothrissa miodon et Haplochromis sp sont celles qui se reproduisent assez au sein de ce biotope dulçicole **(Source : Descente sur terrain au site de Kalengera)**.

3.2 MÉTHODOLOGIE DU TRAVAIL

La méthode d'occurrence, nombre, volume et poids nous a permis d'étudier lecologie alimentaire des poissons (Tilapia niloticus et Clarias gariepinus) qui permet de connaître le nombre de poissons dans lequel chaque type de nourriture apparaît exprimer comme un pourcentage du nombre total des poissons examinés avec le nombre total des individus de chaque type de nourriture donné comme dominant ou récessif et exprimer le volume ou poids de chaque type de nourriture dans chaque estomac avec le pourcentage bénéfique de son contenu.

3.2.1 COLLECTE DES DONNÉES BASÉES SUR L'ÉCHANTILLONNAGE

a. **Au premier niveau d'échantillonnage** : la sélection de débarquements où vont se dérouler les enquêtes d'évaluation des captures sera faite par strate dans l'ensemble des sites d'alimentation selon l'écologie au niveau de Kalengera , on identifie les sites de débarquements et puis on détermine autant des sites à Kalengera d'écologie alimentaire desTilapias niloticus et Clarias gariepinus.

b. **Au deuxième niveau d'échantillonnage** : on va faire l'identification ou la détermination des jours d'observation du mois pour chaque site identifié au premier niveau d'échantillonnage tout en tenant compte des phases linéaires.

c. **Au troisième niveau d'échantillonnage** : on identifie les individus de Tilapia niloticus et Clarias gariepinus , leur mode de vie , d'alimentation , leur rentabilité économique ainsi que les nombres d'unités de pêche sur lesquelles les mesures seront faites et fixées dans chaque site de débarquement et pour les jours du mois retenus aux précédents d'échantillonnage. On fait le calcul de capture totale.

Capture totale = Nombre d'unités de pêche de l'enquête cadre x coéfficient d'activité d'embarcation (BAC) x nombre des jours de pêche (NP) x capture par unité d'effort.

BAC = Nombre d'embarcations actives : nombre total d'embarcations

CPUE = c'est la moyenne de capture d'une unité de pêche par unité de temps. Pour l'alimentation : la méthode Tn M +3A et on calcule le quotient nutritif

Qn = quotient de la nourriture distribuée : Gain de poids

Gain de poids = Poids final - poids initial

En troisième lieu , on calcule le rapport gonado-somatique

RGS = G/Px100

P = Poids total du corps

G = Poids gonade

GSI = Gonado-somatic-index

- La méthode statistique nous a aidée à constituer des tableaux des données issues de notre enquêtes sur notre terrain d'étude ;
- La méthode analytique nous a permis d'analyser toute les données et de les interpréter ;
- Les techniques de l'interview par le questionnaire et la documentation nous ont permis de récolter les données de cet étude ;
- Les outils utilisés sont le questionnaire, le bloc note, le crayon et le stylo.

L'échantillon aléatoire est déterminé par la formule de Lynch revêtant pour nous le caractère plus scientifique.

L'échantillon aléatoire est déterminé par la formule de Lynch revêtant pour nous le caractère plus scientifique.

$$N=\frac{NZ^2.p.q}{Nd^2+Z^2.p.q}$$

$$N=\frac{499(1,96)^2(0,5)(0,5)}{499(0,0025)+(1,96)^2.(0,5)(0,5)}$$

$$N=\frac{499(3,8416)\quad(0,25)}{499(0,0025)+(3,8416)\quad.0,25}$$

$$N=\frac{499.0,9604}{1,2475+0,9604}=\frac{479,2396}{2,2079}=217$$

Comme N< 10 000, nous devons calculer N révisé par la formule suivante $Nr=\frac{1+n}{1+\frac{n}{N}}=\frac{1+217}{1+\frac{217}{499}}=\frac{218}{1.4348}=152$

3.2.2 REPRODUCTION FAVORISÉE

Compte tenu des observations sur le comportement de reproduction du Clarias en milieu naturel, plusieurs méthodes ont été utilisées pour favoriser la reproduction et la survie des larves, avec ou sans addition d'hormones d'origine extérieure.

3.2.2.1 REPRODUCTION EN BACS EN BÉTON

La méthode de reproduction favorisée en bas de béton ou en étang est l'une des premières à avoir été utilisée. Les géniteurs sont choisis pour leur degré de maturité sexuelle (ventre ballonné des femelles et agressivité des mâles). Ils sont placés dans des étangs ou dans des bacs de petite dimension : (ordre de grandeur : 1x0,5m en surface et 0,7 m de profondeur). Le fond du bac est couvert de cailloux ronds et propres. Le niveau d'eau est de 20 cm environ au début de l'opération. Les géniteurs sont placés dans les bacs en général après injection hormonale (suivant la saison et leur degré de maturité) dès le matin. La crue est simulée en fin d'après-midi. Le robinet d'adduction d'eau est ouvert de telle sorte que le bac soit plein dans les 4 à 5 heures qui suivent. La crue induit la maturation de gonades et la porte suit dans la soirée ou la nuit. La parade nuptiale est souvent vigoureuse et il n'est pas rare de trouver la femelle blessée à l'issue de l'opération ; les œufs pondus adhérent aux cailloux. Dès le lendemain, la ponte est favorable et on enlève les géniteurs qui sont mis au repos. L'incubation se poursuit dans le bac. Le problème majeur est l'alimentation des larves après résorption de la vésicule vitelline (délais de 2 à 3 jours après l'éclosion).

3.2.2.2 PRODUCTION EN ÉTANGS DE PETITE TAILLE

La méthode de reproduction favorisée en étang de petite taille est calquée sur celle précédemment décrite mais se déroule dans des étangs de petite taille (0,3 à 0,5 ares). Les géniteurs après injection sont placés dans un fond d'eau. Dans l'après-midi, une crue est simulée qui recouvre le fond de l'étang et l'aire de cailloux qui y ont été disposés. Les œufs sont pondus et fertilisés sur les zones fraîchement inondées. Dès le lendemain, les géniteurs sont récupérés et l'étang est laissé pour le pré-grossissement des larves pendant un mois. Durant ce temps, tout est fait pour favoriser le développement de plancton dans l'étang (compost, fumier à petites doses). Cette méthode a l'avantage de ne pas nécessiter l'apport d'aliments artificiels aux alevins. L'usage des étangs ; par contre, augmente la prédation par les grenouilles et les autres poissons). Cette méthode, quoique simple donne des résultats très variables : selon la saison et l'expérience, mais aussi la chance c'est de 10 à 1000 alevins de taille variable (0,5 à 1,5g) que l'on récolte à la fin du premier mois. Parfois c'est l'échec total.

Ces 2 méthodes se sont relevées insuffisantes pour approvisionner une pisciculture, même taille moyenne. (1.000 alevins approvisionnent à peine 5 ares d'étangs). Devant cette hétérogénéité des résultats, les pisciculteurs ont eu recours à la reproduction artificielle.

3.2.3 REPRODUCTION ARTIFICIELLE

La reproduction artificielle se réalise en écloserie car la reproduction naturelle est difficile (possible seulement en saison de pluies) alors que le pré-grossissement et le grossissement se font en étang.

3.2.3.1 ECLOSERIE

Il faut la construction de l'écloserie, comme monté sur un terrain en pente, de manière à ce que l'eau arrive par gravité. Il faut disposer d'eau de la meilleure qualité possible pour l'incubation des œufs et l'élevage des larves. Il est important d'avoir assez d'eau courante disponible également durant la saison sèche. Dans une écloserie, l'eau est nécessaire pour fournir l'oxygène aux œufs, aux larves et aux géniteurs, pour évacuer les excréments et les autres saletés et pour nettoyer l'écloserie. Il faut disposer de réservoirs pour stocker les géniteurs pendant quelques jours. Ces réservoirs peuvent être des tonneaux ou des bacs ou en béton, parfois même des gouttières aménagées. Chaque réservoir est muni d'une arrivée d'eau d'une vidange et d'un trop plein. Il est souvent utile de fixer un tuyau de plastique à la vidange pour vider le réservoir. Pour obtenir un certain niveau dans le réservoir, le tuyau est lové sur un crochet. L'ouverture du réservoir devra être munie d'un treillis métallique bien fixé ; les Clarias sont d'excellents sauteurs, il faudra donc charger les treillis de quelques pierres lourdes pour éviter que le poisson ne s'échappe. Pour qu'ils ne se battent pas, les Clarias doivent être maintenus séparés. Normalement, pour effectuer une reproduction artificielle induite, il faut compter 4 à 5 femelles et 2 mâles. On utilise une auge pour l'incubation des œufs. Les dimensions d'une bonne auge sont de 200x 50x30 cm. Elle peut être faite en bois, en polyester ou en béton.

Le cuivre et le fer sont à éviter car ils empoissent souvent le poisson ; le fond et les parois de l'auge doivent bien être lissés. A une extrémité de l'auge d'incubation, il faut prévoir un trop plein pour régler la hauteur d'eau dans l'auge. Pour éviter que les larves ne s'échappent, il est nécessaire de disposer une grille à mailles de 0,5 à 0,7 mm devant le trop plein. L'auge d'incubation est placée sur une table, à 1m de hauteur, avec une légère pente. L'équipement ou les matériels énumérés ici-bas sont nécessaires pour effectuer la reproduction artificielle du Clarias, pour l'examen de la qualité de l'eau et pour l'entretien de l'écloserie :

- Table d'environ 50x100cm ;
- Epuisettes ;
- Balance ;
- Latte de mensuration ;
- Draps, papier absorbant,
- Petits bacs ;
- Canules (diamètre extérieur 2 à 2,5mm, diamètre inférieur 1,2 à 1,5mm) ;
- Seringue de 1ml avec aiguilles ;
- Couteau bien aiguisé, pince coupe fil ;
- Mortier ;
- Paire de ciseaux, petite pince pointue ;
- Bouteille de sérum physiologique ;
- Matériel d'analyse d'eau ;
- Thermomètres ;
- Verrerie ;
- Brosses.

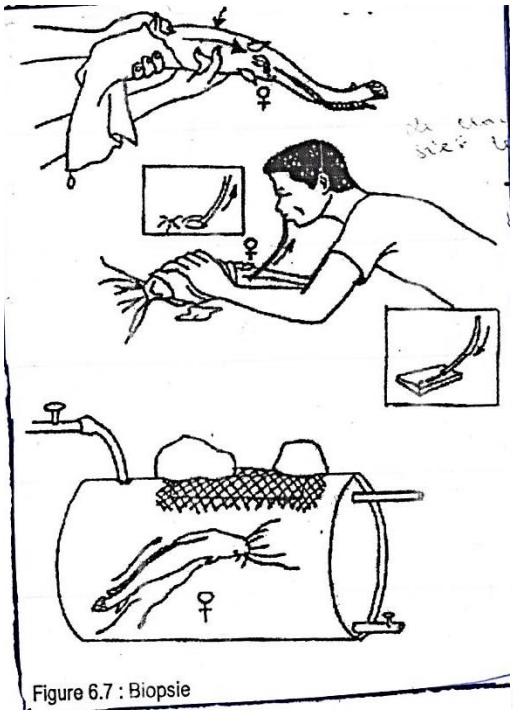


Figure 6.7 : Biopsie

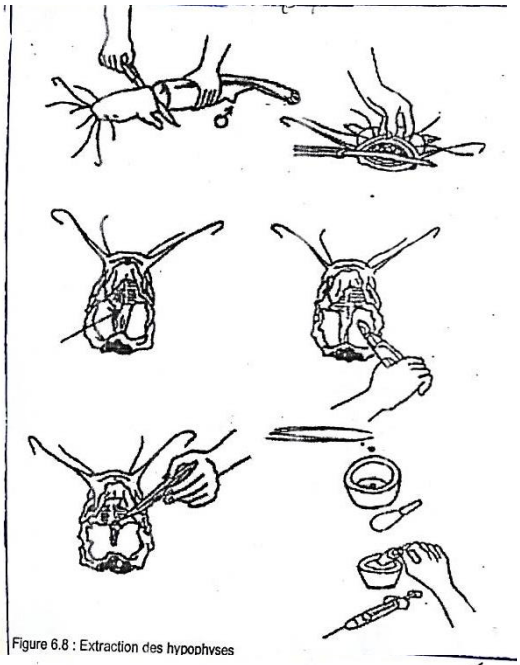


Figure 6.8 : Extraction des hypophyses

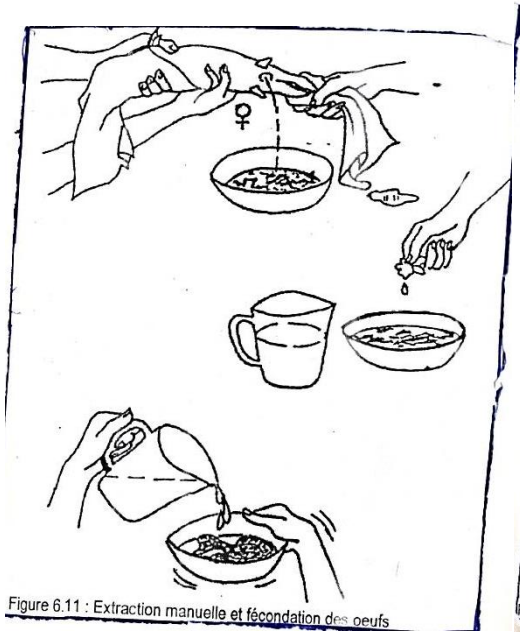


Figure 6.11 : Extraction manuelle et fécondation des oeufs

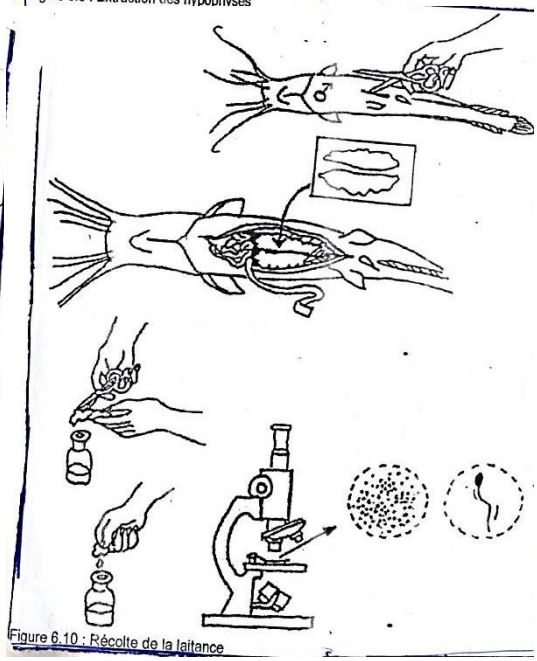


Figure 6.10 : Récolte de la laitance

3.2.3.2 PRODUCTION DES LARVES

Figure 6.6 : Matériel pour l'écloserie

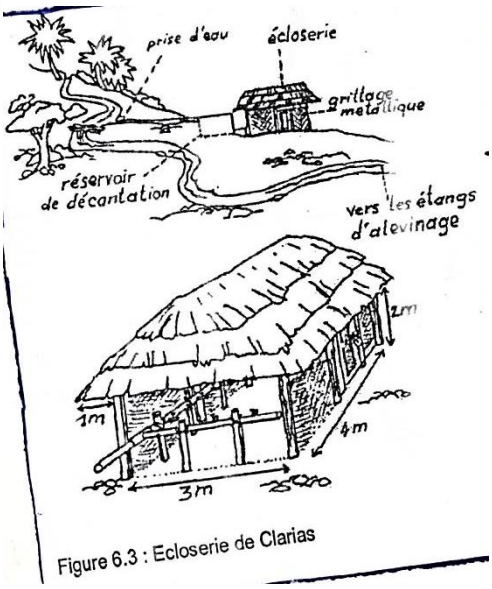


Figure 6.3 : Ecloserie de Clarias

3.2.4 TECHNIQUES DE PRODUCTION

Sont examinés successivement :

- La manipulation de l'étang, dont : la mise en eau, la vidange, l'assec, la récolte des poissons, l'entretien à chaque vidange et l'entretien journalier ;
- Puis l'alimentation dont : la fertilisation aux engrais organiques, la fertilisation aux engrais minéraux, les apports de nourriture, la distribution des aliments et la comparaison entre différents systèmes d'alimentation ;
- Ensuite la pêche de contrôle, la pêche intermédiaire et le sexage et enfin
- Une étude comparative de quelques aliments à une ou plusieurs composantes.
- Certains engrais organiques sont assimilés par la faune aquatique, le zooplancton et par quelques poissons.
- Par décomposition et minéralisation, ils favorisent la production de gaz carbonique et fournissent des nitrates et phosphates nécessaires au développement du phytoplancton.

MATURITÉ SEXUELLE TILAPIA NILOTICUS ET CLARIAS GARIEPINUS

Stade	Mâles	Femelles
1	- Gonades de petites dimensions accolées à la colonne verticale - Sexe non reconnaissable même au binoculaire	Idem
¼	- Gonades transparentes à l'observation	- Gonades transparentes à l'observation et ovocytes discernables au binoculaire
2/4	- Testicule rougeâtres ou rose blanchâtre	- Ovaires rosâtres ou rose claires au rougeâtre d'aspect granuleux - Ovocytes bien visibles mais non dissociables
¾	- Testicules blanchâtres ou rose blanchâtre bien développé avec les points de laitance	- Ovaire jaunâtre ou rose-jaune ou jaune blanchâtre - Ovules bien visibles et dissociables.
4/4	- Testicule blanchâtre, laitance expulsable par pression du doigt spermiducte gorgé de laitance	- Ovaires jaunes, jaunes-rouge - Présence d'ovules dans l'oviducte
5/4	- Testicule rose pâle flasque et vide des spermes	- Ovaires roses ou rouges-briques, vides, flasques, quelques granulations blanchâtres petites

4 PRÉSENTATION, ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

4.1 PRÉSENTATION DES RESULTATS

Le tableau 1 montre que 99% des espèces de *Tilapia niloticus* se reproduisent dans les zones pélagiques en entreposant leurs nids dans les rochers du fond benthiques et seulement 1% peuvent le faire au niveau littoral avec les risques des prédateurs tandis que 100 %d'espèces de *Clarias gariepinus* fond leurs nidifications dans les zones des frayères précisément dans les macrophytes du littoral.

Tableau 1. Nidification des Tilapia niloticus et Clarias gariepinus

	Profondeurs substrats			Littoral			Incubateurs		
	M	**F**	**FM**	**M**	**F**	**FM**	**M**	**F**	**FM**
1. Tilapia niloticus	0%	50%	50%	0%	7%	7%	1%	99%	99%
2. Clarias gariepinus	0%	5%	5%	0%	70%	70%	0%	100%	100%

Avec M : Mâle, F : Femelle, F.M : Mâles et Femelles.

Le tableau 2 montre que les farines de riz et la drèche sont permis les aliments les plus riches dans l'alimentation des poissons selon leur écologie en respecta la densité des poissons/m² pour une durée d'élevage qui permet de connaitre le poids moyen initial (g) et le Poids moyen final (g) et calculé la Croissance journalière individus (g) , les Rendements (t/h/an) ainsi que le Quotient Nutritifs pour avoir les données de l'économie et statistique de l'alimentation des poissons.

Tableau 2. Production Fingerlings d'Oreochromis niloticus

Aliment	**Son de riz faible densité**	**Son de riz forte densité**	**Drèche de la brasserie**
1. Durée d'élevage	35	35	35
2. Densité (poissons/m²)	3,25	6,5	3,25
3. Poids moyen initial (g)	5,2	4,7	4,8
4. Poids moyen final (g)	29	15,2	36,6
5. Taux de survie %	92%	91%	70%
6. Croissance journalière individus (g)	0,7	0,3	0,9
7. Rendement (t/h/an)	7,2	6,3	7,0
8. Quotient nutritif	4,7	9,7	9,

Le tableau 3 montre que le Clarias gariepinus dans les zones des frayères évolue en taille et poids tout en pressentent un comportement écologique des prédateurs entre eux cad les gros mangent les petits mais aussi des prédateurs envers le Tilapia niloticus.

Tableau 3. Les stades de Clarias

	Taille	**Poids**
1. Œufs	1 – 1,6mm	1,2 – 1,6mg
2. Larves	5 – 7mm	1,2 – 3mg
3. Alevins	8 – 30mm	3 – 100mg
4. Juvéniles	3 – 10cm	1 – 10g
5. Poissons adultes	32 – 140cm	0,3 – 16Kg

Le Tableau 4 montre que La meilleur alimentation du Tilapia est de trois aliment 70% de la farine des riz, 20% des tourteaux et 10% la chaine alimentaire, pour permettre le grossissement des poissons dans l'écologie alimentaire, il est important de faire le sexage qui permettra d'éliminer les femelles et maintenir les males qui sont productifs.

Tableau 4. Synthèse de la méthode équienne par classes d'âges, TnM, aliment 3A dans de bonnes conditions en étangs de 4 ares.

Etangs de 4 ares	Reproduction alevinage (R)	Pré grossissement (P)	Grossissement si possible avec compostière (G)
Taille et sexe	0 à 5g pour les alevins, 150-300g pour les mâles et 100-250g pour les femelles (réformés en fin cycle)	5 à 30g (1 à 5g au départ, 20 à 50 à l'arrivée), mâles et femelles	30 à 250g (20 à 50 au départ), mâles.
Niveau d'eau au niveau du moine	1,00 à 1,20m + filtre à l'entrée	Maximum	maximum
Mise en charge pour 4 ares	20 mâles et 60 femelles, jusqu'à 70-210 femelles	6.000 alevins	880 mâles
Pêches intermédiaires	1er après 15j puis 1 tous les mois	Pêches de contrôle	Pêches de contrôle
Durée	5 – 6 mois	2-3 mois	4 à 6 mois
Production attendue	Autour de 80.000 alevins/4 ares/cycle 4 à 7 tonnes/ha/an	2 à 3.000 juvénile/ étang/cycle 10 à 40 tonnes/ha/an	800 poissons de 250g, 5 à 10 tonnes/ ha/an.
Taux de servie	-	75 à 90%	75 – 95%

Le Tableau 5 montre que l'alimentation des Tilapia niloticus et Clarias gariepinus doit se faire en tenant comptes des espèces mais aussi des stades entre autres les alevins entre eux, les juvéniles entre eux et les poissons marchamps entre eux selon la taille, le poids et le taux d'alimentations pour éviter les proies et les prédateurs dans la sélection naturelle et protégées les espèces parapluies par plusieurs méthodes dans leurs ecologies. Les PMI = poids moyens individuel en gramme en début de période.La Ration = quantité d'aliment par jour par étang de 4 ares. On constate de grandes différences entre méthodes, consommant de zéro à 1.000 Kg d'aliments et produits de 4 à 13,9 t de poissons en 7 à 10 mois.

Tableau 5. Comparaison des différentes méthodes d'écologie alimentaire des poissons (T.n et C.g)

Méthode	**TnM + 3A**		**TnM/F + rien**	**TnM/F + son de riz**		**TnM/F + 3A**		**TnM/F + Clarias + 3A**	
Poids en g	de 40 à 270		de 10 à 150	de 10 à 180		de 10 à 200		Tn 10 à 170	Clarias 3 à 400
Mise en chargé	880 Tn		880 Tn lorsque l'eau est verte	880 Tn lorsque l'eau est verte		880 Tn		880 Tn + 440 Clarias de 3 à 5g	
Rendements en T/ha/an	10		4	6		6,6		6,4 t de Tn 7,5 t de Clarias	
Pêche de contrôle	Enlever alevins et femelles		Enlever alevins	Enlever alevins		Enlever alevins		Alevins	
Durée en mois	7		10	8		8		7	
Alimentation	P mi en g début	Ration en kg		Pmi en g	Ration en kg	Pmi en g	Ration en kg	Pmi en g	Ration en kg
Mois 1	40	2		10	1	10	1	10	2
Mois 2	61	2		16	1,5	20	1,5	20	2
Mois 3	86	2,5		25	2,5	38	1,5	38	2,5
Mois 4	116	2,5		38	4	59	2	59	2,5
Mois 5	151	3		80	5,5	82	2	82	3
Mois 6	187	3,5		90	5,5	109	2	109	3,5
Mois 7	226	3,5		120	5,5	139	2	139	3,5
Mois 8				150	5,5	171	2,5		
Total cycle en Kg		580			950		450		1600

Le tableau 6 montre que le nombre de personnes enquêté seul le genre féminin prime sur le masculin avec 52% et 48% sont du sexe masculin sur 50 personnes enquêtées.

Tableau 6. État du genre des enquêtés

Variables	*Fréquence*	*%*	*Valeur en %*	*% cumulé*
Masculin	*24*	*48*	*48*	*48*
Féminin	*26*	*52*	*52*	*100*
Total	*50*	*100*	*100*	

Le tableau 7 montre que le nombre de personnes enquêté seul le genre féminin prime sur le masculin avec 52% et 48% sont du sexe masculin sur 50 personnes enquêtées. Pendant la recherche, des individus de deux divers lieux (site de kalengera et à l'Inspection provinciale de l'Agriculture, Pêche et Élevage) ayant des tranches d'âges différentes sont interviewés entre 18-25 ans jusqu'à 40 ans et plus. Grâce à ce tableau, nous constatons que dans ces deux sites utilisés pour notre enquête, il y a eu un écart très léger entre les enquêtés ayant la tranche d'âge de 18-25ans 2 enquêtés sur 50 soit 40%, 26-30 ans de nos enquêtés ont 40%, 28% ont une tranche d'âge de 31-40 ans et de 40 ans et plus) détiennent 14 enquêtés chacune sur 50 et ont également un pourcentage égalitaire de 28% et seule de 26-30 ans a un pourcentage élevé de 40% par rapport aux autres tranches.

Tableau 7. Age des enquêtés

Variables	Fréquence	%	Valeur en %	% cumulé
18-25 ans	2	4	4	4
26-30 ans	20	40	40	44
31-40 ans	14	28	28	72
40 ans et plus	14	28	28	40
Total	50	100	100	

En observant le tableau 8, nous remarquons que parmi les personnes enquêtées sur terrain, 50% sont des fonctionnaires de l'État, 28% exercent le commerce, 4% font l'agriculture, 16% pratiquent la pêche et 2% n'ont pas de profession.

Tableau 8. Profession des enquêtés

Variables	Fréquence	%	Valeur en %	% cumulé
Fonctionnaire de l'état	25	50	50	50
Commerçant	14	28	28	78
Agriculture	2	4	4	82
Pêcheur	8	16	1-	98
Sans profession	1	2	2	100
Total	50	100	100	

Les résultats dans le tableau 9 montrent que 8 personnes enquêtées soit 16% ont des diplômes d'État, 12 enquêtés soit 24% possèdent les grades, 13 interviewés soit 26% détiennent les licences et ceux n'ayant pas étudié sont au nombre de 17 soit 34% sur 50 enquêtés.

Tableau 9. Niveau d'études des enquêtés

Variables	Fréquence	%	Valeur en %	% cumulé
Diplôme d'Etat	8	16	16	16
Grade	12	24	24	40
Licence	13	26	26	66
Pas de niveau	17	34	34	100
Sans profession	1	2	2	100

Total	50	100	100	

Cette présentation (Tableau 10) retrace l'aptitude des enquêtés conformément à leur État Civil. Par conséquent, nous observons la majorité de ceux-ci sont mariés soit 70% avec une différence considérable comparativement aux célibataires détenant 18% et aux veufs ayant 12%

Tableau 10. Etat civil des enquêtés

Variables	Fréquence	%	Valeur en %	% cumulé
Célibataire	9	18	18	18
Marié	35	70	70	88
Veuf	6	12	12	100
Total	50	100	100	

Le tableau 11 détermine la taille des ménages des enquêtés, il montre qu'une taille de 1 à 3 a 2 enquêtés soit 4%, 4 à 7 et 8 à 12 ont chacune 17 interviewés soit 34% et celle de 12 et plus possède 14 sur 50 enquêtés soit 28%.

Tableau 11. Taille des ménages des enquêtés

Variables	Fréquence	%	Valeur en %	% cumulé
1à 3	2	4	4	4
4 à 7	17	34	34	38
8 à 12	17	34	34	72
12 et plus	14	28	28	100
Total	50	100	100	

De nos enquêtés (Tableau 12), 28 ont opté pour le gouvernement central qu'il est la principale source d'approvisionnement de la nourriture des poissons au niveau du lac Kivu soit 56%, 26% pour le ministère de la pêche et agriculture nationale (13 enquêtés), 6% pour le ministère de la pêche provinciale (3 enquêtés) et 12% pour l'organisation locale (6 enquêtés sur 50).

Tableau 12. Principale source d'approvisionnement de la nourriture des poissons

Variables	Fréquence	%	Valeur en %	% cumulé
Gouvernement central	28	56	56	56
Ministère de la pêche et agriculture nationale	13	26	26	82
Ministère de la pêche provinciale	3	6	6	88
Organisation locale	6	12	12	100
Total	50	100	100	

Dans le tableau 13, 44 enquêtés ont majoritairement choisi les jeunes hommes comme étant les principaux individus appropriés à donner la nourriture aux poissons soit 88% et les hommes (vieux) et les jeunes filles ont un nombre égal de 3 sur 50 enquêtés soit 6% pour tous ceux-ci.

Tableau 13. Les types de personnes qui donnent la nourriture aux poissons

Variables	Fréquence	%	Valeur en %	% cumulé
Les hommes (vieux)	3	6	6	6
Les jeunes filles	3	6	6	12
Les jeunes hommes	44	88	88	100
Total	50	100	100	

En regardant les résultats qui sont représentés dans le tableau 14, on remarque que 36 interviewés déclarent ainsi que ce sont les scientifiques universitaires qui suivent les activités d'alimentation des poissons à Kalengera en grande partie soit 72% et 28% pour les ouvriers affectés au terrain (14 enquêtés sur 50).

Tableau 14. Les personnes qui suivent les activités d'alimentation des poissons à Kalengera

Variables	Fréquence	%	Valeur en %	% cumulé
Les scientifiques universitaires	36	72	72	72
Les ouvriers affectés au terrain	14	28	28	100
Total	50	100	100	

Selon les données présentes dans ce tableau, 3 enquêtés soit 6% ont montré que la dissection est le moyen pour différencier les poissons mâles et femelles, 24 ont choisi l'observation soit 48, 5 pour la maturité sexuelle soit 10% et 18 autres enquêtés sur 50 pour le sexage.

Tableau 15. Différenciation entre les poissons males et les femelles

Variables	Fréquence	%	Valeur en %	% cumulé
La dissection	3	6	6	6
L'observation	24	48	48	54
La maturité sexuelle	5	10	10	64
Le sexage	18	36	36	100
Total	50	100	100	

Il sied de préciser que dans ce tableau, 4 enquêtés soit 8% ont déclaré que la distance qui sépare la zone des frayères et les maisons est de 10m et les distances de 50m et 30m ont été optées par un nombre et un pourcentage égaux (23 enquêtés sur 50 soit 46% pour chacune).

Tableau 16. Distance qui sépare la zone des frayères et les maisons

Variables	Fréquence	%	Valeur en %	% cumulé
10m	4	8	8	8
50m	23	46	46	54
30m	23	46	46	100
Total	50	100	100	

Nous remarquons dans ce tableau que 30% de fientes des poules sont dominés aux poissons comme aliment, 6% pour les fumiers de porcs, 14% de fumiers des vaches, 12% pour le soja, 14% pour les engrais phosphatés et 34% pour les engrais azotés.

Tableau 17. Les types d'aliments octroyés aux poissons

Variables	Fréquence	%	Valeur en %	% cumulé
Fumiers des poules	15	30	30	30
Fumiers des porcs	3	6	6	36
Fumiers de vaches	2	4	4	40
Le soja	6	12	12	52
Engrais phosphates	7	14	14	66
Engrais azotés	17	34	34	100
Total	50	100	100	

Le présent tableau ci-dessous représente les données comme suit : 9 enquêtés soit 18% choisissent le ¼ de brouette toutes les 2 semaines comme étant une quantité de nourriture donnée aux poissons, 10 interviewés soit 20% ont opté pour le ½ brouette toutes les 2 semaines et 31 autres enquêtés sur 50 optent pour le 30kg toutes les deux semaines soit 62%.

Tableau 18. Quantité de nourriture donnée aux poissons

Variables	Fréquence	%	Valeur en %	% cumulé
¼ de brouette toutes les 2 semaines	9	18	18	18
½ brouette toutes les 2 semaines	10	20	2à	38
30 kg toutes les deux semaines	31	62	62	100
Total	50	100	100	

Ce tableau montre que 56% de nos enquêtés prouvent vraiment qu'on donne 2 fois la nourriture aux poissons par jour et 44% de ceux-ci ont opté pour 3 fois par jour.

Tableau 19. Nombre de fois de nourriture journalière pour les poissons

Variables	Fréquence	%	Valeur en %	% cumulé
2 fois	28	56	56	56
3 fois	22	44	44	100
Total	50	100	100	

Les présentes informations données dans ce tableau déterminent 38 enquêtés soit 76% qui signalent assez de prédation entre ces 2 espèces à Kalengera et 12 autres enquêtés sur 50 soit 24% la compétition de celles-ci dans ce même site.

Tableau 20. Relation entre Tilapia niloticus et Clarias gariepinus à Kalengera

Variables	Fréquence	%	Valeur en %	% cumulé
Prédateurs	38	76	76	76
Compétiteurs	12	24	24	100
Total	50	100	100	

Ce tableau montre que la nourriture disponible est l'option la plus utilisée pour choisir l'écologie de l'une de ces 2 espèces à Kalengera soit 58% (29 enquêtés), 19 interviewés soit 38% ont choisi le type d'exploitation, 1 enquêté pour les choix du volume et de la destination des eaux soit 2% pour chacun. En résumé, nous constatons que le choix du volume et de la destination des eaux ont un nombre et pourcentage égaux.

Tableau 21. Choix de l'une de ces 2 espèces en fonction de son écologie à Kalengera

Variables	Fréquence	%	Valeur en %	% cumulé
En fonction de la nourriture disponible	29	58	58	58
En fonction de type d'exploitation	19	38	38	96
En fonction du volume	1	2	2	98
En fonction de la destination des eaux	1	2	2	100
Total	50	100	100	

En observant correctement ces résultats donnés dans ce tableau, nous remarquons que 49 enquêtés parlent majoritairement à 98% que la population locale est le bénéficiaire du rendement des poissons après leur alimentation à Kalengera comparativement aux ONG qui ont un écart très léger de 2% (1 enquêté sur 50).

Tableau 22. Bénéficiaire du rendement des poissons

Variables	Fréquence	%	Valeur en %	% cumulé
ONG	1	2	2	2
Population cible	49	98	98	100

Total	**50**	**100**	**100**	

En suivant les résultats affichés dans ce tableau, 11 enquêtés soit 22% ont dit que le prix de poissons récoltés s'impose, 2 interviewés soit 4% parlent que le prix dépend de l'importation, 19 autres soit 38% précisent que ce prix dépend de l'exportation et 18 enquêtés sur 50 soit 36% ont dit que ce sont les commerçants locaux qui fixent cedit prix.

Tableau 23. Fixeur de prix des poissons récoltés

Variables	Fréquence	%	Valeur en %	% cumulé
Le prix s'impose	**11**	**22**	**22**	**22**
Dépend de l'importation	**2**	**4**	**4**	**26**
Dépend de l'exportation	**1ç**	**38**	**38**	**64**
Les commerçants locaux	**18**	**36**	**36**	**100**
Total	**50**	**100**	**100**	

De nos enquêtés, 4% ont fait l'option de disponibilité de la main d'œuvre étant comme le choix des dimensions et emplacement de l'écologie alimentaire de ces deux espèces à Kalengera (2 enquêtés), 33 interviewés soit 66% pour la nature des poissons et 15 autres enquêtés sur 50 ont opté pour le capital disponible soit 30%.

Tableau 24. Choix des dimensions et emplacement de l'écologie alimentaire de ces deux espèces à Kalengera

Variables	Fréquence	%	Valeur en %	% cumulé
Disponibilité de la main d'oeuvre	**2**	**4**	**4**	**4**
Nature des poissons	**33**	**66**	**66**	**70**
Capital disponible	**15**	**30**	**30**	**100**
Total	**50**	**100**	**100**	

Les données inscrites dans ce tableau montrent que les aliments disponibles est le choix de la méthode écologique alimentaire ayant opté pour 1 enquêté seulement avec un pourcentage très léger de 2% par rapport à l'information scientifique qui a été choisie par 49 enquêtés sur 50 soit 98%.

Tableau 25. Choix de la méthode écologique alimentaire

Variables	Fréquence	%	Valeur en %	% cumulé
Aliments disponibles	**1**	**2**	**2**	**2**
Information scientifique	**49**	**98**	**98**	**100**
Total	**50**	**100**	**100**	

Les résultats ci-haut notés dans ce tableau clarifient que 49 interviewés soit 98% utilisent le permis de pêche comme l'outil octroyé par le gouvernement pour éviter la pêche illicite de ces deux espèces à Kalengera et 1 enquêté a choisi seulement la fixation des mailles soit 2% sur 50 enquêtés.

Tableau 26. Outils octroyés par le gouvernement pour éviter la pêche illicite de ces deux espèces dans les zones de frayères à Kalengera

Variables	Fréquence	%	Valeur en %	% cumulé
Permis de pèche	**49**	**98**	**98**	**98**
Fixation de mailles	**1**	**2**	**2**	**100**
Total	**50**	**100**	**100**	

Tout en attirant une bonne attention dans ce tableau, nous remarquons que 60% de nos enquêtés ont précisés que le catamaran est l'outil le plus utilisé dans l'écologie de ces 2 espèces à Kalengera par rapport à la planchée qui a 2% et au monoxyle détenant 38% seulement.

Tableau 27. Unités de pêche utilisées dans l'écologie de ces 2 espèces à Kalengera

Variables	Fréquence	%	Valeur en %	% cumulé
Catamaran	30	60	60	60
Planchée	1	2	2	62
Monoxyle	19	38	38	100
Total	50	100	100	

Ce présent tableau définit que 2% de nos enquêtés (1 interviewé sur 50) ont choisi le filet canelet comme étant l'engin le moins utilisé dans ce site, 39 enquêtés soit 78% optent pour le filet maillant et 10 autres soit 20% pour la pêche à la ligne.

Tableau 28. Catégories d'engins utilisés dans ce site

Variables	Fréquence	%	Valeur en %	% cumulé
Filet canelet	1	2	2	2
Filet maillont	38	78	78	80
Pêche à la ligne	10	20	20	100
Total	50	100	100	

Ce tableau représente 49 enquêtés soit 98% qui ont choisi en grande majorité le Limnothrissa miodon comme étant l'espèce qui vit avec les deux autres (T. niloticus et C. gariepinus) et 1 interviewé a minoritairement choisi le Tilapia machrochir comme l'espèce vivant avec ces dernières soit 2% seulement sur 50 enquêtés.

Tableau 29. Autres espèces qui vivent avec les deux (T.Niloticus et C. gariepinus)

Variables	Fréquence	%	Valeur en %	% cumulé
Limnothrissa miodon	49	98	98	98
Tilapia machrochir	1	2	2	100
Total	50	100	100	

Ces résultats de ce tableau montrent que la nidification de ces 2 espèces se font en surface d'un rocher à 2% et à 98% dans les zones des frayères.

Tableau 30. Lieux de nidification de ces 2 espèces

Variables	Fréquence	%	Valeur en %	% cumulé
En surface d'un rocher	1	2	2	2
Dans les zones des frayères	49	98	98	100
Total	50	100	100	

4.2 VÉRIFICATION DES HYPOTHÈSES

- Nous constatons que Les fientes des poules, farines des riz, Farine des tourteaux et fumiers des porcs constituent lalimentatiuon de meilleur qualité pour le Tilapia niloticus et le Clarias gariepinus à Kalengera car nos resutats nous ont permis de demontrer cet hypothese alternative.

  Formule du Khi-carré. $X^2 = \frac{Som(fo-fe)2}{fe}$

Khi-Carré cumulé= 0,201+0,103+0,216+0,469+0,556+0,285= 1,83 ; comme le Khi-carré calculé 1,83 est proche de 1,96 Khi-carré tabulaire, ce que l'hypothèse alternative est infirmée et la nôtre est confirmée apres nos enquêtes.

- La prédation et la proie seraient les principales relations écologiques de ces deux espèces a Kalengera.

  Fréquences cumulées : 0,5+0,01+0,24+0,12+0,18+0,88 = 1,93

Comme Khi-carré cumulée= 1,93 proche de 1,96 de la table logarithmique, nous confirmons notre hypothèse nulle et rejetons l' hypothèse alternative. Apres nos enquêtes nous avons trouvé le contraire et selon nous les relations écologiques entre ces deux espèces doivent vivre séparément selon la taille, le poids, âge, l'endroit et l'espèce pour éviter les proies et prédateurs.

4.3 DISCUSSION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

Selon **David CAMPBELL 1978**, son rapport présente les résultats obtenus dans le lac de Kossou, côte d'Ivoire, avec quatre formules alimentaires adaptées à l'élevage en cage de T. nilotica. La composition de l'aliment de base est la suivante :

Farine de riz : 65 % ; tourteaux d'arachide : 18% remoulage de blé : 12 % ; farine de poissons : 4 % ; et coquillages : 1 % . Le taux de conversion moyen obtenu est de 2,32 kg d' aliment/kg de poissons produits. Celui-ci indique que le T. nilotica économise les besoins en protéine par une haute teneur d'énergie dans l'aliment. L'addition d'un complexe de vitamines à cette dernière formule n'est pas necessaire. Il semble qu'il y a suffisamment de ces éléments nutritifs présents dans l'aliment de base et le milieu de la cage. L'augmentation du pourcentage de farine de poissons à 8 % a légèrement amélioré le taux de conversion (2,19).

La substitution du tourteau d'arachide par le tourteau de coton a beaucoup diminué le prix de l'aliment sans avoir un effet sur l'élevage. Les périodes de circulation totale des eaux du lac ont entrainé une mauvaise influence sur les résultats. La basse teneur en oxygène dissous, l'augmentation du taux de respiration subséquent et le manque de plusieurs jours d'alimentation a diminué le rendement de quelques essais (formule vitaminique). Il est conclu que la teneur en protéine brute devrait être augmentée de 25 à 30 % pour rendre l'élevage plus efficace. Du point de vue économique, cette protéine est de sources végétales (tourteaux de coton) mais un certain pourcentage doit venir de sources animales (farine de poissons). Le reste de l'aliment peut se composer d'hydrates de carbone comme source d'énergie. Du point de vue économique, les frais de l'alimentation avec les granulés complets revient à environ 100 F CFA/kg de poissons produits, par rapport à un prix de vente actuel de plus de 200 F CFA/kg de tilapia, nous pouvons dire que cette alimentation est rentable.

Nos résultats au Lac Kivu dans le site de Kalengera nous ont permis de demontrer que l'alimentation des Tilapia niloticus et Clarias gariepinus doit se faire en tenant comptes des espèces mais aussi des stades entre autres les alevins entre eux, les juvéniles entre eux et les poissons marchamps entre eux selon la taille, le poids et le taux d'alimentations pour éviter les proies et les prédateurs dans la sélection naturelle et protégées les espèces parapluies par plusieurs méthodes dans leurs ecologies. Les PMI = poids moyens individuel en gramme en début de période.La Ration = quantité d'aliment par jour par étang de 4 ares. On constate de grandes différences entre méthodes, consommant de zéro à 1.000 Kg d'aliments et produits de 4 à 13,9 t de poissons en 7 à 10 mois.

Pour **Nanthiély Ndiaye 2020** montre dans son travail l'étude que nous avons conduite dans l'entreprise privée les 3A (Agriculture- Aquaculture- Aviculture) à Saint-Louis au Sénégal a consisté à tester l'incorporation de la farine de soja dans l'alimentation des alevins de tilapia Oreochromis niloticus en milieu paysan à des taux de 0% ; 15% ; 30% et 60%. Quatre régimes alimentaires ont été testés afin d'évaluer leurs effets sur les performances de croissance, de survie et d'efficacité alimentaire. Le régime R0 qui contient 0% de farine de soja, le régime R1 contenant à son tour 15% de farine de soja, contre 30% pour le régime R2 et en fin le régime R3 avec 60% de farine de soja. Au total 120 alevins de tilapias du Nil avec des poids moyen initial de 20 ± 20,92g ont été répartis dans un système isolé de 8 bacs de 0,67m3 avec une densité de 15 poissons/bac sur une durée de 8 semaines. Les résultats obtenus montrent que le régime R2 (30%), avec 16g, présente le meilleur gain de poids moyen absolu suivi de celui du R3 (60%) avec 13,07g. Par contre les performances des régimes R0 (0%) et R1 (15%) avec respectivement avec des gains de poids respectifs de 11,08g et 6g sont relativement moins importants. Le régime R2 a donné les meilleurs performances pour le poids moyen relatif (80%), le taux de croissance spécifique (0,98), la croissance individuelle journalière (0,27), le taux de conversion alimentaire (2,25) et le coefficient protéique (0,018) comparé aux régimes R3 ; R0 ; R1. Toutefois, le régime R0 ne contenant pas de farine de soja, a enregistré le meilleur taux de survie (96,67%). Et finalement le régime R2 est le plus performant car contenant le meilleur gain de poids en croissance.

Nos résultats nous ont permis demontrer que La meilleur alimentation du Tilapia est de trois aliment 70% de la farine des riz, 20% des tourteaux et 10% la chaine alimentaire, pour permettre le grossissement des poissons dans l'écologie alimentaire , il est important de faire le sexage qui permettra d'éliminé les femelles et maintenir les males qui sont productifs.

Selon **Hugues Mulungo SANGWA 2020**,il montre que durant 8 semaines, une étude a été conduite sur l'effet d'incorporation de la farine de poisson sur les performances de croissances des juvéniles de Clarias gariepinus élevés en happa à Kindu. Au total, 74 juvéniles de Clarias gariepinus ont été répartis dans 2 happa à raison de 37 juvéniles par happa, alimentés par le mode Sky a day. Le poids moyen initial des poissons varie entre 4,04 g et 5, 35g. Deux rations ont été formulées dosant 60 et 50% de protéine brute dans lesquelles la farine de poisson a été incorporée à raison de 10,9 et 11,3% dans chacune de ration. Les juvéniles sont nourris pendant 11 semaines et 3jours et les résultats obtenus indiquent un taux de croissance

spécifique moyen (5,39 %/j au T1 contre 5,57%/j au T2) des juvéniles. Le poids final moyen varie respectivement de 39g (T1) et 53g (T2) avec un gain moyen oscillant entre (T2 0,66g/jour et T1 0,48g/jour). Il ressort de cette étude que les juvéniles de C. gariepinus valorisent mieux les rations composées de la farine de poisson.

Nos résultats nous ont permis de démontrer que Les reproducteurs sont récoltés dans les étangs de géniteurs. Avant de les introduire dans l'écloserie, il est bon de désinfecter les poissons en les faisant séjourner pendant trois heures dans un bain contenant 50 à 150 ppm (part par million) de formol. Cette précaution doit être prise pour éviter de transmettre des germes pathogènes aux œufs et aux larves. Le choix des géniteurs femelles se fait sur la base du ballonnement et l'abdomen. Les femelles au ventre mou et gonflé sont souvent mûres. On peut le vérifier par une biopsie : on introduit une canule (tuyau de plastique de 2-1,5mm pour les diamètres extérieurs et intérieurs) par la papille génitale sur 4 à 6 cm de profondeur, aspirez doucement et rejetez une trentaine d'œufs sur une plaque pour vérifier que la majorité des œufs ont plus de 1mm de diamètre. Cette opération en pratique est très rapide et très aisée. Quant aux mâles, peu de signes extérieurs permettent de voir s'ils sont aptes à la reproduction. Le choix est donc porté sur le mâle en bonne santé et très actif. Les géniteurs sont nourris avec des granulés à un taux de 1,5 à 1% de la biomasse selon que le poids moyen est compris entre 0,5 et 1kg. Les femelles sélectionnées reçoivent par injection 4mg d'extrait d'hypophyse séchée de carpe ou de Clarias par Kilogramme de poids vif de poisson. L'injection est faite dans la musculature dorsale et a lieu de préférence la nuit afin de procéder à l'extraction des œufs le lendemain matin après un temps de latence qui est fonction de la température de l'eau. Plus la température est élevée, plus le temps de latence est court : 20 heures à 20°C, 12 heures à 25°C et 8 heures à 30°C environ. Après le temps de latence, les œufs sont expulsés par le massage abdominal de la femelle.

Ils sont recueillis dans un bol bien sec. On peut en récolter de 30 à 100.000 par femelle. Le mâle est sacrifié (tué) et les testicules sont prélevés et pressés dans un bocal contenant une solution physiologique salée de chlorure de sodium ou sel de cuisine (Nacl) à 9 pour mille.

Quelques gouttes de laitance ainsi obtenues sont versées dans le bol contenant les œufs. On y ajoute de l'eau pour activer les spermatozoïdes, ensuite on mélange le tout pendant environ 30 secondes. Les œufs fécondés sont mis sur des plaques perforés et incubés en eau courante dans les bacs d'éclosion. La durée de l'éclosion dépend de la température de l'eau. Plus la température est élevée, plus la durée d'éclosion diminue, 60 heures à 20°C, 30 heures à 25°C, 20 heures à 30°C.

Pour éviter le développement de champignon sur les œufs morts, il faut traiter les bacs d'éclosion contenant ces œufs avec 25ppm de Wescodyne et 2,5 p.p.m de vert de malachite pendant 5 à 10min. Après l'éclosion, les larves tombent au fond du bac d'éclosion. Elles ont plus ou moins 4mm de long et pèsent 1mg. Les œufs morts se collent sur la plaque, ils sont jetés. Dans le bac d'éclosion, les larves viables vont être séparés des larves déformées, pour cela une partie du bac est recouverte, les larves viables se rassemblent vers l'ombre tandis que les déformées ne pouvant pas se déplacer, vont être jetées.

la production d'alevins ou grossissement des larves ou phase d'alevinage. Le pré- grossissement des larves demande un bon suivi en écloserie. L'alimentation et les conditions d'élevage (traitement des maladies, hygiène) sont les principaux facteurs d'élevage pour permettre une meilleure survie. Les larves écloses commencent à se nourrir après la résorption de la vésicule vitelline. La durée de cette résorption est fonction de la température de l'eau. Plus la température est élevée, plus la durée diminue. De 3 à 4 mg jusqu'à 30mg, les larves sont nourries avec des naupilii d'Artemia salina (aliment de pisciculture, le naupilii étant le stade de développement du crustacé Artemia) et de 30 à 250mg avec du Trouvit (aliment français pour truites). Cette alimentation peut non seulement permettre une croissance rapide mais aussi limiter le taux de mortalité souvent dû à la prédation et aux maladies. Pour permettre une meilleure croissance des larves, l'aliment doit être distribué de façon continue.

L'écloserie étant un milieu artificiel, il est important pour assurer une bonne survie des larves, de procéder à des traitements prophylactiques et entretiens réguliers. A l'éclosion, les larves mesurent 5 à 7mm et pèsent environ 1,2 à 3mg. Elles ressemblent à des fines aiguilles avec une petite sphère verte, à la vésicule ombilicale. Les larves vésiculées (qui ont une vésicule) recherchent un abri et se mettent en groupe dans les endroits sombres de l'auge. En trois jours la vésicule vitelline est résorbée et les larves, devenues alevins, vont commencer à rechercher leur nourriture. En conduisant bien l'incubation, on réussit à produire 90 à 95% d'alevins au départ des larves. L'échec total est aussi possible. Les alevins sont trop fragiles pour être récoltés à l'épuisette, la récolte se fait par siphonage. On place un seau à l'endroit où les alevins seront siphonnés pas à plus de 20 cm sous le fond de l'auge, de cette manière, le courant du siphon ne sera pas, trop fort et le dommage aux alevins sera minimisé. Les alevins sont transportés vers les étangs d'alevinage. Après les opérations de ponte, il est conseillé de désinfecter les femelles en les faisant séjourner pendant 3 heures dans un bain de formol de 50 à 150 p.p.m (part par million). Elles sont ensuite replacées dans les étangs de stockage de géniteurs. Les réservoirs à géniteurs sont nettoyés avec un désinfectant tel que chlorure de benzalkonium à 0,1% pendant 30 min. On rince ensuite avec de claire La production de juvéniles ou pré-grossissement en étang de 2 à 4 ares. La densité de mise en charge est d'environ 65 alevins de 30 à 250 mg par m^2. Les alevins sont nourris principalement à l'aliment naturel (plancton). Il y a donc lieu de le développer par rapport de fumure organique ou minérale dans l'étang. En général, la mise en charge est de 50 à 60 alevins/m^2 soit 20 à 24 000/4 ares. La récolte des juvéniles ou fingerlings intervient 30 jours après la mise en charge des alevins à la taille moyenne de 1 à 3g (3 à 6 cm). Le taux de survie maximum est d'environ 30 pourcent. Un étang de 4 ares peut recevoir jusqu'à 24 000 à 7200 alevins.

La production de poissons marchands s'appelle le grossissement. En monoculture, la mise en charge se fait avec des juvéniles de 1 à 3g, à la densité de 10 par m^2 soit 30 à 40% de protéines. En général, la ration alimentaire journalière varie entre 10 à 2% de poids vif. Les poissons sont récoltés après 6 à 8 mois d'élevage au poids moyen de 200 à 400g. On obtient un taux de survie de 50% et une productivité de 400g/4 ares/cycle soit environ 20T/h/an. On observe leur comportement pour vérifier que tout est normal : oxygénation, absence de maladies.

Pour AKETE ALOMBA 2014, son travail est une contribution à l'étude du régime alimentaire de Clarias gariepinus BURCHELL 1822 dans le lac Kivu, bassin de Bukavu. L'objectif principal était de caractériser le régime alimentaire de ce prédateur, par la méthode d'occurrence et au moyen de l'indice d'abondance. L'analyse des contenus stomacaux de Clarias gariepinus échantillonnés montre que cette espèce est un omnivore à tendances carnivores. Cet éclectisme alimentaire indique que Clarias gariepinus ne constitue pas un danger pour les peuplements piscicoles du lac Kivu. Cette prédation serait une réaction au développement d'une population qui tend à dépasser la charge biotique maximale.

Nos résultats montre que montre que le Clarias gariepinus dans les zones des frayères évolue en taille et poids tout en pressentent un comportement écologiques des prédateurs entre eux cad les gros mangent les petits mais aussi des prédateurs envers le Tilapia niloticus.

5 CONCLUSION ET RECOMMANDATION

- Notre objectif global est de connaître les relations entre Tilapia niloticus et Clarias gariepinus au lac Kivu, précisément à Kalengera sur le plan de l'alimentation et leur écologie dans les écosystèmes aquatiques pour les aires protégées. Nous avons utiliséés plusieurs merthodes pour nous permettre davoir des resultats comme ;
- La méthode d'occurrence, nombre, volume et poids nous a permis d'étudier lecologie alimentaire des poissons (Tilapia niloticus et Clarias gariepinus)
- La méthode statistique nous a aidée à constituer des tableaux des données issues de notre enquêtes sur notre terrain d'étude ;
- La méthode analytique nous a permis d'analyser toute les données et de les interpréter ;
- Les techniques de l'interview par le questionnaire et la documentation nous ont permis de récolter les données de cet étude ;

Comme résultats d'enquête s'institue d'une fiche de 25 questions qui ont été soumises à des personnes au niveau de deux divers endroits (25 questionnaires étaient administrés aux pêcheurs et autres individus œuvrant dans le site de Kalengera et 25 autres pour les agents de l'inspection provinciale de l'Agriculture, Pêche et Élevage.

Les questions ont été orchestrées autour de deux profils clefs : le profil démographique (incluant les variables telles que : sexe, âge, niveau d'étude,…) Le profil en rapport avec l'écologie alimentaire de ces deux espèces de poissons qui nous ont permis de montrer que ***montre que le*** Clarias gariepinus dans les zones des frayères évolue en taille et poids tout en pressentent un comportement écologiques des prédateurs entre eux cad les gros mangent les petits mais aussi des prédateurs envers le Tilapia niloticus, La meilleur alimentation du Tilapia est de trois aliment 70% de la farine des riz, 20% des tourteaux et 10% la chaine alimentaire, pour permettre le grossissement des poissons dans l'écologie alimentaire , il est important de faire le sexage qui permettra d'éliminé les femelles et maintenir les males qui sont productifs**.** Que 49 enquêtés soit 98% qui ont choisi en grande majorité le Limnothrissa miodon comme étant l'espèce qui vit avec les deux autres (T. niloticus et C. gariepinus) et 1 interviewé a minoritairement choisi le Tilapia machrochir comme l'espèce vivant avec ces dernières soit 2% seulement sur 50 enquêtés.

44 enquêtés ont majoritairement choisi les jeunes hommes comme étant les principaux individus appropriés à donner la nourriture aux poissons soit 88% et les hommes (vieux) et les jeunes filles ont un nombre égal de 3 sur 50 enquêtés soit 6% pour tous ceux-ci

Tout en attirant une bonne attention dans ce tableau, nous remarquons que 60% de nos enquêtés ont précisés que le catamaran est l'outil le plus utilisé dans l'écologie de ces 2 espèces à Kalengera par rapport à la planchée qui a 2% et au monoxyle détenant 38% seulement.

REFERENCES

[1] Emmanuel Pruvost, Technique animale 2018
[2] Alain BOUTHIER, René LAFONT, Pigmentation animale 1894-1896
[3] Aubert, Histoire naturelle des êtres vivants
[4] Daniel Thurre & Christiane Kurth, Poissons et trésors aquatiques, 2005-2006, P.3
[5] Éric LACROIX, Pisciculture en zone tropicale, GFA Terra Systems, Bouaké, 2004, pp.76-78 ; P.91

[6] Rem, Sandre sur frayère 2015
[7] David CAMPBELL, Formulation des aliments à l'élevage de Tilapia nilotica (L.) en cages dans le lac Kossou Côte d'Ivoire, Kossou juillet 1978
[8] Nanthiély Ndiaye, Effet de l'incorporation de la farine de soja dans l'alimentation des alevins de Tilapias (Oreochromis niloticus) sur les performances de croissance et de survie en milieu paysan, Saint-Louis (Sénégal), 2020
[9] Hugues Mulungo SANGWA, Performances des croissances juvéniles de C. gariepinus élevés en happa à Kindu, décembre 2020
[10] AKETE-A, Étude du régime alimentaire de C. gariepinus Burchell 1822, Bukavu 23 juin 2014
[11] Rémy Perrier, Cours de zoologie
[12] Peace Corps, Comment élever le Tilapia nilotica,1985, P63
[13] FERMON Y., 2011. Les cichlidés en aquariophilie. In "Poissons d'Afrique et peuples de l'eau". Eds D. Paugy, C. Lévêque & I. Mouas I Éditions IRD, p. 308
[14] Bruton, M.N., 1979. The breeding biology and early development of Clarias gariepinus (Pisces, Clariidae) in Lake Sibaya, South Africa with a review of breeding in species of the subgenus Clarias (Clarias). Trans. Zool. Soc. Lond. 35:1
[15] Clay, D., 1979. Population biology, growth and feeding of African cafish (Clarias gariepinus) with special reference to juveniles and their importance in fish culture. Arch. Hydrobiol. 87(4):453
[16] Van Weerd, J.H. / Nutrition and growth in Clarias species - A review. In: Aquatic Living Resources. 1995 ; Vol. 8. pp. 395
[17] Lévêque C., Paugy D., éd., 2006 – Les poissons des eaux continentales africaines. Diversité, écologie, utilisation par l'homme. Paris, IRD Éditions, 566 p.
[18] Lévêque C., Bruton M. N., Ssentongo G. W., éd., 1988 – Biologie et écologie des poissons d'eau douce africains/Biology and ecology of African freshwater fishes. Paris, Orstom, Travaux et documents, 216, 508 p.
[19] Panfili et al. 2002.Manuel de sclérochronologie des poissonsIRD (Institut de Recherche pour le Développement).
[20] Sverlij, S. et al., (2007) Los peces del Corredor Fluvial Paraná- Paraguay. Inventario de los humedales del Corredor Fluvial Paraná-Paraguay, pp: 341-352. Les poissons d'eau douce : espèces, liste et images traduit par Paola Milan Lopez, Traductrice. 14 octobre 2021
[21] Helfman G. et al. 2009.The Diversity of Fishes : Biology, Evolution and Ecology
[22] Freyer, G. Iles, T., 1972 The chichlid fishes of the great lakes of africa. Edinburgh, Oliver § Boyd, 641 P.
[23] Hastings, W. H. 1973 Expériences relatives à la préparation d'aliments des poissons et à leur alimentation. FAO Pub. FI : DP/ RAF/66/054/1:24 p.
[24] Yashouv, A., Chervinski, J. 1960 Evaluation of various food items in the diet of T. nilitica. Bamidgeh, 12:71–78.
[25] Guerrero, R. D. 1977 Cage culture of tilapia. FAO Aquacult. Bull., 2(8): 8
[26] Halver, J. E., 1976 Formulating practical diets for fish. J. Fish. Bord Can., 33: 1032–1039.
[27] Konikoff, M. 1975 Feasibility of cage culture and other aquaculture schemes at Kainji lake. FAO Publi. FI:NIR/66/524/18.
[28] Lee, D., Sinnhuber, R. 1972 Lipid requierements. En: Fish nutrition, J.E. Halver, (Ed). London, Academic Press, P. 145–180.
[29] Nagayama, F. Saitoo Y. 1969 Distribution of several hydrolytic ensymes in fish. En EIFAC Tec. Pap (9): 103–106.
[30] Phillips, A. 1972 Calorie and energy requierement. En: Fish nutrition, J. E. Halver (Ed.). London, Academic Press, pp. 1–18.
[31] Shell, E. W. 1967 Relationship between rate of feeding, rate of growth, and rate of conversion in feeding trials wit two species of Tilapia, Tilapia mossambica Peters and Tilapia nilotica Linneaus. FAO Fish. Fep., (44) vol. 3: 411–415.
[32] Corbet P.S., 1958.Effects of Simulium control on insectivorious fisches. Nature lond.181, P.570-571
[33] Corbet P.S., 1961.The Biological significance of the attachment of immature stages of Simulium to mayflies and crabs. Bulletin of Entomological Research, 52 : 695-699 Cambridge University press
[34] Coffman, W.P. et Ferrington L.C.Jr,1984.Chironomidae.In : "An introduction to the insects of North America", Merrit R.W., Cummins K.W., Kendall, Hunt Publishing Company. Second edition, Dubuque, lowa, USA, P.551
[35] Kabré T.A., 1994. Impact de la saison sur le facteur de condition et de croissance des juvéniles de Tilapia au barrage de Loumbila. Revue Sc.Tech.21(2), CNRST, Burkina Faso
[36] Paugy et Lévêque 1999.Régime alimentaire et réseaux trophiques.In : "Les poissons des eaux continentales africaines ; diversité, écologie, utilisation par l'homme". Paugy, D. et Lévêque C., Institut de recherche pour le Développement, Paris; France, pp.157
[37] www.radio-canada.ca consulté le 06/06/2022 à 10h22
[38] https : //www.fao.org/fishery/fr/countrysector/cd/fr vérifié le 06/06/2022 à 13h15
[39] www.vallee-dordogne.com visité le 10/06/2022 à 20h11
[40] http://bit.ly.aquaculture vérifié le 11/06/2022 à 9h25
[41] Googleweblight.com consulté le 11/06/2022 à 23h17
[42] www.alimentarium.org visité le 15/06/2022 à 8h58
[43] http://aquafish.free.fr/morphologie/morphologie.htm vérifié le 16/06/2022 à 10h33
[44] www.techno-science.net consulté le 16/06/2022 à 15h25
[45] www.cosmovisions.com visité le 18/06/2022 à 11h35
[46] www.spac-rac.org vérifié le 18/06/2022 à 16h44

[47] www.aquariophilio-pratique-net consulté le 21/06/2022 à 9h19
[48] www.planeteanimal.com vérifié le 21/06/2022 à 14h12
[49] www.aquablog.fr visité le 23/06/2022 à 9h43
[50] www.aquabase.fr consulté le 23/06/2022 à 17h25
[51] www.aquaportail.com vérifié le 28/06/2022 à 13h21
[52] www.universalis.fr visité le 17/08/2022 à 20h31
[53] wikipédia consulté le 22/08/2022 à 22h35
[54] www.futura-sciences.com vérifié le 26/08/2022 à 12h27
[55] www.bloglafermedesanimaux consulté le 31/06/2022 à 10h32
[56] www.pechee66.org vérifié le 03/092022 à 23h31
[57] www.puteauxplongee.com visité le 09/09/2022 à 7h55
[58] www.unlacpourtous.fr consulté le 15/09/2022 à 11h17
[59] www.logrami.fr vérifié le 19/09/2022 à 15h45
[60] www.futurefishman.org visité le 20/09/2022 à 12h29
[61] www.fishpedia.fr consulté le 22/09/2022 à 9h36
[62] www.autourdesanimaux.com vérifié le 23/09/2022 à 16h18
[63] www.aquaportail visité le 25/09/2022 à 17h29
[64] www.aquariophilie-aquarium consulté le 27/09/2022 à 13h39
[65] fr.m.wikipédia vérifié le 28/09/2022 à 9h37
[66] www.manimalworld.net vérifié le 01/10/2022 à 14h10

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1413-1422
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Identification des mécanismes impliqués dans la résistance observée chez *Anopheles gambiae* sensu lato dans la zone d'Oyem (Nord du Gabon)

[Identification of the mechanisms involved in the resistance observed in *Anopheles gambiae* sensu lato in the Oyem area (Northern Gabon)]

Pyazzi Obame Ondo Kutomy[1-2], Roland Christophe Zinga Koumba[3], Aubin Armel Koumba[3], Seynabou Diedhiou Mocote[1], Coumba Diouf[1], Ousmane Faye[1], and Jacques François Mavoungou[3-4]

[1]Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), BP: 5005, Dakar-Fann, Senegal

[2]Programme National de Lutte contre le Paludisme (PNLP), BP: 50 Libreville, Gabon

[3]Institut de Recherche en Ecologie Tropicale (IRET), BP: 13354, Libreville, Gabon

[4]Université des Sciences et Techniques de Masuku (USTM) BP: 941, Franceville, Gabon

Copyright © 2023 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 resistance of malaria vectors to insecticides used in vector control is a major obstacle for national malaria control programs. It is in this context that an entomological study was conducted in urban, peri-urban and rural sites in the Oyem area (Northern Gabon). This study looks at species of the An. gambiae complex and the resistance mechanisms developed by Anopheles to escape to insecticides in Oyem, northern Gabon. To this end, Anopheles larvae were collected in the above-mentioned areas and reared to the adult stage in the field laboratory. Subsequently, the adult anopheles were subjected to sensitivity tests following the World Health Organization protocol.
Seven insecticides (DDT 4%, Deltamethrin 0.05%, Permethrin 0.75%, Lambda-cyhalothrin 0.05%, Cyfluthrin 0.15%, Bendiocarb 0.1% and Malathion 5%) were used for these bioassays. The mosquitoes tested (live and dead) were analyzed using PCR to identify the species of the *An. gambiae* complex. The results obtained showed that the species *Anopheles gambiae,* the only species identified, has resistance to dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT 4%) and Pyrethroids. However, this species is sensitive to Bendiocarb 0.1% and Malathion 5%. These statuses are confirmed by the presence of Kdr mutations (East and West) and the absence of the Ace-1R mutation in this vector.

KEYWORDS: *Anophèles gambaie,* Insecticides, Kdr, Ace-1R, Oyem, Gabon.

RESUME: La résistance des vecteurs du paludisme aux insecticides utilisés dans la lutte antivectorielle est un obstacle majeur pour les programmes nationaux de lutte contre le paludisme. C'est dans ce contexte qu'une étude entomologique a été menée en zone urbaine, péri-urbaine et rurale dans la zone d'Oyem (Nord du Gabon). Cette recherche s'intéresse aux mécanismes de résistance développés par les espèces du complexe *An. gambaie* pour échapper aux insecticides à Oyem au Nord du Gabon. A cet effet, des larves d'anophèles ont été collectées dans les zones précitées, puis élevées jusqu'au stade adultes au laboratoire de terrain. Par la suite, les anophèles adultes ont été soumis aux tests de sensibilité suivant le protocole de l'Organisation Mondiale de la Santé.
Sept insecticides (DDT 4%, Deltaméthrine 0,05%, Perméthrine 0,75%, Lambda-cyhalothrine 0,05%, Cyfluthrine 0,15%, Bendiocarbe 0,1% et Malathion 5%) ont été utilisés pour ces bioéssais. Les moustiques testés (vivants et morts) ont été analysés via la PCR afin d'identifier les espèces du complexe *An. gambiae*. Les résultats obtenus ont montré que l'espèce *Anopheles gambiae,* seule espèce identifiée, présente une résistance au dichlorodiphényltrichloroéthane (DDT 4%) et aux Pyréthrinoïdes.

Corresponding Author: Pyazzi Obame Ondo Kutomy

Cependant, cette espèce est sensible au Bendiocarbe 0,1% et au Malathion 5%. Ces statuts sont confirmés par la présence des mutations Kdr (East et West) et l'absence de la mutation Ace-1^R chez ce vecteur.

MOTS-CLEFS: *Anophèles gambaie,* Insecticides, Kdr, Ace-1^R, Oyem, Gabon.

1 INTRODUCTION

Malgré les efforts nationaux et internationaux, le paludisme reste la maladie parasitaire la plus répandue dans le monde [1, 2]. C'est une maladie humaine potentiellement mortelle causée par des parasites transmis à l'homme à travers des piqûres des femelles d'anophèles infectées [2]. En 2021, on dénombrait 247 millions de cas et 619 000 décès associés à cette parasitose à travers le monde [3]. Le continent africain continue de supporter le fardeau le plus lourd de cette pathologie avec 234 millions (95%) de cas et 593 000 (96%) décès [3]. Au Gabon, la quasi-totalité de la population court un risque élevé de contracter le paludisme [4]. Cette endémie y est stable avec une transmission permanente toute l'année et une prévalence moyenne de 22,3% [5].

Dans ce pays d'Afrique centrale, le paludisme est le principal facteur de morbidité [6], avec un taux d'inoculation entomologique pouvant atteindre environ 1 000 piqûres d'anophèles femelles infectées par personne [7]. En effet, en 2020, les nombres annuels déclarés positifs au paludisme s'élevaient à 127 500 cas contre 224 décès [4].

Pour combattre cette parasitose, la stratégie de lutte antipaludique adoptée repose globalement sur la lutte contre les vecteurs du paludisme au stade adulte à travers l'usage des Moustiquaires Imprégnées d'Insecticide (MII) [8].

Malencontreusement, les avantages offerts par ces outils de lutte sont fortement menacés par l'apparition des résistances aux insecticides chez les populations anophéliennes en Afrique subsaharienne [8, 9, 10]. Des études antérieures ont déjà rapporté des cas de résistance d'*Anopheles gambiae* s.l. aux insecticides dans les pays voisins [11, 12, 13, 14].

Au Gabon, ces phénomènes ont été signalés par certains auteurs à Libreville [15], Mouila [16] et Lambaréné [17]. Peu de données existent sur les localités frontalières comme la ville d'Oyem. Pour combler ce manquement, nous avons entrepris cette étude qui se propose de déterminer la sensibilité aux insecticides utilisés en santé publique et les mécanismes de résistance des populations d'*Anopheles gambiae* s.l. d'Oyem, en vue de la mise en place d'une stratégie de lutte adaptée aux réalités locales.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 ZONE D'ÉTUDE

Cette étude a été réalisée dans les zones urbaines, péri-urbaines et rurales de la ville d'Oyem en juillet 2020 (saison sèche) et en mi-novembre – mi-décembre 2020 (saison des pluies).

Située entre 1° 37' 00" de latitude Nord et 11° 35' 00" de longitude Est, la ville d'Oyem est le chef-lieu de la province du Woleu-Ntem (Nord du Gabon). Cette localité qui est la quatrième ville du pays après Libreville, Franceville et Port Gentil, est peuplée de 80 000 habitants. Son emprise spatiale s'étend sur près de 38 465 km^2. Son climat est de type équatorial humide caractérisé par une alternance des saisons pluvieuses et des saisons sèches [18]. Son relief est formé de plateaux et collines à pentes douces séparés par des cours d'eau et des lacs.

La végétation d'Oyem est composée des forêts marécageuses et des forêts secondaires servant de zones de culture aux habitants. Ces derniers y cultivent le manioc (*Manihot esculenta*), la canne à sucre (*Saccharum officinarum*), la banane (*Musa paradisiaca*), l'ananas (*Ananas comosus*), le café (*Coffea arabica*), le cacao (*Theobroma cacao*) et bien d'autres spéculations agricoles.

2.2 SITES PROSPECTÉS

Dans le cadre de cette étude, trois (3) sites d'échantillonnage ont été retenus en suivant le gradient d'urbanisation et en allant de la zone urbaine vers la zone rurale en passant par la zone péri-urbaine (Figure 1).

Dans la zone urbaine, huit (8) quartiers dont Akoakam, Methui, Mekaga, Ngouema, Eyenassi, Adzougou, Nkomayate et Adzabelone ont été prospectés. Cette zone dépourvue de forêt et bien drainée, est caractérisée par une urbanisation anarchique de l'espace et par la proximité des habitations avec les marécages, les rivières [19].

En zone péri-urbaine, trois (3) quartiers (Angone, Mekom-Nkodje et Ewormokok) ont été échantillonnés. Dans cette zone, les habitations sont construites avec des matériaux lourds (briques) et des matériaux légers (planches, tôles, etc.). Cette zone est colonisée par des forêts secondaires marécageuses exploitées par les populations pour leurs activités agricoles de type paysan [20]. Cette zone est bien drainée, avec un lac au quartier Ewormokok et de nombreuses rivières [19].

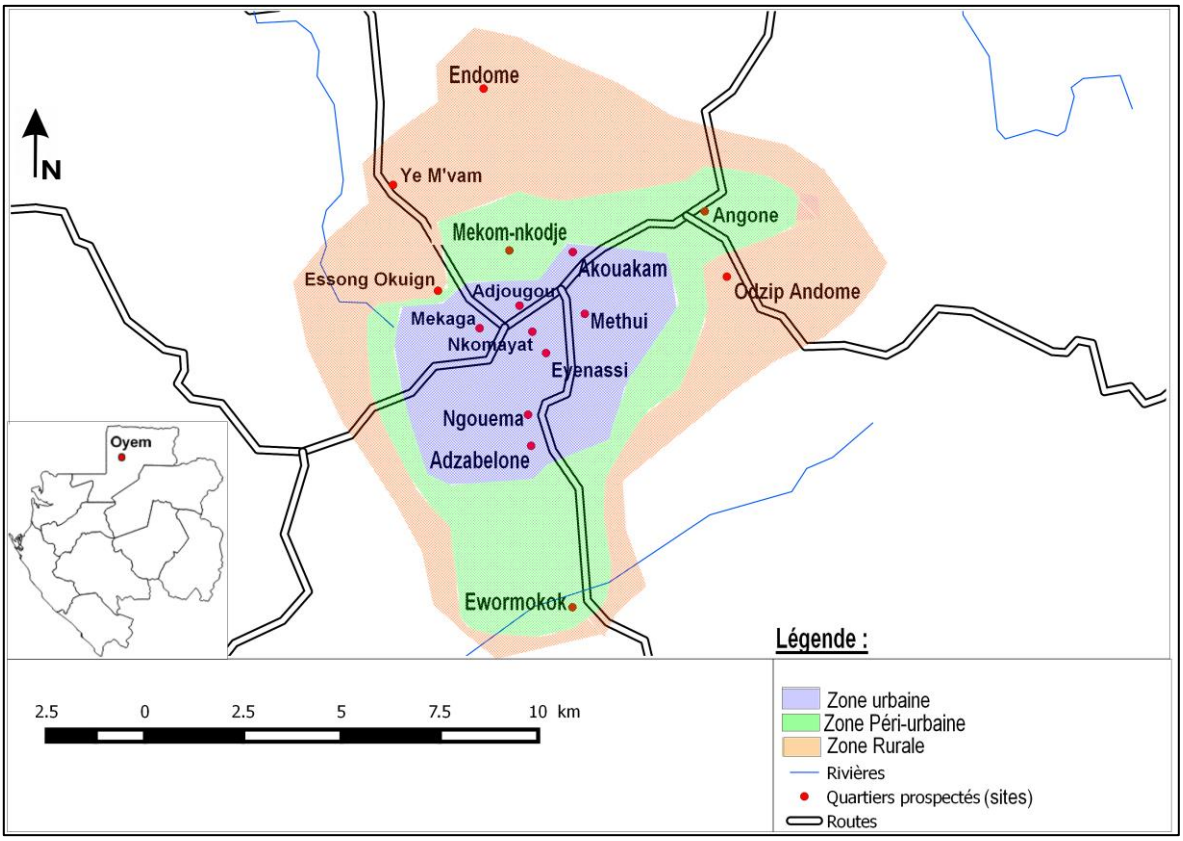


Fig. 1. Localisation de la zone d'Oyem et des sites d'étude (Obame et al., 2021).

Pour terminer, dans la zone rurale, quatre (4) villages tels que Andome-Odzip, Endome, Essong-Okuign et Ye'Mvam ont été sillonnés. Les habitations y sont majoritairement construites le long des routes avec des matériaux légers (planches, tôles et terre battue). Cette zone est peuplée de forêts secondaires et marécageuses où les habitants font de l'agriculture paysanne [19]. Il y a aussi la présence des rivières *Nyè* au village Essong-Okuign et *Andome* à Odzip-Andome.

2.3 COLLECTE LARVAIRE ET ÉLEVAGE DES MOUSTIQUES

Les moustiques ont été collectés à l'état larvaire dans les quartiers et les villages d'Oyem susmentionnés. Les larves ont été prélevées dans différentes collections d'eau de taille et de nature variées (récipients domestiques, de pneus, de fosses septiques, de briques, de caniveaux, de flaques d'eau, de marécages et de lacs) en utilisant la méthode de dipping [21]. Cette technique a consisté à collecter les larves de moustiques dans les gîtes larvaires avec des louches. Les larves récoltées ont été transportées au laboratoire où elles ont été triées par genre et mises dans des bacs d'élevage contenant de l'eau des gîtes [22]. Ces larves ont été quotidiennement nourries avec un aliment pour poissons d'ornement finement émiettée [19]. puis élevées jusqu'à l'émergence des imagos. Les adultes obtenus ont été nourris à l'eau sucrée à 10%.

2.4 TESTS DE SENSIBILITÉ AUX INSECTICIDES ET IDENTIFICATION MORPHOLOGIQUE DES MOUSTIQUES

Les tests de sensibilité ont été effectués avec les femelles d'anophèles provenant du quartier Ngouema (zone urbaine), du quartier Ewormokok (zone péri-urbaine) et du village Odzip-Andome (zone rurale) à jeun âgées de 3 à 5 jours issues des élevages. Ces essais biologiques ont été réalisés selon le protocole standard de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) pour adultes (OMS, 2017). Sept (7) insecticides appartenant à quatre (4) familles ont été utilisés pour ces tests, à savoir:

- Organochlorés: DDT 4%;
- Pyréthrinoïdes: Deltaméthrine 0,05%, Perméthrine 0,75%, Lambda-cyhalothrine 0,05% et Cyfluthrine 0,15%;
- Carbamates: Bendiocarbe 0,1%;
- Organophosphorés: Malathion 5%.

Toutes les femelles d'anophèles testées ont été identifiés morphologiquement comme appartenant au complexe *Anopheles gambiae* en utilisant la clef d'identification des Culicidae d'Afrique Centrale de Baldacchino & Paupy [23] et la clef de détermination des femelles d'anophèles d'Afrique tropicale [24]

Au total, 4 lots de 20 femelles d'anophèles ont été utilisés durant les essais biologiques. Pour chaque test, les lots de moustiques ont été mis en observation pendant 60 minutes dans des tubes pourvus de papier non imprégné, puis, les femelles ont été mises en contact avec l'insecticide, dans des tubes pourvus de papier imprégné. Par contre, des tubes témoins pourvus de papier non-imprégné ont été utilisés. Pendant 60 minutes (période d'exposition), l'effet Knock-down a été observé toutes les 5 à 10 minutes. À la fin, les femelles ont été transférées dans des tubes d'observation. Par la suite, un coton imbibé d'une solution sucrée à 10% a été placé sur chaque tube d'observation pour nourrir les femelles d'anophèles. Enfin, la mortalité a été estimée 24 heures après l'exposition [25].

Tous les spécimens de moustiques testés ont été conditionnés en deux lots (les morts et les survivants) et conservés dans des tubes Eppendorf de 1,5 ml contenant du silicagel en vue des analyses de biologie moléculaire (identification des espèces et recherche de gènes de résistance).

2.5 ANALYSE DES DONNÉES

Les temps de knock-down désignant le temps nécessaire pour que 50% (KdT50) et 95% (KdT95) d'anophèles soient assommés après 1 heure d'exposition avec un insecticide, ont été calculés en utilisant le logiciel Polo Plus version 1.0.

Par contre, les taux de mortalité observés après 24 heures ont été obtenus en divisant le nombre de femelles tuées par le nombre total de femelles d'anophèles testées pour chaque insecticide.

L'interprétation des résultats des tests de sensibilité a été basée sur les critères de validité définis par l'OMS [25], à savoir:

- Résistance: si la mortalité est inférieure à 90%;
- Sensibilité: si la mortalité est supérieure à 98%;
- Résistance probable (à confirmer): si la mortalité est comprise entre 90% et 97%.

2.6 IDENTIFICATION DES FORMES MOLÉCULAIRES DU COMPLEXE *ANOPHELES GAMBIAE*

Tous les anophèles testés appartenant au complexe *An. gambiae* ont été identifiés à partir de la technique de Polymerase Chain Reaction (PCR). Le protocole de Wilkins *et al.* [26] a été utilisé afin de déterminer les formes moléculaires S (*An. gambiae*) et M (*An. coluzzii*) du complexe *An. gambiae*.

2.7 RECHERCHE DES GÈNES DE RÉSISTANCE KDR ET ACE-1^R

La détection de la mutation Kdr a été réalisée par PCR en appliquant une variante de la technique de Huynh *et al [27].* Cette méthode est basée sur l'usage des amorces à mésappariement intentionnel telles que :

IPCF <GATAATGTGGATAGATTCCCCGACCATG>,

ALTREV<TGCCGTTGGTGCAGACAAGGATG>,

WT<GGTCCATGTTAATTTGCATTACTTACGAATA>,

EAST <CTTGGCCACTGTAGTGATAGGAAATC>, et la Taq polymérase pour diagnostiquer par l'amplification les allèles résistants et sensibles.

Le protocole décrit et employé par Wilkins *et al.* [26] a permis de diagnostiquer la présence des gènes de résistance Kdr-West (L1014F) et Kdr-East (L1014S) et de définir les génotypes homozygotes résistants (RR), homozygotes sensibles (SS) et hétérozygotes (RS). L'évaluation de la fréquence de la mutation Kdr par site d'étude a été réalisée grâce au logiciel Excel 2013.

Par contre, le diagnostic de la mutation Ace-1^R a été fait via la technique de PCR en appliquant la méthode de Weill *et al*. [28] simplifiée par Wilkins *et al [*26*].* Elle a consisté à utiliser des amorces spécifiques, notamment CDCACEF <GGT GGA CGT GTG TGG CTC >, CDCACER <CTA CCG TAG CGC AAG GTT C>, CDCWT <TGT GGA TCT TCG GCG TCG> et CDCG119SR <CGG TGC CGG AGT AGA ATC T> et la Taq polymérase pour rechercher par l'amplification, les allèles résistants et sensibles.

Pour les mutations Kdr-West et Kdr-East, le calcul de la fréquence de la mutation Kdr dans les populations d'*An. gambiae* de la zone d'Oyem a été réalisé dans le tableur Excel 2013 en appliquant le modèle d'Hardy-Weinberg pour système tri-allélique. Par la suite, le test de Khi-2 a été réalisé à l'aide du logiciel Python version 3.10.6 afin de comparer les fréquences alléliques Rw et Re avec un seuil de significativité de 5%.

3 RESULTATS

3.1 MORTALITÉ DES ANOPHÈLES TESTÉS SUIVANT LES ZONES PROSPECTÉES

Au total, 1680 femelles d'*Anopheles gambiae* s.l. issues de trois (3) types de zone (urbaine, péri-urbaine et rurale) ont été testées. Ces anophèles sont résistants au DDT 4%, à la Deltaméthrine 0,05%, à la Perméthrine 0,75%, à la Lambda-cyhalothrine 0,05% et à la Cyfluthrine 0,15%.

Une forte résistance de ces anophèles au DDT 4% a été enregistrée en zone péri-urbaine (Tableau 2). En effet, cet insecticide a présenté la mortalité la plus faible par rapport aux autres insecticides avec un pourcentage de 3%. En revanche, la Deltaméthrine a présenté les taux de mortalité les plus importants en zone urbaine, péri-urbaine et rurale avec des pourcentages respectifs de 70%, 75% et 93%. Quant à la Cyfluthrine, elle a enregistré les plus faibles taux de mortalité avec 35% de mortalité (zone urbaine) et 30% de mortalité (zone péri-urbaine). La Lambda-cyhalothrine a présenté un taux de mortalité 18% en zone rurale. Toutefois, les populations d'anophèles des sites d'étude restent sensibles aux insecticides de classe des Carbamates (Bendiocarbe 0,1%) et celle des Organophosphorés (Malathion 5%), avec des mortalités de 100% (Tableau 2).

3.2 EFFET KNOCK-DOWN (KD)

Aussi bien en zone urbaine qu'en zone rurale, les KdT50 et KdT95 relatif au DDT 4% sont supérieurs à 60 min. En revanche, en zone péri-urbaine, aucun Kd n'a été observé. Pour la Deltaméthrine, les résultats révèlent qu'en zone urbaine, péri-urbaine et rurale, les KdT50 sont respectivement de 35,499 min, 39,892 min et 43,284 min. Pour cet insecticide, les KdT95 sont supérieurs à 60 min pour les anophèles issus de ces trois zones.

En présence de la Perméthrine, en zone urbaine et rurale, les KdT50 sont respectivement de 50,495 min et 33,503 min. Cependant, les KdT95 pour cet insecticide sont supérieurs à 60 min. S'agissant de la Lambda-cyhalothrine et de la Cyfluthrine, ils ont enregistré des KdT50 et KdT90 supérieurs à 60 min dans les trois (3) types de sites. Au regard de ces temps de knock-down, il convient de signaler que la Deltaméthrine est le seul insecticide qui a assommé plus de 50% de la population d'*An. gambiae* s.l. de la zone d'Oyem en moins de 1 h d'exposition (Tableau3).

Tableau 1. Synthèse des taux de mortalité et profils de sensibilité des anophèles de la zone d'Oyem

INSECTICIDES	Effectif testé	ZONE URBAINE		ZONE PERI-URBAINE		ZONE RURALE	
		Mortalité (%)	Statut	Mortalité (%)	Statut	Mortalité (%)	Statut
DDT 4%	80	15	Résistant	3	Résistant	25	Résistant
Deltaméthrine 0,05%	80	70	Résistant	75	Résistant	93	Résistant
Perméthrine 0,75%	80	53	Résistant	53	Résistant	63	Résistant
Lambda-cyhalothrine 0,05%	80	48	Résistant	35	Résistant	18	Résistant
Cyfluthrine 0,15%	80	35	Résistant	30	Résistant	43	Résistant
Bendiocarbe 0,1%	80	100	Sensible	100	Sensible	100	Sensible
Malathion 5%	80	100	Sensible	100	Sensible	100	Sensible

Tableau 2. Effet Knock-down (Kd) des populations d'An. gambiae de la zone d'Oyem

INSECTICIDES	ZONE URBAINE		ZONE PERI-URBAINE		ZONE RURALE	
	KdT50 (IC)	KdT95 (IC)	KdT50 (IC)	KdT95 (IC)	KdT50 (IC)	KdT95 (IC)
DDT 4%	109,155 (82,734-179,074)	537,212 (285,262-1750,958	No KD	No KD	156,442 (90,807 – 882,561)	962,636 (302,238 – 45955,258)
Deltaméthrine 0,05%	35,499 (30,451 – 42,521)	140,517 (99,372-246,583)	39,892 (32,859 - 51,759)	147,898 (95,570 - 356,111)	43,284 (37,494 - 52,035)	156 (110,556 - 275,089)
Perméthrine 0,75%	50,495 (40,598-71,563)	208,942 (123,848 -617,134)	990,926 (272,410 -64216,146)	114313,628 (6141,863 – 1702411947,015)	33,503 (31,010 – 36,302)	96,286 (81,866 – 119,156)
Lambda-cyhalothrine 0,05%	185,929 (114,320-565,855)	1242,116 (448,038 - 13655,929)	104,199 (79,389 - 166,045)	598,718 (314,483-1904,216)	200,851 (92,195 -4218,579)	3419,643 (555,032 – 6162043,892)
Cyfluthrine 0,15%	68,064 (57,525 - 86.758)	332,365 (215,329 -656.624)	152,814 (88,462 – 646,224)	1443,241 (418,009 – 45643,528)	60,478 (52,539 - 73.274)	257,963 (179,676 – 444,893)

No Kd: Perte totale de l'effet Knock-down (moins de 10% de moustiques assommés après 60 minutes d'exposition); IC: Intervalle de Confiance à 95%; KdT50 et KdT95

3.3 IDENTIFICATION MOLÉCULAIRE DES ESPÈCES DU COMPLEXE *ANOPHELES GAMBIAE*

Près de 504 échantillons de moustiques ont été conditionnés pour l'identification moléculaire des espèces du complexe *Anopheles gambiae*. Sur les 504 échantillons analysés, un total de 484 spécimens étaient des *Anopheles gambiae* et 20 individus n'ont pu être identifiés.

3.4 RECHERCHE DES GÈNES DE RÉSISTANCE KDR ET ACE-1^R

Les résultats des analyses PCR ont révélé une coexistence des mutations Kdr-East et Kdr-West. Sur les 484 spécimens analysés, 439 étaient des individus homozygotes résistants (RwRw) avec une fréquence de 90,7. Une fréquence de 9,3 a été déterminée pour l'hétérozygote RwRe, révélant une co-occurrence des deux (2) mutations chez 45 individus.

Aucun individu homozygote (SS) ou hétérozygote (SRw ou SRe) n'a été détecté. L'analyse totale de la coexistence des mutations Kdr-East et Kdr-West a montré une prédominance de l'allèle Rw avec une fréquence de 95,4 par rapport à l'allèle Re dont la fréquence allélique est de 4,6 (Tableau 4). Il y a une différence significative entre les fréquences alléliques Rw et Re (X^2 = 81,72; p-value = 1,57e^{-19}).

Tableau 3. Fréquence génotypique et allélique des populations d'An. gambiae à Oyem

	Fréquence génotypique							Fréquence allélique			
	SS	SRw	SRe	RwRw	RwRe	ReRe	Total	S	Rw	Re	Total
N	0	0	0	439	45	0	464	0	923	45	968
F	0	0	0	90,7	9,3	0	100	0	95,4	4,6	100

N: Effectif; F: Fréquence = (N/Total) x100

L'analyse par zone d'étude a montré les mêmes tendances que l'analyse globale. En effet, on a noté une prédominance des individus homozygotes résistants (RwRw) sur les hétérozygotes résistants (RwRe). Selon les zones prospectées, on a observé une prédominance des gènes Kdr-West avec des fréquences alléliques respectives de 92,9; 96,3 et 95,9 comparé aux gènes de résistance Kdr-East dont les fréquences alléliques respectives ont été de 7,1; 3,7 et 4,1 (Tableau 5). De plus, il existe des différences significatives entre les fréquences alléliques Rw et Re (X^2> 73; *p*-value < 0,05). Les résultats des analyses moléculaires ont révélé l'absence de gène de résistance Ace-1^R qui confère aux anophèles la résistance aux insecticides des classes des Carbamates et des Organophosphorés.

Tableau 4. Fréquence génotypique et allélique d'An. gambiae en fonction des zones étudiées

Zones		Fréquence génotypique							Fréquence allélique			
		SS	SRw	SRe	RwRw	RwRe	ReRe	Total	S	Rw	Re	Total
Urbaine	N	0	0	0	121	20	0	141	0	262	20	282
	F	0	0	0	85,8	14,2	0	100	0	92,9	7,1	100
Péri-urbaine	N	0	0	0	172	12	0	164	0	316	12	328
	F	0	0	0	92,7	7,3	0	100	0	96,3	3,7	100
Rurale	N	0	0	0	146	13	0	159	0	305	13	318
	F	0	0	0	91,8	8,2	0	100	0	95,9	4,1	100

N: Effectif; F: Fréquence = (N/Total) x100

4 DISCUSSION

Les résultats d'analyses moléculaires ont révélé que les espèces du complexe *An. gambiae* au niveau d'Oyem ne sont représentées que par *An. gambiae.* Les larves de cette espèce semblent être inféodées aux gîtes larvaires prospectés dans les trois zones d'étude (urbaine, péri-urbaine et rurale). Aussi, l'abondance de cette espèce pourrait s'expliquer par le fait que les zones échantillonnées présentent des conditions écologiques favorables au développement de ses larves. Toutefois, ces résultats sont contraires à ceux de Mourou *et al*. [15] et de Koumba *et al.* [8] qui ont signalé la présence de plusieurs espèces du complexe *An. gambiae* dans trois provinces du Gabon. En effet, Mourou *et al*. [15] ont mis en évidence l'existence d'*An. gambiae,* d'*An. melas* et d'*An. coluzzii* à Libreville (Province de l'Estuaire) et à Port-Gentil (Province de l'Ogooué Maritime). Par contre, Koumba *et al.* [8] ont mis en évidence la présence d'*An. gambiae* et d'*An. coluzzii* à Mouila dans la province de la Ngounié.

Les études d'Etang *et al* [29] et Mbida *et al*. [30] au Cameroun ont révélé qu'*An. gambiae* et *An. coluzzii* se développent dans les mêmes gîtes larvaires, à savoir les récipients de stockage d'eau, les récipients abandonnés et les pneus. Dans le cadre de cette étude, les larves d'*Anopheles gambiae* ont été récoltées dans les récipients domestiques, les pneus, les fosses septiques, les briques, les caniveaux, les flaques d'eau, les marécages et les lacs. L'absence d'*An. coluzzii* dans nos collections pourrait s'expliquer par la période d'étude et par le type de gîtes où les larves d'anophèles ont été collectées. Selon Mbida *et al.* [30], *An. gambiae* préfère les gîtes permanents tandis qu'*An. coluzzii* affectionne les collections d'eau temporaires. Au cours de cette étude, ce sont les collections d'eau où les larves d'anophèles ont été prélevées étaient majoritairement des gîtes temporaires. En revanche, l'absence des autres espèces du complexe *An. gambiae* telles qu'*An. arabiensis, An. melas* et *An. merus* est liée au fait que les larves de ces espèces anophéliennes sont absentes des zones forestières [31] et des eaux non saumâtres comme c'est le cas pour la zone d'Oyem.

Les résultats des tests de sensibilité aux insecticides traduisent une résistance d'*An. gambiae* au DDT et aux Pyréthrinoïdes (Deltaméthrine, Perméthrine, Lambda-cyhalothrine, Cyfluthrine) dans la zone d'étude. Ces résultats sont en accord avec ceux de Koumba *et al.* [8, 9], L'usage à grande échelle du DDT en 1950 lors des campagnes de démoustication [32] et l'utilisation

excessive des Pyréthrinoïdes contre les ennemis de cultures depuis 1970 et leur emploi dans la lutte antivectorielle via les campagnes de distribution des MILDA ont probablement contribuer à sélectionner la résistance [33, 34]. D'ailleurs, Obame *et al.* [19] a indiqué que les ménages de la zone d'Oyem utilisent fortement les moustiquaires imprégnées de Deltaméthrine. Par ailleurs, certains agriculteurs de la zone d'Oyem utilisent beaucoup les insecticides (ex: deltaméthrine, lambda-cyhalothrine) pour protéger leurs cultures et leurs champs contre les insectes ravageurs [19]. Ces phénomènes de résistance des anophèles aux Pyréthrinoïdes semblent être généralisés [8, 9, 15, 17].

Cette situation pourrait avoir des conséquences négatives sur l'efficacité des MILDA en termes de protection physique des populations humaines [35, 36]. La résistance aux Pyréthrinoïdes observée chez les populations anophéliennes d'Oyem est probablement liée à une insensibilité nerveuse résultant d'une modification du site d'action (canaux sodium voltage dépendants) régie par le gène Kdr-West et Kdr-East [8, 33, 37]. D'ailleurs, de fortes fréquences alléliques de Kdr-West (>90%) ont été relevées dans les populations d'anophèles d'Oyem. Par ailleurs, la présence du gène Kdr observée à la fois chez les moustiques survivants que ceux morts après les tests de sensibilité, suggère la présence d'autres mécanismes impliqués dans la résistance (résistance comportementale, résistance cuticulaire, etc.) de ces moustiques aux insecticides.

Par contre, la susceptibilité au Bendiocarbe (Carbamates) et au Malathion (Organophosphorés) a été observée chez les anophèles de la zone d'étude. Cette sensibilité serait due à la non utilisation (ou faible usage) de ces composés organiques de synthèse en santé publique et en agriculture dans le pays [9, 19]. Ces résultats traduisent donc l'efficacité de ces insecticides qui peuvent être utilisés pour les Pulvérisations Intra-Domiciliaires (PID) dans la zone d'Oyem [9]. où la résistance aux Pyréthrinoïdes a été mise en évidence. Dans le cadre de la gestion de la résistance au Bénin, Akogbéto *et al*. [38] ont rapporté que le Bendiocarbe a montré son efficacité quand il a été utilisé dans les PID.

Toutefois, des études complémentaires sont judicieuses afin de mieux apprécier la dynamique spatio-temporelle de la sensibilité des populations d'anophèles aux insecticides usuels.

5 CONCLUSION

Cette étude a permis d'identifier les espèces du complexe *An. gambiae* et les profils de sensibilité de ce vecteur majeur du paludisme dans la zone d'Oyem. Globalement, les anophèles des sites prospectés sont des *Anopheles gambiae*. Ces vecteurs ont déjà développé des résistances au DDT et aux Pyréthrinoïdes dues aux mutations Kdr-West et Kdr-East. Cela pourrait menacer l'usage des MILDA imprégnées aux Pyréthrinoïdes.

Fort heureusement, ces anophèles restent toujours sensibles aux Carbamates et aux Organophosphorés qui pourraient servir d'alternatives en cas de très forte résistance des moustiques d'Oyem aux Pyréthrinoïdes.

Pour garantir l'efficacité des MIILDA dans la lutte antipaludique à Oyem et dans d'autres localités, il serait bien de préserver les pyréthrinoïdes pour l'imprégnation des moustiquaires et réduire leur utilisation dans les autres secteurs d'activités. De même, une surveillance de la résistance des vecteurs du paludisme aux insecticides et la caractérisation de tous les mécanismes de résistance impliqués sont essentielles afin de concevoir des stratégies de lutte efficaces et adaptées à la zone d'étude. Enfin, les données de cette étude fournies des informations qui pourraient aider le Programme National de lutte contre le Paludisme dans le cadre de la gestion durable de la résistance ou la conception des stratégies de lutte antivectorielle à Oyem.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé grâce à l'appui financier, institutionnel et logistique du Laboratoire d'Ecologie Vectorielle (LEV), de l'Institut de Recherche en Ecologie Tropicale (IRET), de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar et du Programme National de Lutte contre le Paludisme (PNLP). Et nous remercions Pr LASSANA KONATE, Dr Ghislain EBANG ELLA, Léo SIMA OWONO, Khady SYLLA et Gnima BODIAN pour leur aide multiforme.

REFERENCES

[1] J Mouchet, P Carnevale, M Coosemans, J Julvez, S Manguin, D Richard-Lenoble, J Surcoulon (2004). Biodiversité du paludisme dans le monde. 22p.
[2] OMS (2021). Rapport Mondial sur le Paludisme dans le monde. Dossier d'information. Principaux messages. 3p.
[3] WHO (2022). World malaria report. World Health Organization, Geneva, Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO, 372p.
[4] ALMA (2021). Carte de Score pour la Redevabilité et l'Action: Gabon. Rapport trimestriel de l'ALMA 4ème Trimestre 2021. African Leaders Malaria Alliance (Alliance des Dirigeants Africains contre le Paludisme), Malawi, 4p.

[5] J.B Lendongo-Wombo, S.L Oyegue-Liabagui, J.C Biteghe-Bi-Essone, E.B Ngoungou & J.B Lekana-Douki (2022). Epidemiology of malaria from 2019 to 2021 in the southeastern city of Franceville, Gabon. BMC Public Health, 22: 2313.

[6] J.B Lendongo Wombo, E Ibinga, S.L Oyegue-Liabagui, R.K Imboumy Limoukou, A.P Okouga, F Mounioko, S Maghendji-Nzondo, J.B Lekana-Douki & E.B Ngoungou (2023). Severe malaria in children and adolescents in Southeast Gabon. BMC Infectious Diseases, 23: 207.

[7] J Delmont, E Pichard, S Jauréguiberry, B Marchou, P Parola, F Simon *et al*. (2016). Maladies infectieuses tropicales. Alliéna Plus.

[8] A.A Koumba, C.R Zinga Koumba, R Mintsa Nguema, L.S Djogbenou, P Comlan, MP Gneingui, GK Ketoh, B M'batchi, & JF Mavoungou, (2018b). *Détermination de la sensibilité d'Anopheles gambiae s.l. à quelques pyréthrinoïdes dans les zones élaéicoles à Mouila (Gabon).* International Journal of Innovation and Scientific Research, 39 (2), 110-119.

[9] A.A Koumba, C.R Zinga Koumba, R Mintsa Nguema., P Obame Ondo,., G Bibang Bengono, P Comlan, G.K Ketoh, L.S Djogbenou, O Faye, B M'batchi, & JF Mavoungou,. (2018a). *Susceptibilité d'Anopheles gambiae s.s. et An. coluzzii aux organophosphorés et aux carbamates en zones d'exploitation industrielle de palmiers à huile à Mouila, Gabon*. Bulletin de la Société de Pathologie Exotique, 111, 176-182.

[10] G Duvallet, D Fontenille & V Robert (2017). *Entomologie médicale et vétérinaire*. IRD Editions, Edtions Quae, Marseille, Versailles, 688p.

[11] C Kerah-Hinzoumbe, M Peka. P Nwane, I Donan-Gouni, J Etang, A Samè-Ekobo And Simard F (2008) «Insecticide resistance in *Anopheles gambiae* from south-western Chad, Central Africa», *Malaria Journal,* vol. 7, pp. 192-201.

[12] J. L Moreno,. J Vicente, P Cano, J Berzosa, A De Lucio, S Nzambo, L Bobuakasi, J.N Buatiche, M Ondo, F Micha, V.E Do Rosario, J Pinto, A Benito (2008) «Knockdown resistance mutations (kdr) and insecticide susceptibility to DDT and pyrethroids in Anopheles gambiae from Equatorial Guinea», Trop. Med. Int. Health., vol. 13, n°3, pp. 430–3.

[13] C Antonio-Nkondjio, B T Fossog, E Kopya,., Y Poumachu, B M., Djantio, C Ndo et al. (2015). Rapid evolution of pyrethroid resistance prevalence in Anopheles gambiae populations from the cities of Douala and Yaoundé (Cameroon). Malaria journal 14: 155.

[14] G.K Metelo, G. M. Ilombe, Binene, J Nguya Kalemba Maniania, Muyembe, J.J Nagahuedi., «Profil de la sensibilite et mecanisme de resistance des *Anopheles gambiae s.l.* aux insecticides et PBO dans 3 sites de la province de Bandundu en Republique Democratique du Congo», *Ann. Afr. Med.,* vol. 9, n°1, pp. 2193-2200, 2015.

[15] J. R Mourou, T Coffinet, F Jarjaval, B Pradines, R Amalvict, C Rogier, M Kombila, & F Pages (2010). *Malaria transmission and insecticide resistance of Anopheles gambiae in Libreville and Port-Gentil, Gabon*. Malaria Journal, 9 (32), 1-8.

[16] A.A Koumba, C.R Zinga-Koumba, R Mintsa-Nguema, S.L Sevidzem, L.S Djogbenou, P.N Akono, G.K Ketoh, O Faye, B M'batchi and JF Mavoungou (2018c). Identification of the knockdown resistance (Kdr) mutations in Anopheles gambiae s.l. in the Mouila area, Southwest Gabon. Journal of Entomology and Zoology Studies, 6 (3): 602-607.

[17] S.T Boussougou-Sambe., T.G Tamirat Gebru Woldearegai., A.G Doumba-Ndalembouly., B Ngossanga, R Beh Mba, J. R Edoa., J. F Zinsou, Y.J, Honkpehedji U Ateba Ngoa, J.C Dejon-Agobé, P.G Borrmann Kremsner, B Mordmüller. & A.A Adegnika (2022). Assessment of malaria transmission intensity and insecticide resistance mechanisms in three rural areas of the Moyen Ogooué Province of Gabon. Parasites & vectors, 15: 217.

[18] PNUD (Programme des Nations Unies pour le développement) (2009). Programme ART GOLD GABON, Document de Marketing-Province du Woleu-Ntem, 60p.

[19] K P Obame Ondo, C R Zinga-Koumba, A A Koumba, Lendzele Sevidzem, J.F Mavoungou, O Faye (2021). Typologie des gites larvaires et sensibilité d'*Anopheles gambiae s.l*. Aux Insecticides En Zone Urbaine, Peri-Urbaine Et Rurale A Oyem (Nord Du Gabon). ESJ Natural/Life/Medical Sciences. Doi: 10.19044/esj.2022.v18n17p22.

[20] N Nasr, B Delpech, N Flitner, M Hulshof, J. C Torreilles, & F Twagiramungu (1995). *Quelle agriculture vivrière pour le nord du Gabon?* Agriculture et développement, N.8.

[21] B Papierok, H Croset & J.A Rioux (1975). Estimation de l'effectif des populations larvaires d'Aedes cataphylla Dyar, 1916 (Diptera, Culicidae) II: Méthode utilisant le coup de louche ou dipping. Cahiers ORSTOM, série Entomologie médicale et Parasitologie, 13 (1): 47–51.

[22] C.M Egbuche, C.K Ezihe, D.N Aribodor, & C.B Ukonze (2016). Survey of mosquitoes in open and closed larval habitats in Aguleri, Anambra East Local Government Area of Anambra State, South Eastern Nigeria. Journal of Mosquito Research, 6 (17), 1-5.

[23] F Baldacchino & C Paupy (2010). Clé de détermination des Culicidae présents en Afrique Centrale et au Gabon. Document de travail, IRD/CIRMF, 108p.

[24] M. Coetzee (2020). *Key to the females of Afrotropical Anopheles mosquitoes (Diptera: Culicidae).* Malaria Journal, 19, 70, https://doi.org/10.1186/s12936-020-3144-9. Licence CC BY 4.0.

[25] OMS (2017). Procédures pour tester la résistance aux insecticides chez les moustiques vecteurs du paludisme, Seconde édition. Organisation Mondiale de la Santé, Genève, 48p.

[26] E Wilkins Elein, L Howell Paul, Q Benedict Mark (2006). IMP PCR primers detect single nucleotide polymorphisms for *Anopheles gambiae* species identification, *Mopti* and *Savanna* rDNA types, and resistance to dieldrin in *Anopheles arabiensis*. Malar J 5: 125.

[27] L.Y Huynh, S.R Sandve, L.M Hannan, M Van Ert, J.E Gimnig (2007) Fitness costs of pyrethroid insecticide resistance in *Anopheles gambiae*. In: Annual Meeting of the Society for the Study of Evolution, Christchurch, New Zealand.

[28] C Weill M, Malcolm, F Chandre, K Mogensen, A Berthomieu, M Marquine, M Raymond (2004). The unique mutation in ace-1 giving high insecticide resistance is easily detectable in mosquito vectors. Insect Mol Biol 13: 1-7.

[29] J Etang, & F Simard (2002). Résistance d'Anopheles gambiae s.l. aux insecticides. In: Résistance des insectes aux insecticides en Afrique de l'ouest et du centre. Actes de l'atelier, 06- 07 mars 2002, Maroua, Cameroun: Volume 1: résumés et recommandations, Volume 2: communications et présentations, Brévault Thierry (ed.), Nibouche Samuel (ed.), CIRAD, PRASAC, IRAD.

[30] A Mbida Mbida, J Etang, P Akono Ntonga, C Eboumbou Moukoko, P Awono-Ambene, D Tagne, *et al.* (2017). New insight into Anopheles coluzzii larval ecology in the Wouri estuary, Littoral- Cameroon (in French). Bulletin de la Société de Pathologie Exotique, 110: 92-101.

[31] P Carnevale, & V Robert (2009). Les anophèles: biologie, transmission du plasmodium et lutte antivectorielle. Didactiques, Marseille.

[32] J.P Adam (1964). Répartition géographique des anophèles en République du Congo (Brazzaville). Cahiers ORSTOM Série Entomologie Médicale Parasitologie, 2: 73–82.

[33] Akono Ntonga P, Mbida Mbida, A, Awono Ambene P, Youmbi Enga L, Kayoum Y A, & Kekeunou S. (2018). Habitats larvaires et sensibilité des vecteurs du paludisme aux insecticides dans des localités (semi-urbaine et rurale) de la région du littoral camerounais: Données préliminaires. Revue d'Ecologie (Terre Vie), 73 (2), 132-141.

[34] C Czeher, R Labbo, I Arzika, & J Duchemin,. (2008). Evidence of increasing Leu-Phe knockdown resistance mutation in Anopheles gambiae from Niger following a nationwide long-lasting insecticidetreated nets implementation. Malaria Journal, 12, 1–12.

[35] V Corbel, M Akogbeto, G. B Damien, A Djenontin, F Chandre, C Rogier, N Moiroux, J Chabi, B Banganna, G.G Padonou & M Henry. (2012). Combination of malaria vector control interventions in pyrethroid resistance area in Benin: a cluster randomised controlled trial. The Lancet Infectious Diseases, 12 (8), 617–626.

[36] C Kamdem, B Tene Fossog, F Simard, J Etouna, C Ndo, P Kengne, F.X Etoa, P Awono-Ambene, D Fontenille, C Antonio-Nkondjio, N.J Besansky, C Costantini (2012). Anthropogenic habitat disturbance and ecological divergence between incipient species of the malaria mosquito Anopheles gambiae, PLoS One, vol. 7, n°6, e39453.

[37] C Antonio-Nkondjio, N Sonhafouo-Chiana, C.S Ngadjeu, P Doumbe-Belisse, A Talipouo, L Djamouko-Djonkam, E Kopya, R Bamou, P Awono-Ambene And. C.S Wondji (2017). «Review of the evolution of insecticide resistance in main malaria vectors in Cameroon from 1990 to 2017». *Parasites & Vectors,* vol. 10, pp. 472-487.

[38] M.C Akogbéto, G.G Padonou, D Gbénou, S Irish & A Yadouleton (2010) Bendiocarb, a potential alternative against pyrethroid resistant Anopheles gambiae in Benin, West Africa. Malaria journal 9: 204.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1423-1436
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Caractéristiques structurales des granitoïdes des secteurs d'Ayorou et de Kandadji (Liptako, Ouest Niger)

[Structural characteristics of the granitoids in the Ayorou and Kandadji area (Liptako, western Niger)]

Gambo Ranaou Noura, Yacouba Ahmed, Mallam Mamane Hallarou, Hassane Ibrahim Maharou, Sofiyane Abdourahamane Attourabi, and Hamidou Garba Saley

Université Abdou Moumouni, Faculté des Sciences et Techniques, Laboratoire des Eaux Souterraines et Géoressources, Equipe Socle et Ressources Minérales, BP 10662 Niamey, Niger

Copyright © 2023 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 Ayorou and Kandadji sectors are located in northern Niger's Liptako in the Téra-Ayorou pluton, composed mainly of granodiorites and various granites. This study investigates the structural characteristics of the granitoids of the Téra-Ayorou pluton in the Ayorou and Kandadji areas. Field and laboratory work revealed two major deformation phases, D1 and D2. Tectonic structures observed on granodiorites and synkinematic biotite granite (foliation, mineral lineation, shear corridors, folds and boudins identified) were assigned to deformation phase D1, which is ductile to semi-ductile. Other structures (quartzo-feldspathic, pegmatitic and doleritic fractures and veins) affecting all lithologies, have been linked to deformation phase D2, which is frankly brittle. The average direction of shortening of the compressive stress responsible for setting up the foliation (S) is generally N-S (Z N185° in Ayorou) and NNE-SSW (Z N225° in Kandadji). The shear zones were controlled by a shortening of average direction Z N195° (dextral shear zones) and Z N135° (senestial shear zones).

KEYWORDS: Granodiorites, granites, foliation, mineral lineation, shear zone, fractures.

RESUME: Les secteurs d'Ayorou et de Kandadji se situent au Nord du Liptako nigérien dans le pluton de Téra-Ayorou, composé essentiellement de granodiorites et de granites divers. Cette étude porte sur les caractéristiques structurales des granitoïdes du pluton Téra-Ayorou dans les secteurs Ayorou et Kandadji. Les travaux de terrain et les travaux de laboratoire ont permis de mettre en évidence deux phases majeures de déformation D1 et D2. Des structurales tectoniques observées sur des granodiorites et le granite à biotite syncinématique (foliation, de la linéation minérale, des couloirs de cisaillement, des plis et des boudins identifiés) ont été rattachées à la phase de déformation D1 qui est ductile à semi-ductile. D'autres structures (fractures et filons quartzo-feldspathiques, pegmatitiques et doléritiques) affectant toutes les lithologies, ont été reliées à la phase de déformation D2 qui est franchement cassante. La direction moyenne de raccourcissement de la contrainte compressive responsable de la mise en place de la foliation (S) est orientée globalement N-S (Z N185° à Ayorou) et NNE-SSW (Z N225° à Kandadji). Les couloirs de cisaillement ont été contrôlés par un raccourcissement de direction moyenne Z N195° (couloirs dextres) et Z N135° (couloirs senestres).

MOTS-CLEFS: Granodiorites, granites, foliation, linéation minérale, couloir de cisaillement, fractures.

Corresponding Author: Gambo Ranaou Noura

1 INTRODUCTION

Les plutons granitoïdiques intrusifs dans les ceintures des roches vertes du Liptako nigérien ont fait l'objet de plusieurs travaux tendant à caractériser leur pétrographie ([1], [2], [3], [4], [5], [6], [7]), leur géochimie ([8], [4], [6],) et leur géochronologie ([9], [10], [11], [12], [13], [8], [4]). Ces travaux ont démontré que les granitoïdes du Liptako sont des roches calco-alcalines mises en place en contexte de subduction à partir d'un point chaud ([4], [6]) et au cours de l'orogénèse éburnéenne entre 2000 à 2190 Ma ([2], [9],; [10], [11], [12], [13], [8], [4]).

Les études structurales réalisées dans le Liptako ont concerné essentiellement les ceintures des roches vertes de la Sirba ([3]), de Diagou-Darbani ([4], [12]), du Gorouol ([6]) et de Makalondi ([7]). Les études structurales entreprises principalement dans les plutons granitoïdiques sont limitées aux travaux de [9]; [12]; [15]. Les deux premiers auteurs ont mené des travaux à grande échelle couvrant l'intégralité des granitoïdes du Liptako mais donnant moins de visibilité et de précision à l'échelle locale. Ils ont mis en évidence plusieurs phases de déformations, possédant des caractéristiques multiples entre les périphéries et les centres des plutons. [15] ont tenté de caractériser les déformations en relation avec la mise en place des pegmatites à l'échelle locale (secteur Dibilo), au contact du pluton de Téra-Ayorou avec la ceinture de Diagorou-Darbani.

L'objectif de cette étude consiste à mieux caractériser les structures tectoniques qui affectent les granitoïdes du pluton de Téra-Ayorou, en particulier au centre de ce pluton.

2 CONTEXTE GEOLOGIQUE

Le Liptako nigérien appartient au domaine Paléoprotérozoïque de la dorsale de Léo-Man, précisément sur sa bordure NE. Cette dorsale forme avec la dorsale Reguibat, le bloc cratonique de l'Afrique de l'Ouest (Fig. 1). Le Liptako nigérien est caractérisé par une alternance des ceintures de roches vertes (Gorouol, Dargorou-Darbani, Sirba et Makalondi) et des plutons granitoïdiques (Dargol-Gothèye, Torodi et Téra-Ayorou) orientés globalement NE-SW. Les secteurs d'Ayorou et de Kandadji, objet de la présente, se localisent au Nord du pluton de Téra-Ayorou. (Fig. 2). Les ceintures vertes sont représentées par des roches volcaniques (basaltes), des roches plutoniques basiques (gabbros) et des roches métamorphiques (amphibolites, pyroxénites, schistes, épidotite, grenatites et serpentinites, [1], [2], [3], [13], [4], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [6], [22], [23], [24], [25], [7]). Les plutons granitoïdiques sont formés par des roches plutoniques acides (granites, syénites, granodiorites, monzonites, tonalites, trondhjémites), intermédiaires (dacites) et des roches métamorphiques (gneiss et migmatites, [9], [10], [11], [12], [8], [4], [17], [5], [15]). Une couverture sédimentaire, comprenant des roches infracambriennes (grès quartzitiques, diamictites), oligocènes (alternance de grès argileux et de grès oolithiques) et quaternaires (alluvions, colluvions et dunes), repose en discordance majeure sur les formations birimiennes ([26], [27], [28], [29]).

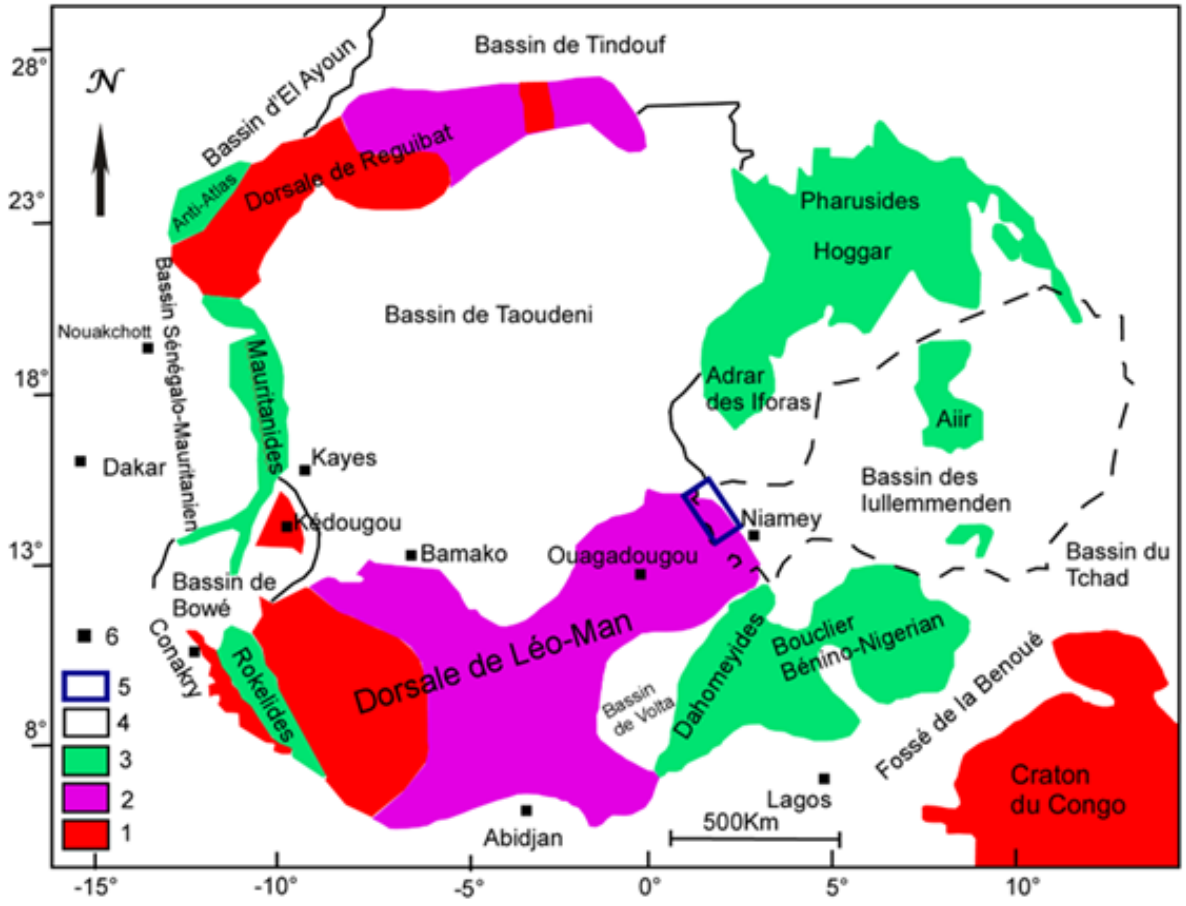


Fig. 1. Carte géologique simplifiée de l'Afrique de l'Ouest, montrant la localisation du secteur d'étude ([30]).
1: Archéen; 2: Birimien; 3: Zones mobiles panafricaines; 4: Bassins sédimentaires d'âge néoprotérozoïque à paléozoïque; 5: Zone d'étude; 6: villes.

La géologie des secteurs d'Ayorou et de Kandadji est constituée à plus de 70% du volume total des roches par une granodiorite foliée ([9], [12]). Elle est recoupée au Nord du pluton par une granodiorite porphyrique à mégas cristaux de feldspaths, un granite à biotite à grains fins à moyens de nature syncinématique, un granite à deux micas post-cinématique, des diorites et syénites quartziques, des filons quartziques, quartzo-feldspathiques, pegmatitiques et des dykes d'aplites et de dolérites ([12]). Les structures tectoniques décrits dans les anciens travaux ont été développées essentiellement sur les granodiorites possédant des grains moyens à fins et une teinte grise.

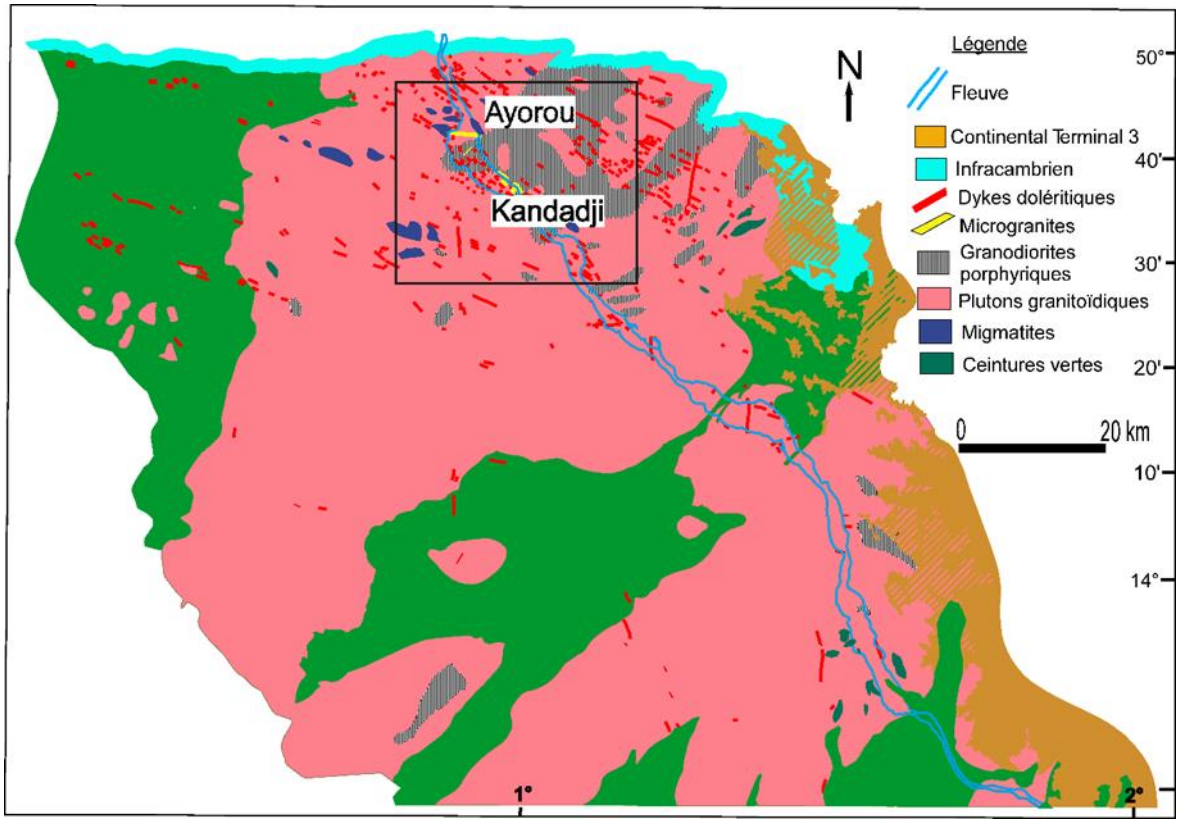


Fig. 2. Carte géologique du Liptako nigérien (extrait de la carte de [2])

3 METHODOLOGIE

La méthodologie mise en œuvre dans le cadre de cette étude a consisté en des travaux de terrain en des travaux de laboratoire.

Les travaux de terrain se résument en une collecte de données à travers la description pétrographique des lithologies et des structures tectoniques ayant affectées les affleurements. Cette démarche a permis également de faire des mesures structurales et le prélèvement des échantillons. Une centaine de mesures des plans de structures tectoniques a été réalisée sur le terrain.

Les travaux de laboratoire ont consisté à la confection des lames minces et leur observation au microscope polarisant, en vue de circonscrire les structures tectoniques intracristallines. L'étude de relations de recoupement entre les structures tectoniques identifiées à l'affleurement et lors des études microtectoniques et le traitement de mesures structurales au moyen du programme Stéréonet 10 ([31]) ont permis de déterminer les phases de déformations responsables de la mise en place des différentes structures affectant les granitoïdes ainsi que de comprendre les directions moyennes de raccourcissement de ces phases de déformation.

4 RESULTATS

Les granitoïdes des secteurs d'Ayorou et de Kandadji ont été affectés par des structures tectoniques (foliation, linéation minérale, couloirs de cisaillement, plis et boudins) liées à une première phase de déformation ductile à semi-ductile D1 et des structures (fractures et filons quartzo-feldspathiques, pegmatitiques et doléritiques) liées à une deuxième phase de déformation franchement cassante D2.

4.1 CARACTÉRISTIQUES DE LA PHASE DE DÉFORMATION DUCTILE À SEMI-DUCTILE D1

- Foliation (S)

La foliation (S) affecte fréquemment les granodiorites et localement le granite à biotite syncinématique dans les deux secteurs d'étude. Cette foliation (S), présentant un caractère pénétratif, se matérialise à l'affleurement par une alternance de lits clairs quartzo-feldspathiques et de lits sombres fins de biotite et d'amphibole. Les mesures de plans de la foliation (S) montrent une variation locale dans les deux secteurs d'étude. A Ayorou, les trajectoires de la foliation (S) varient entre N80°-N110° et des pendages compris entre 60° et 75° vers le Sud ou SW (Fig. 3a). Par contre, à Kandadji, les trajectoires ont une direction allant de N110° à N130° pour un pendage 50°-65° vers le SW ou l'Ouest (Fig. 3b).

Le traitement des mesures des plans de la foliation (S) à l'aide du programme Stéréonet indique une direction moyenne de raccourcissement de l'azimut Z N185° (N-S) à Ayorou (Fig. 4a) et de l'azimut Z N225° (NNE-SSW) à Kandadji (Fig. 4b).

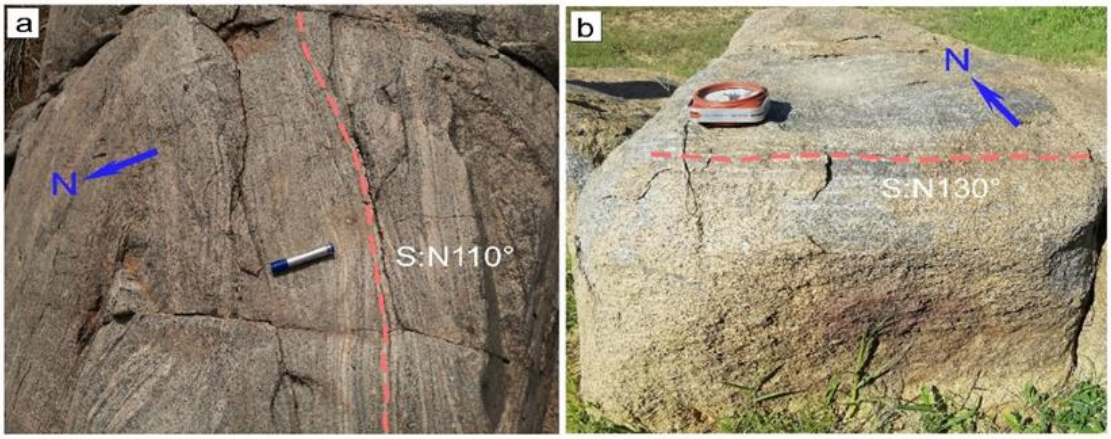


Fig. 3. Photographies montrant l'orientation de la foliation (S) (a) des granodiorites d'Ayorou et (b) du granite à biotite syntectonique de Kandadji. S: trajectoires de la foliation

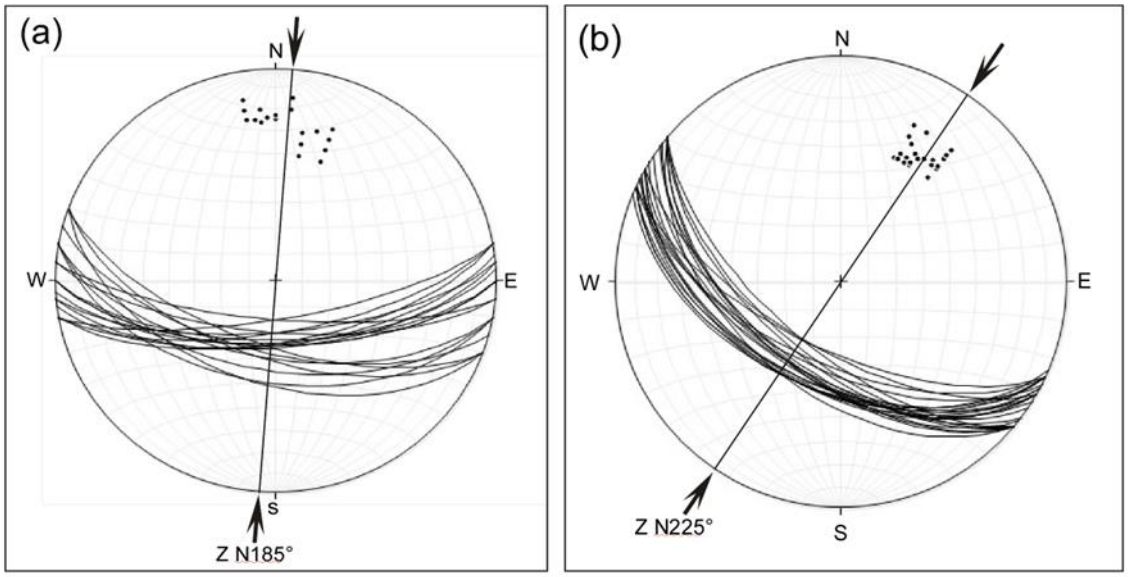


Fig. 4. Résultats de la projection stéréographique des plans de la foliation (S) mesurés à (a) Ayorou et (b) Kandadji.

- Linéation minérale

La linéation minérale a été observée localement sur les granodiorites au Nord et à l'Ouest d'Ayorou et au Sud de Kandadji. Elle est sécante au plan de la foliation (S) et se matérialise par un alignement préférentiel des cristaux allongés de plagioclase,

de biotite et d'amphibole (Fig. 5). Dans les deux secteurs, elle se caractérise par des faibles valeurs de plongement comprises entre 10° et 20° vers le SE ou le SW.

Fig. 5. Photographie montrant l'orientation et l'étirement des cristaux d'amphibole, de feldspaths et de biotite sur une granodiorite foliée.

- Couloirs de cisaillement

Les couloirs de cisaillement, observés au Nord et à l'Ouest d'Ayorou localement au Nord de Kandadji, ont affecté les granodiorites gneissiques et les granites à biotite migmatitiques. Généralement de nature semi-ductiles, ils ont réactivé les trajectoires de la foliation (S) en développant des plis, des boudins et des structures sigmoïdes (Fig. 6). Ils présentent le plus souvent une composante dextre où le plan C a une orientation comprise entre N100° à N110° et un pendage de 20° à 35° vers le Sud ou SW (Fig. 6a). En outre, des couloirs à jeu senestre et dont le plan C est orienté N40°-N55° (pour un pendage de 60° à 80° vers le Sud ou SE) ont été identifiés par endroit dans les deux secteurs (Fig. 6b).

La projection des mesures de plans C des couloirs de cisaillement sur les stéréogrammes (Fig. 7a, b) montre une direction moyenne de raccourcissement de l'azimut Z N195° (couloirs à jeu dextre) et de l'azimut Z N135° (couloirs à jeu senestre).

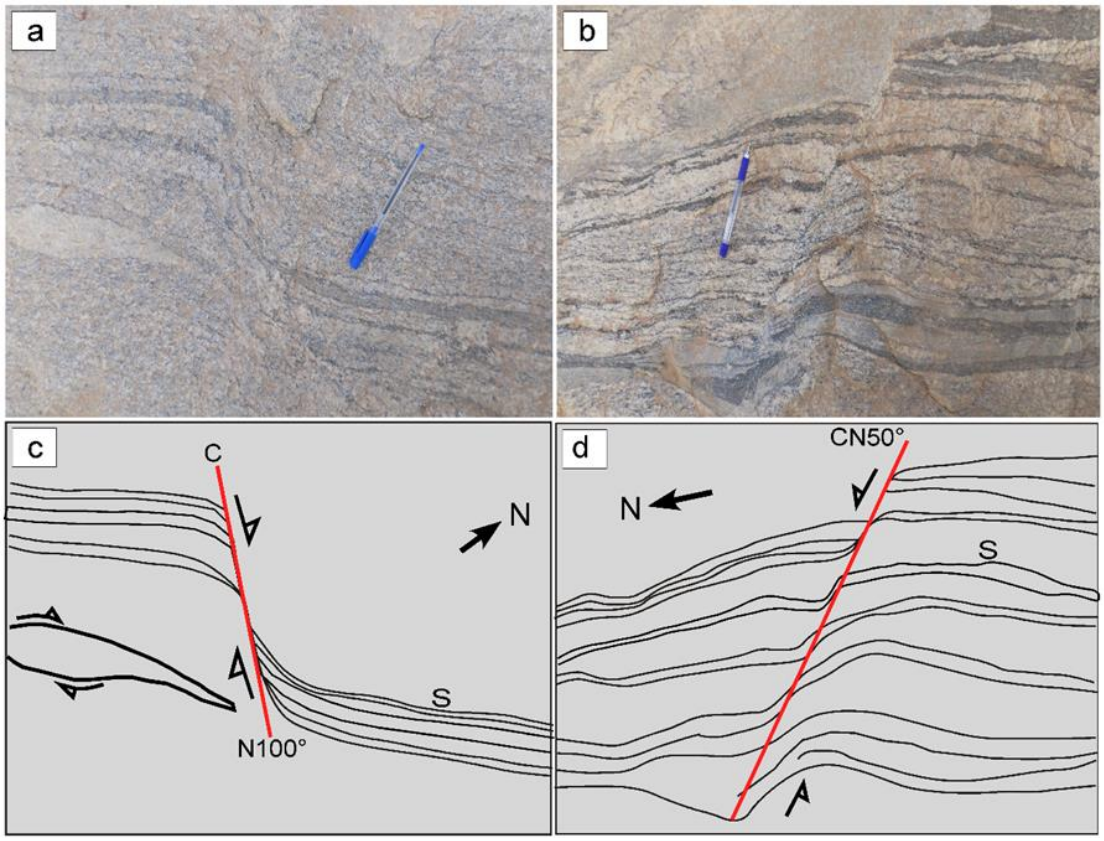


Fig. 6. Photographie montrant les couloirs de cisaillement semi-ductile à composante dextre (a) et senestre (b) associés aux granites gneissiques voire migmatitiques. S: trajectoire de la foliation plissée.

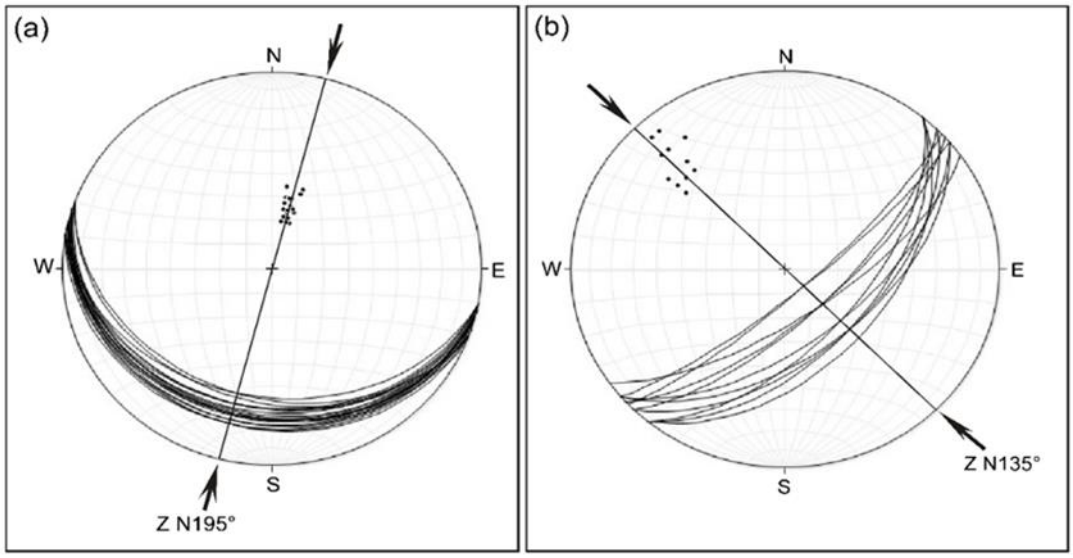


Fig. 7. Résultats de la projection stéréographique des plans C des couloirs de cisaillement semi-ductile à composante (a) dextre et (b) senestre.

- Plissement et boudinage

Le plissement et le boudinage affectent les granodiorites gneissiques et les granites migmatitiques. Les plis se caractérisent par des axes à faible plongement (20 à 30° vers le NE ou le NW). Ils sont essentiellement isopaques et localement anisopaques. Ils présentent des flancs et charnières dont l'organisation et l'agencement décrivent un S ou un Z (Fig. 8a). Les boudins sont

asymétriques et se dessinent à l'affleurement sur des lits quartzo-feldspathiques centimétriques et semblent paralléliser la trajectoire de la foliation (S) (Fig. 8b). Ils se caractérisent par endroit par des lentilles à géométrie sigmoïde fruste (fabrique S/C) mettant en évidence une composante rationnelle dextre de la déformation.

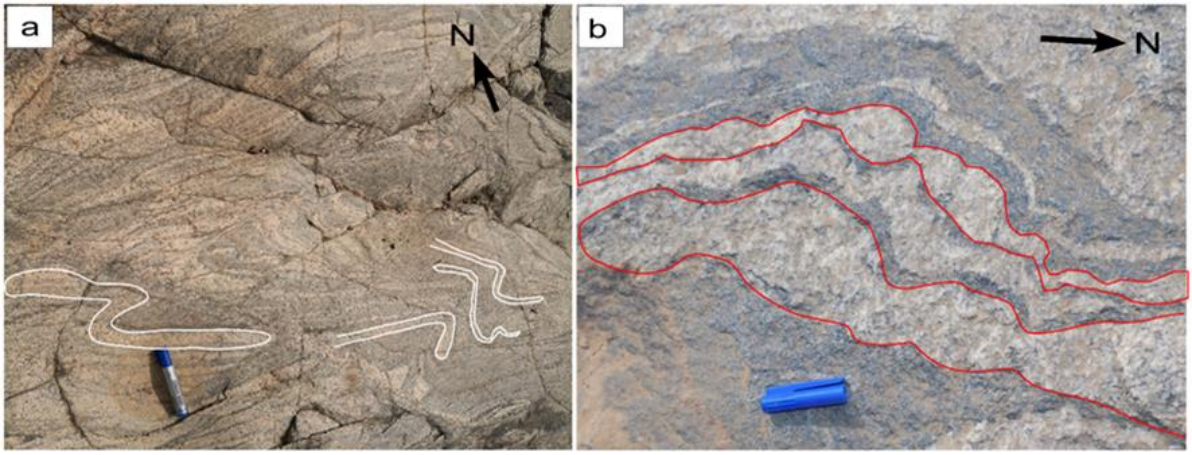


Fig. 8. Photographie montrant (a) des plis quasi-symétriques développés à partir de la foliation (S) sur une granodiorite gneissique et (b) des boudins asymétriques observés sur un granite migmatitique.

- Structures tectoniques intracristallines

Les observations des lames minces réalisée à partir des granodiorites (Fig. 9b, c, d) et du granite à biotite syncinématique (Fig. 9a) au microscopique polarisant indiquent des structures de la déformation ductile à semi-ductiles. La foliation (S) se reflète dans les microphotographies par une alternance de cristaux gris-blancs (quartz, plagioclase et orthose) et marron-verdâtres (biotite, chlorite, épidote, amphibole, Fig. 9a, b, c et d). Les cristaux de quartz présentent une extinction onduleuse ou des contours localement dentelés ou en forme ouillée dessinant un couloir du cisaillement ductile à jeu senestre (Fig. 9b). Le plagioclase et la biotite se caractérisent par des cristaux subautomorphes à xénomorphes, parfois tordus ou plissés (Fig. 9c). Ils sont tachetés avec l'amphibole par de minéraux secondaires (séricite, épidote et chlorite) typiques du faciès schiste vert (Fig. 9b, c et d). Les minéraux chloriteux associés à la biotite dessinent localement avec cette dernière des microplis (Fig. 9c).

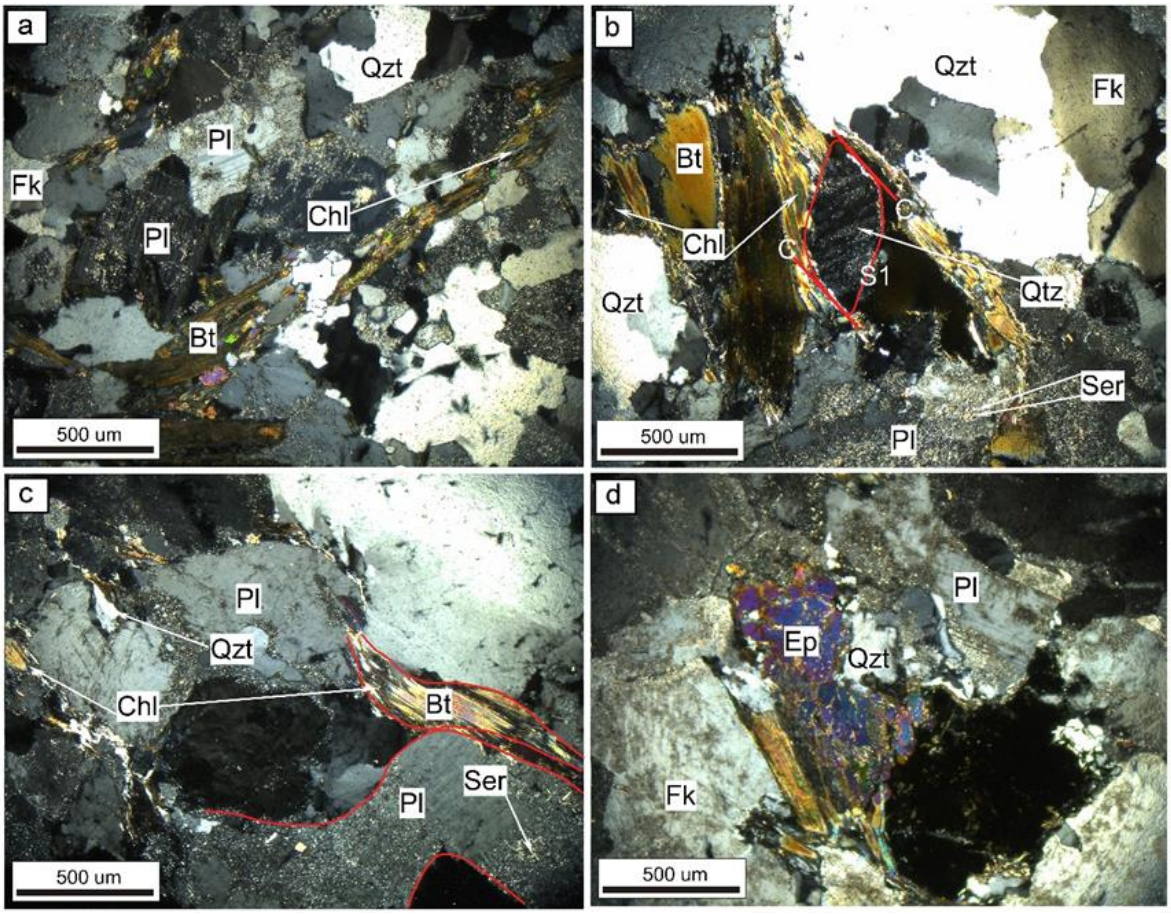


Fig. 9. Microphotographies montrant les minéraux constitutifs (a et b) du granite à biotite et (c et d) de la granodiorite des secteurs d'étude.

4.2 CARACTÉRISTIQUES DE LA PHASE DE DÉFORMATION CASSANTE D2

La phase de déformation D2 se manifeste sous forme de fractures et des filons quartziques, quartzo-feldspathiques, pegmatitiques et des dykes d'aplites et de dolérites, présentant des dimensions et des directions variables.

- Fractures

Les fractures apparaissent sous diverses formes et affectent toutes les lithologies sur des dimensions métriques à pluricentimétriques. La première catégorie de fractures forme des décrochements dextres ou senestres. Dans cette catégorie, des fractures de direction N00° à N20° recoupent des fractures d'orientation N100° à N140° (Fig. 10A, B). La deuxième catégorie est composée par des fractures conjuguées non cisaillantes orientées N50° à N90° et N150° à N170°. Les deux catégories se matérialisent par endroit en des fractures de dimensions centimétriques, débitant les affleurements en feuillets (schistosité de fractures).

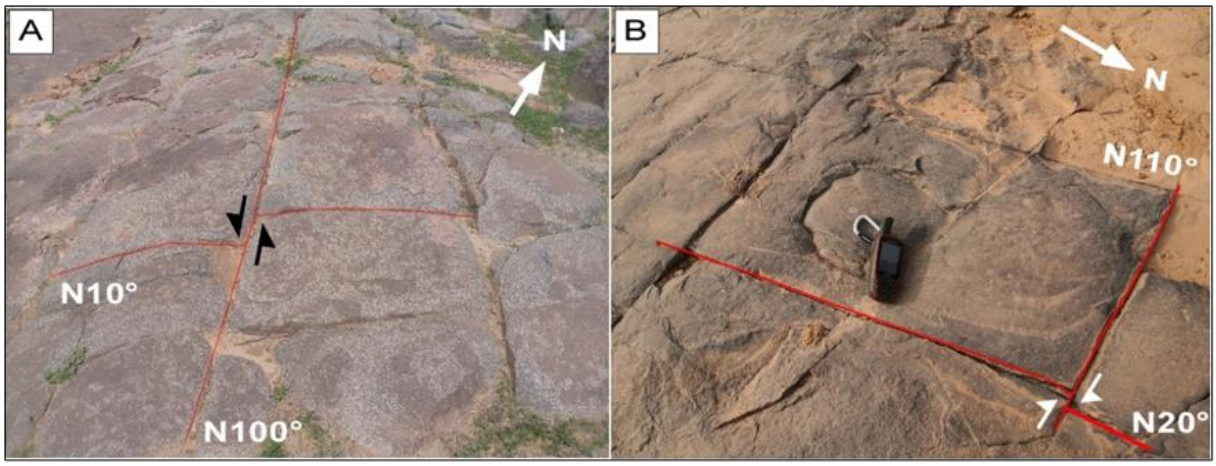


Fig. 10. Photographies montrant les fractures cisaillantes à composante (a) senestre et (b) dextre affectant des granodiorites.

- Filons

Au niveau des affleurements des granodiorites gneissiques et des granites migmatitiques, certaines fractures sont remplies par des veinules de quartz, quartzo-feldspathiques, aplitiques, pegmatitiques ou doléritiques (Fig. 11). Les veines se distinguent à l'affleurement par des teintes blanchâtre (filons quartzitiques et quartzo-feldspathiques), grisâtre (aplites), rosâtre (pegmatites) et marron (dolérites). Ces filons recoupent des structures d'anatexies (leucosomes), traduisant ainsi un caractère tardif par rapport aux structures qu'elles recoupent. De même, des dykes doléritiques de largeur plurimétrique, de longueur métrique à plurikilométrique et d'orientation N100° à N140° recoupent ces granodiorites et granites.

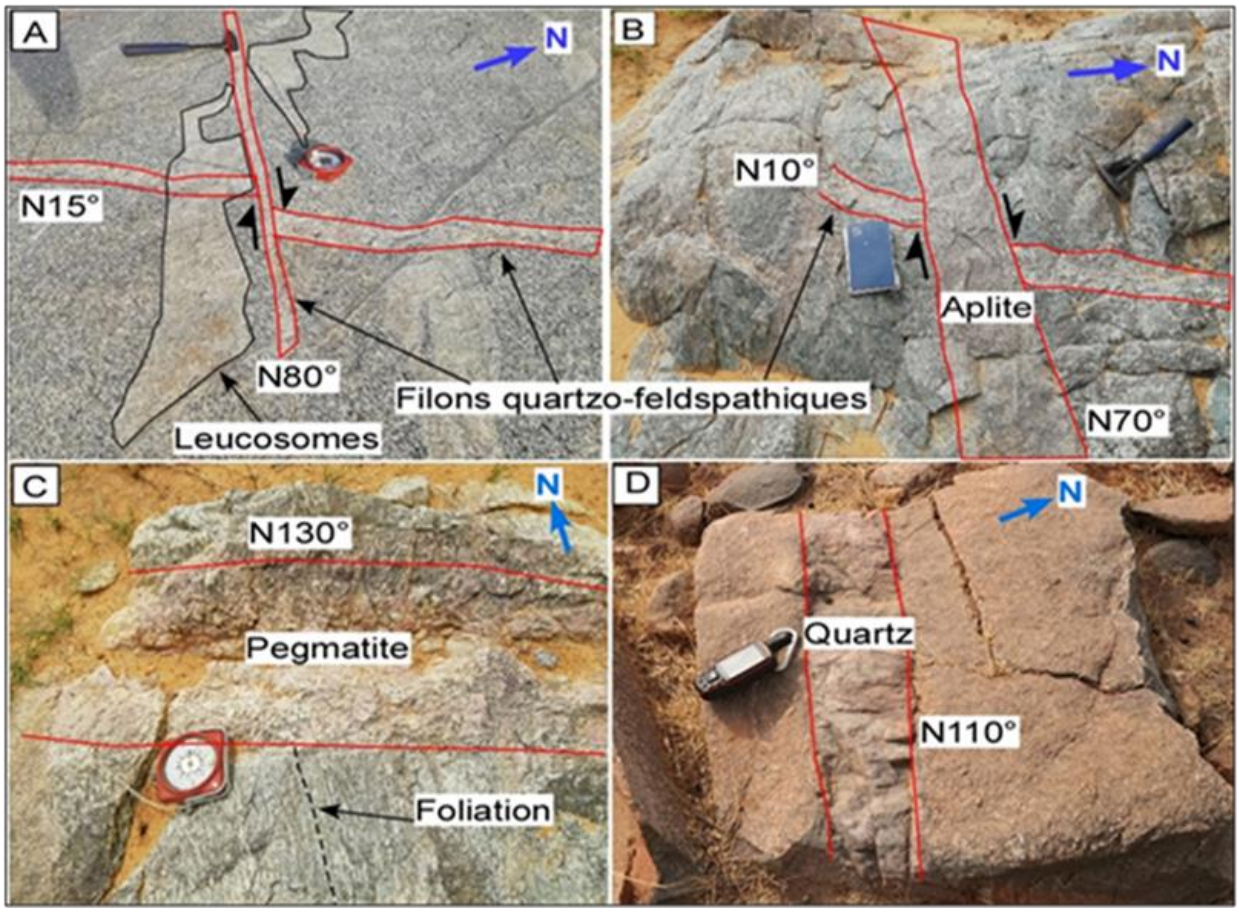


Fig. 11. Photographies montrant (A et B) des filons quartzo-feldspathiques et aplitiques injectés dans des fractures cissaillantes à jeu dextre ou senestre et (C et D) des filons quartzitiques et pegmatitiques colmatant des fractures simples.

4.3 DISCUSSION

Les structures tectoniques (foliation, linéation minérale, couloir de cisaillement, fractures, filons) décrits dans le cadre de cette étude se rapprochent des résultats obtenus par [32], [33] dans les granodiorites de la Côte d'Ivoire et par [12], [4], [14], [14] dans les granodiorites et les granites du Liptako. L'hypothèse évoquée par [12], [14], [15] pour expliquer le changement des trajectoires de la foliation entre le centre des plutons (où elle est circulaire) et les périphéries (où elle est orientée globalement NE-SW), est la structuration en dôme du pluton de Téra-Ayorou. Cette caractéristique justifie aussi les variations des plans des couloirs de cisaillement (NNW-SSE au centre et NE-SW aux bordures) et du pendage de la linéation minérale (faible au centre et élevé aux bordures). Ces hypothèses expliquent ainsi le changement constaté dans les trajectoires de la foliation (S) dans les deux localités (E-W et NNW-SSE à Ayorou et NW-SE à Kandadji) et relativement la variation des directions de raccourcissement de la contrainte compressive de N-S (Ayorou) à NNE-SSW (Kandadji).

La phase de déformation D1 a été associée dans le Liptako à la tectonique verticale ou transcurrente couplée à l'expansion et au gonflement des plutons ([9]; [12], [3], [4], [14], [6], [7], [15]) ou à la tectonique tangentielle ([34]). Pour [14], elle serait guidée par la genèse et l'accrétion de la croûte continentale juvénile birimienne.

Le mécanisme de formation et d'acquisition des structures ductiles à semi-ductiles liées à la phase de déformation D1 a été discuté par plusieurs auteurs dans le Liptako et le Craton Ouest Africain.

La foliation a été acquise au cours de l'intrusion et de l'écartement des plutons simultanément à un resserrage de la contrainte compressive régionale, à un stade avancé de la cristallisation du magma ([9], [12], [3], [4], [14], [6], [7], [15]). Pour d'autres auteurs Ouest Africain ([35]), la foliation résulterait d'une tectonique transcurrente ou d'une conséquence lointaine engendrée par une zone de suture dans le domaine Paléoprotérozoïque de la dorsale de Man.

D'après les travaux de [9], [12], [4], [14], [6], [15], [7], la linéation minérale s'est formée lors d'un écoulement magmatique, suivit d'une déformation à l'état solide à haute température et que les faibles valeurs du plongement sont le reflet de gonflement des plutons.

Quant aux couloirs de cisaillement, ils ont été acquis à un stade tardif de la mise en place des plutons, au moment où ils étaient dans un état solide mais toujours ductile et qu'ils seraient guidés par des joints croisés dus à l'expansion du pluton de Téra-Ayorou ([12], [15]). Ces derniers auteurs ([15]) ont démontré que les deux couloirs de cisaillement sont contemporains, conjugués et ont été mis en place au cours d'une même compression.

Le mécanisme de formation des plis de type S et Z, a été rapporté en Côte d'Ivoire par [31], [32] sur des granodiorites. Ils seraient occasionnés d'après ces auteurs, par une flexion postérieure au fonctionnement des couloirs de cisaillement ductile.

Les boudins ont été mis en place par ségrégation, suivi d'une segmentation et d'un étirement des lits quartzo-feldspathiques suivant l'axe XZ de la déformation ([36], [6], [15]).

La phase cassante D2 mise en évidence dans le cadre de cette étude est comparable à la phase D2 mentionnée par [14] et [7] dans les ceintures vertes du Liptako. Elle correspond aussi à la phase D4 décrit par [4] et à l'épisode D1c décrit par [6] dans les ceintures vertes.

Cette phase a été attribuée par ces auteurs aux activités tectoniques tardi à post-éburnéens ou aux échos de l'orogenèse Panafricaine. Les fractures mises en évidence dans le cadre de cette étude, représentées essentiellement par des fractures N-S (N00-N20°, N150-N160°), WNW-ESE (N90-N110°) et ENE-WSW (N60-N80°), ont été évoquées par [37], [15], [7] dans les granitoïdes et les formations des ceintures vertes du Liptako. Les deux catégories de fractures ont été classées par [36] en décrochements éburnéens Pi1a (N00 et N10°) et Pi1b (N70 et N80°), en fractures tardi-éburnéennes Ps2a (N10 et N20°), Ps2b (N130° et N140°) et Pi2 (N100° et N110°) et en fractures post-birimiennes PS3 (N160° et N170°). Cette classification soutient les résultats de la présente étude du fait que les veinules quartziques, quartzo-feldspathiques, aplitiques, pegmatitique remplissant localement certaines fractures, sont éburnéens à tardi-éburnéens ([2], [14], [4], [15] et les filons de dolérites injectés dans les fractures sont tardi à post-birimiens ([3], [38], [39]).

Les deux phases de déformations D1 et D2 mises en évidence dans les secteurs d'Ayorou et de Kandadji sont similaires aux déformations décrites dans les roches birimiennes du Liptako nigérien et du Craton Ouest Africain dans son ensemble. Dans le Liptako, quatre phases de déformation (D1, D2, D3 et D4) ont été définies par [4], trois phases (D1, D2 et D3) par [7], deux phases (D1 et D2) par [3], [14], [15], [6]. Dans le Craton Ouest Africain, plusieurs phases de déformation ont été rapportées: deux phases (D1 et D2) par [40],; trois phases (D1, D2 et D3) par [41], [41], [42], [43], [35], [31], quatre phases (D1, D2, D3 et D4) par [44], [45], six phases (D1, D2, D3, D4, D5 et D6) par [46] et sept phases (D1, D2, D3, D4, D5, D6 et D7) par [47].

5 CONCLUSION

Les résultats obtenus à l'issus de cette étude montrent que les granitoïdes des secteurs d'Ayorou et de Kandadji ont été affectés par deux phases majeures de déformation D1 et D2.

Les structures tectoniques occasionnées par la phase D1, typiques des évènements orogéniques éburnéens, traduisent un continuum de déformation de l'état ductile (contrôlé par la mise en place de la foliation et de la linéation minérale) à l'état semi-ductile (contrôlé par la mise en place des couloirs de cisaillement, des plis et des boudins) dans un régime compressif interférant l'expansion latérale du pluton de Téra-Ayorou et son gonflement au centre.

L'existence des fractures éburnéennes dans un contexte compressif ne pourrait être expliquée que par des mouvements de réajustement isostatique localisés au sein d'une croute continentale birimienne surépaissie, couplée à une inversion de contrainte. Les fractures tardi-éburnéennes résulteraient d'un relâchement de la contrainte compressive régionale tandis que les fractures post birimiennes pourraient être une conséquence directe des évènements orogéniques Panafricains.

L'aspect symétrique des plans de la foliation (S) ainsi que l'orientation et l'étirement des cristaux impliquent une déformation dans un régime co-axiale tandis que l'asymétrie des plis et des boudins ainsi que la présence d'une composante rotationnelle (structures sigmoïdes au contact des couloirs de cisaillement) témoignent une déformation dans un régime non co-axiale.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les personnes dont les noms suivent: Mallam Mamane Hallarou, Hassane Ibrahim Maharou, Sofiyane Abdourahamane Attourabi et Hamidou Garba Saley, pour leur contribution lors de la collecte des données de terrain et/ou lors de la rédaction du manuscrit.

REFERENCES

[1] E. Machens, «Notice explicative sur la carte géologique du Niger Occidental. Carte Géol. 1/200 000ème,» Dir. Mines Géol., Niger, 45p, 1967.
[2] E. Machens, «Contribution à l'étude des formations du socle cristallin et de la couverture sédimentaire de l'Ouest de la République du Niger,» In Mém. BRGM N° 82, 1973.
[3] I. Ama Salah, «Pétrographie et relations structurales des formations metavolcaniques et sédimentaires du Birimien du Niger occidental: Problème de l'accrétion crustale au paléoprotérozoique inférieur,» Thèse de Doctorat de l'Université d'Orléan, 270p, 1991.
[4] A. Soumaila, «Etude Structurale, pétrographique et géochimique de la ceinture Birimiènne de Diagorou Darbani, Liptako, Niger Occidental (Afrique de l'Ouest),» Thèse de Doctorat de l'Université de France-Comté, 260p, 2000.
[5] S. A. Attourabi, Y. Ahmed, M. M. Hallarou, «Origin and Emplacement Conditions of the Dibilo Lithiniferous Mineralization (Liptako, Western Niger),» International Journal of Science and Research (IJSR), 10 (10), 55–71, 2021.
[6] M. M. Hallarou, «Contexte de mise en place des minéralisations en cuivre et en molybdène des formations birimiennes de la région de Kourki (Liptako, Ouest Niger) : Génèse et évolution magmatique,» Thèse de Doctorat, Université Abdou Moumouni de Niamey, 255p, 2021.
[7] H. Garba Saley, «Contexte de mise en place des minéralisations en chrome et en cuivre des formations birimièennes de la région de Makalondi (Liptako, Ouest Niger): implication géodynamique,» Thèse de Doctorat de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, 260p, 2022.
[8] A. Abdou, H. Bonnot, D. Bory Kadey, D. Chalamet, S. M. M. et Y. I, «Notice explicative des cartes géologiques du liptako à 1/100 000 et 1/200 000,» Ministère Des Mines et de La Géologie, Rép. Niger, 1998.
[9] D. Dupuis, J. Pons, P. A, «Mise en place de plutons et caractérisation de la déformation au Niger occidental,» C.R. Acad. Sci. Paris, t. 323, Série II A, serie II a, 769–776, 1991.
[10] C. Lama, «Apport de la méthode K-ar à la compréhension de l'histoire géologique des granitoïdes birimiens du Liptako (Niger Occidental) et des leucogranites à deux micas de Tagragra d'AKKA (Anti-Atlas Occidental, Maroc),» Thèse INPN l'Université de Loraine, 142p, 1993.
[11] A. Cheilletz, M. Cuney,... B. C.-C. R. de, & 1992, U, «40 Ar/39 Ar ages of the Beauvoir topaze-lepidolite leucogranite and the Chedeville sodolithic pegmatite (North French Massif Central). Petrologic and geodynamic signfication,». Inis.Iaea.Org, 1994.
[12] J. Pons, P. Barbey, D. Dupuis, J. M. Léger, «Mechanisms of pluton emplacement and structural evolution of a 2.1 Ga juvenile continental crust: the Birimian of southwestern Niger,» Precambrian Research, 70 (3–4), 281–301, 1995.

[13] I. Ama Salah, J. P. Liegeois, A. Pouclet, «Evolution d'un arc insulaire océanique birimien précoce au Liptako nigérien (Sirba): Géologie, géochronologie et géochimie,» Journal of African Earth Sciences, 22 (3), 235–254, 1996.

[14] A. Soumaila, & M. Konaté, «Caractérisation de la déformation dans la ceinture birimienne (paléoprotérozoique) de Diagorou-Darbani (Liptako nigérien, Afrique de l'Ouest), » Africa Geoscience Review, 12, No. 3, 161–178, 2005.

[15] Y. Ahmed, S. A. Attourabi, M. M. Hallarou, L. I. Chamsi, G. R. Noura, C. M. M. Sanda, «Relationship between regional deformation and the emplacement of the Dibilo pegmatites (Liptako, West Niger),» Journal of African Earth Sciences (Vol. 198, p. 104814), 2022.

[16] A. Soumaila, et Z. Garba, «Le métamorphisme des formations de la ceinture de roches vertes birimienne (paléoprotérozoique) de Diagourou-Darbani (Liptako, Niger, Afrique de l'Ouest),» (pp. 107–128), 2006.

[17] A. Soumaila, P. Henry, Z. Garba, M. Rossi, «REE patterns, Nd-Sm and U-Pb ages of the metamorphic rocks of the Diagorou-Darbani greenstone belt (Liptako, SW Niger): Implication for Birimian (Palaeoproterozoic) crustal genesis,» Geological Society Special Publication, 297 (June), 19–32, 2008.

[18] A. Soumaila, Z. Garba, I. A. Moussa, H. Nouhou, D. Sebag, «Highlighting the root of a paleoproterozoic oceanic arc in Liptako, Niger, West Africa,» Journal of Geology and Mining Research., 8 (2), 13–27, 2016a.

[19] A. Soumaila, Y. Ahmed, H. Nouhou, «Géochimie des basites et ultrabbasites de Ladanka (Liptako, Niger),» Journal Des Sciences I.S.S.N 0851 – 4631, 16 (Decembre), 37–54, 2016b.

[20] M. M. Hallarou, M. Konaté, A. S. Olatunji, Y. Ahmed, F. F. Ajayi, R. M. Abdul, «Re-Os Ages for the Kourki Porphyry Cu-Mo Deposits, North West Niger (West Africa),» Geodynamic Implications,« European Journal of Environment and Earth Sciences, 1 (4), 1–13, 2020a.

[21] M. M. Hallarou, M. Konaté, A. S. Olatunji, Y. Ahmed, «The Kourki porphyry Cu-Mo deposit is located in the southern part of the Gorouol greenstone belt in Western Niger,» Geological Society, London, Special Publications, Vol 1 (Issue 4 |), 1–13, 2020b.

[22] M. M. Hallarou, M. Konaté, Y. Ahmed, M. M. S. Chékaraou, S. A. Attourabi, L. I. Chamsi, G. R. Noura, «Paleoproterozoic basalt rocks related to plumes in the Gorouol belt,» International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (IJSEAS), 2022.

[23] H. Garba Saley, M. Konaté, Y. Ahmed, A. Soumaila, «Les minéralisations de manganèse du Nord Téra (Liptako, Ouest Niger): origine et conditions de mise en place,» Rev. Cames, 05, 18–28, 2017.

[24] H. Garba Saley, A. Soumaila, M. Konaté, «Alteration Processes of Paleoproterozoic Manganese Protores of the North Téra: Mineralogy and Geochemistry (West Africa),» Journal of Geological Resource and Engineering, 6 (5), 177–193, 2018.

[25] H. Garba Saley, M. Konaté, A. «Soumaila, Étude texturale des chromitites paléoprotérozoïques de la Région de Makalondi, Province du Liptako nigérien, Ouest Niger: Origine et condition de mise,» Researchgate.Net, 18 (1), 186–202, 2021.

[26] M. Konaté, Y. Ahmed, A. D. Gärtner, A. H. Alzouma, M. Ibrahim Hassane, K. Tourba, M. Hofmann, J. Zieger, U. Linnemann. «U–Pb detrital zircon ages of sediments from the Firgoun and Niamey areas (eastern border of West African Craton, West Niger),» Comptes Rendus - Geoscience, 350 (6), 267–278, 2018.

[27] G. Alzouma, M. Konaté, Y. Ahmed, «Geodynamic context of the Proterozoïc deposits of the Firgoun region (eastern border of the West African Craton, West Niger),» Geological Society, London, 502 (novem, 215–236), 2020.

[28] H. Ibrahim Maharou, «Dynamique sédimentaire des grès de Niamey (Niger occidental) : indices de glaciation et déformations associées,» Thèse de Doctorat de l'Université Abdou Moumouni de Niamey, 188p, 2020.

[29] H. Ousmane, K. D. Hantchi, L. B. Hamidou, I. A. Ali, M. Konaté, «Caractérisation de la déformation des dépôts oligocènes du Continental terminal 3 (Ct3) dans la région de Niamey (Bordure Orientale du Craton Ouest Africain, Bassin des Iullemmeden),» European Scientific Journal ESJ, 16 (15), 418–441, 2020.

[30] R. Trompette, «Le Précambrien supérieur et le Paléozoique inférieur de l ' Adrar de Mauritanie (bordure occidentale du bassin de Taoudeni, Afrique de l ' Ouest), un exemple de edimentation de craton. Etude stratigraphique et sédimentologique,» Trav. Lab. Sci. Terre, Marseille (St Jérome), 1 et 2, 573p. 1973.

[31] R. Allmendinger, «Stereonet10,» version10.0, 2017.

[32] F. J. L. H. Kouadio, H. N. Nesto, A. M. Ephrem, G. Allou, S. D. Chérubin, «Petrographic and Geochemical Characteristics of the Metabasites of the SASCA Domain (Yonaké, Mani- Béréby and Dehié Sectors), South-West Côte d'Ivoire,» European Scientific Journal ESJ, 16 (21), 2020.

[33] Z. H. Siagné, T. Aifa, A. N. Kouamelan, N. N. Houssou, W. Digbeu, «Analyse structurale de aa déformation dans les granitoïdes Éburnéens de la région de Doropo (Nord-Est De La Côte d ' Ivoire),» European Scientific Journal, ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431 Faciès, 17, 157–172, 2021.

[34] A. Tshibubudze, K. A. A. Hein, «Structural setting of gold deposits in the Oudalan-Gorouol volcano-sedimentary belt east of the Markoye Shear Zone, West African Craton,» Journal of African Earth Sciences, 80, 31–47, 2013.

[35] M. Dabo, T. Aïfa, I. Gning, M. Faye, M. F. Ba, P. M. Ngom, «Lithological architecture and petrography of the Mako Birimian greenstone belt, Kédougou-Kéniéba Inlier, eastern Senegal,» Journal of African Earth Sciences, 131, 128–144, 2017.

[36] F. Diatta, «Etude structurale, métamorphique et métallogénique du groupe de Dialé-Dalema: Cas de la faille Sénégalo-Malienne de la partie septentrionale du batholite de Saraya,» Thèse de Doctorat de l'Université Cheikh Anta Diop Dakar, 222P, 2020.

[37] L. Willems, A. Pouclet, F. V. J. P. Lenoir, «Phénomènes karstiques en milieux non carbonatés. Étude de cavités et problématique de leur développement au Niger occidental,». Geomorph. N.F., Suppl. Bd., 103, 193–214, 1996.

[38] P. Affaton, P. Gaviglio, A. Pharisat, «Réactivation du craton ouest-africain au Panafricain : Paléocontraintes déduites de la fracturation des grès néoprotérozoïques de Karey Gorou (Niger, Afrique de l'Ouest),» Comptes Rendus de l'Academie de Sciences - Serie IIa: Sciences de La Terre et Des Planetes, 332 (4), 609–614, 2000.

[39] L. Baratoux, U. Söderlund, R.E. Ernst, E. Roever, M.W. Jessell, S. Kamo, S. Naba, S. Perrouty, V. Metelka, D. Yatte, M. Grenholm, D. P. Diallo, P.M. Ndiaye, E. Dioh, C. Cournède, M. Benoit, D. Baratoux, N. Youbi, S. Rousse, & A. Bendaoud, «New U–PB baddeleyite ages of mafic dyke swarms of the west African and amazonian cratons: Implication for their configuration in supercontinents through time,» Springer Geology, 263–314, 2019.

[40] J. Ganne, M. Gerbault, S. & Block, «Thermo-mechanical modeling of lower crust exhumation-Constraints from the metamorphic record of the Palaeoproterozoic Eburnean orogeny, West African Craton,» Precambrian Research, 243, 88–109, 2014.

[41] L. Baratoux, V. Metelka, S. Naba, M. W. Jessell, M. Grégoire, J. Ganne, «Juvenile Paleoproterozoic crust evolution during the Eburnean orogeny (2.2-2.0Ga), western Burkina Faso,» Precambrian Research, 191 (1–2), 18–45, 2011.

[42] K. A. A. Hein, «Succession of structural events in the Goren greenstone belt (Burkina Faso): Implications for West African tectonics,» Journal of African Earth Sciences, 56 (2–3), 83–94, 2010.

[43] E. Lebrun, J. Miller, N. Thébaud, S. Ulrich, & T. C. McCuaig, «Structural controls on an orogenic gold system: The world-class Siguiri gold district, Siguiri Basin, Guinea, West Africa,» Economic Geology, 112 (1), 73–98, 2017.

[44] H. B. McFarlane, S. Block, J. Ganne, L. Baratoux, L. Ailleres, P. Betts, M. Jessell, «A Detailed Magmatic and Tectono-thermal Study of an Orogenic System in a Transitional Earth: The Eburnean Orogeny,» AGU Fall Meeting, San Francisco, December 12-16, 2016.

[45] O. Wane, J. P. Liégeois, N. Thébaud, J. Miller, V. Metelka, & M. Jessell, «The onset of the Eburnean collision with the Kenema-Man craton evidenced by plutonic and volcanosedimentary rock record of the Masssigui region, southern Mali,» Precambrian Research, 305, 444–478, 2018.

[46] S. Perrouty, «Evolution structurale de la ceinture minéralisée d'Ashanti, SO Ghana,» Thèse de Doctorat de l'Université de Toulouse III-Paul Sabatier, 242p, 2012.

[47] S. Block, L. Baratoux, A. Zeh, O. Laurent, O. Bruguier, M. Jessell, L. Ailleres, R. Sagna, L. A. Parra-avila, & D. Bosch «Paleoproterozoic juvenile crust formation and stabilisation in the south-eastern West African Craton (Ghana); New insights from U-Pb-Hf zircon data and geochemistry,» Precambrian Research, 287, 1–30, 2016.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1437-1444
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Caractéristiques familiales et performances des élèves du premier cycle du secondaire au Togo

[Family characteristics and performance of lower secondary school students in Togo]

Bawa Ibn Habib

Department of Applied Psychology, University of Lome, 05 B.P. 536 Lomé 05, Togo

Copyright © 2023 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: School performance is explained in the literature by a trilogy of factors coming from the school, the family and the student himself. This study focuses on the family and examines whether there is a relationship between family characteristics and the performance of lower secondary school students in Togo. To achieve this objective, a sample of 944 students was mobilized using the convenience sampling technique. Participants completed a sociodemographic questionnaire and a parenting style scale. Inferential analyses of the collected data found that not only were parenting style and performance related to family structure, but also that the two variables were positively correlated. On the other hand, the results do not show a relationship between parenting style on the one hand, academic performance on the other hand and family size.

KEYWORDS: Educational style; family size; family structure; school performance; students.

RESUME: Les performances scolaires sont expliquées à travers la littérature par une trilogie de facteurs venant de l'école, de la famille et de l'élève lui-même. Il est question dans cette étude de s'appesantir sur la famille et vérifiant s'il existe une relation entre les caractéristiques familiales et les performances des élèves du premier cycle du secondaire au Togo. Pour atteindre cet objectif, il a fallu mobiliser un échantillon de 944 élèves à l'aide de la technique d'échantillonnage de convenance. Les participants ont répondu à un questionnaire sociodémographique et à une échelle relative au style d'éducation parentale. Les analyses inférentielles des données recueillies ont permis de constater que non seulement le style d'éducation et les performances sont liés à la structure familiale mais aussi que les deux variables sont positivement corrélées. En revanche, les résultats ne montrent pas de relation entre le style d'éducation d'une part, les performances scolaires d'autre part et la taille de la famille.

MOTS-CLEFS: Style d'éducation; taille de la famille; structure familiale; performances scolaires; élèves.

1 INTRODUCTION

Le système éducatif togolais est caractérisé essentiellement par son inefficacité interne. Au premier cycle du secondaire par exemple, 22% des élèves redoublent leur classe d'après la Direction de la Planification de l'Education et de l'évaluation (2019). En termes de causes possibles d'une telle situation, la même direction accuse la pléthore des effectifs dans les classes et l'insuffisance d'enseignants. Et en guise de solution, elle préconise la construction de nouvelles salles de classe et le recrutement des enseignants en nombre suffisant. On comprend, dès lors, pourquoi l'Etat togolais s'investit énormément dans la construction des salles de classes par le biais de ses différents projets PERI et formation des enseignants dans les différentes écoles normales et le recrutement régulier des enseignants. Malgré tout ça, triste est de constater que, depuis des décennies, la situation ne semble pas s'améliorer. Investir essentiellement dans le facteur institutionnel nous semble insuffisant parce que la problématique de la piètre efficacité interne est fonction de trois types de facteurs en interaction. Il s'agit des facteurs

Corresponding Author: Bawa Ibn Habib

institutionnels, des facteurs personnels et des facteurs familiaux. La présente étude creuse autour des facteurs familiaux (en particulier le style d'éducation, la structure et la taille de la famille) pour comprendre le sort des élèves togolais. Mais bien avant nous et à travers le monde, la littérature renseigne suffisamment que certaines caractéristiques familiales exercent une influence positive sur le rendement scolaire des jeunes (Deblois *et al*., 2008). Benbiga *et al.* (2013) parle même de consensus dans les études sur le lien entre le contexte familial et la réussite scolaire des élèves. En effet, d'après Deblois *et al.* (2008; pp. 248-249), « les facteurs familiaux susceptibles d'avoir une influence sur le développement du capital humain d'un élève peuvent être classés en trois composantes: humaine, économique, et sociale. La composante humaine se rapporte au potentiel familial qui permet de construire un environnement cognitif riche pour appuyer les apprentissages d'un enfant. La composante économique représente les ressources matérielles qui aident au développement scolaire des élèves alors que la composante sociale se définit comme étant la quantité et la qualité d'interactions entre un enfant et les parents concernant le domaine scolaire ». Benbiga *et al.* (2013) rapportent les études de Fuchs et Wosmann (2004) et Yayan et Berberoglu, (2004) qui montrent que le niveau de la scolarité des parents non seulement est le plus significatif de toutes les caractéristiques de l'environnement familial mais aussi représente une source importante de disparités dans les performances des élèves. Le niveau de scolarité des parents, d'après Dornbusch *et al.* (1990) est aussi la caractéristique familiale qui prédit la plus grande partie de la variance dans les résultats scolaires de l'élève. Dans le même sens, Schiller *et al.* (2002) montrent que les parents instruits semblent plus aptes à fournir à leurs enfants un soutien pédagogique et social important pour la réussite scolaire, comparativement aux parents dont le niveau d'éducation est faible. Concernant la dimension économique appréhendée au travers de la catégorie socioprofessionnelle d'appartenance, le capital économique paraît nettement corrélé à la réussite scolaire (Da-Costa Lasne, 2012). Mais si l'on compare le pouvoir explicatif du capital culturel et économique au primaire et au secondaire, des ressources financières sur les carrières scolaires est considérablement plus faible que l'effet des ressources culturelles parentales d'après De Graaf *et al.* (2000 dans Da-Costa Lasne, 2012). Quant à Thompson et Johnston (2006), ils trouvent que les élèves dont le niveau socio-économique est élevé (nombre de livres à la maison, etc.) sont plus avantagés dans les pays de l'OCDE (Benbiga *et al.,* 2013). Certaines études à l'instar de Cooper *et al.* (2000), Epstein et Van Voorhis (2001) et Hoover-Dempsey *et al.* (2001) présentent des corrélations significatives entre les formes de l'implication parentale dans l'aide aux devoirs et la réussite scolaire (Arapi *et al.,* 2018; Laurens, 1992).

Parmi la panoplie de caractéristiques familiales mises en relation avec la réussite scolaire qui existent dans la littérature, cette étude insiste sur le style parental, la structure et la taille de la famille qui sont très peu abordées dans le contexte togolais (Bawa, 2011). En effet, le style parental ou d'éducation « correspond à une constellation d'attitudes qui sont communiquées à l'enfant et qui créent un climat émotif à travers lequel les comportements parentaux sont exprimés. Par conséquent, le style parental se traduit, en partie, par les pratiques parentales qui représentent des comportements à partir desquels les enfants peuvent inférer les émotions des parents » (Deslandes et Royer, 1994; p.65). Le mérite est reconnu à Baumrind (1978) d'avoir été la première chercheure à élaborer un modèle théorique des styles parentaux basés sur le système de valeurs des parents à savoir: encadrement affectif et chaleureux, fermeté et clarté de la discipline, exigences quant au niveau de maturité et bonne qualité de la communication entre les enfants et leurs parents (Joseph, 2015). Lorsque ces aspects ne sont pas équilibrés, le mode d'éducation est dit « autoritaire » ou « laisser-faire ». Dans le cas contraire, il est dit « démocratique ». Le style parental constitue une variable importante dans l'étude de l'influence familiale sur la réussite scolaire (Deslandes et Royer, 1994). Il est montré que les adolescents élevés dans des familles démocratiques performent mieux à l'école que leurs pairs issus de familles autoritaires ou permissives (Dornbusch et Ritter, 1992; Lamborn *et al.,* 1993; Steinberg *et al.,* 1989 dans Deslandes et Royer, 1994). Deslandes *et al.* (1999), dans leur étude portant sur la relation entre le style parental, les caractéristiques familiales (le revenu, la scolarité des parents, l'éducation des parents et la structure familiale), la réussite scolaire, et la participation parentale au suivi scolaire, montent que le style parental était un meilleur prédicteur que la structure familiale ou l'éducation des parents en ce qui concerne le rendement scolaire au secondaire. Existe-il une variation de performances scolaires selon la structure de la famille ? Deslandes *et al.* (2004) sont parvenus à montrer que les enfants de familles non traditionnelles (monoparentales et recomposées), comparés à ceux de familles traditionnelles (biparentales), obtiennent des résultats scolaires plus faibles et éprouvent davantage de problèmes disciplinaires: absences, suspensions, adaptation scolaire (Deslandes et Cloutier, 2005). La structure familiale renvoie, dans cette étude, à la famille biparentale, monoparentale, adoptive ou recomposée. Concernant la taille de la famille, plusieurs études, d'après Benbiga *et al.* (2013) montrent que le nombre croissant d'enfants au sein de la famille conduit à des résultats moins favorables pour les enfants.

OBJECTIF ET QUESTIONS DE RECHERCHE

La prise en compte simultanée des trois caractéristiques familiales à savoir le style d'éducation, la structure et la taille de la famille dans le contexte togolais (ce qui n'a pas encore été fait jusqu'à présent à l'état actuel de nos connaissances) nous amène à nous fixer comme objectif de vérifier s'il existe une relation entre le style d'éducation et les performances scolaires en fonction de la structure et de la taille de la famille. De cet objectif, nous déduisons les questions de recherche suivantes:

- Le style d'éducation est-il fonction de la structure et de la taille de la famille ?
- Les performances scolaires des élèves varient-t-elles en fonction de la structure et de la taille de la famille ?
- Le style d'éducation et les performances scolaires sont-ils liés ?

Pour répondre à chacune des questions, un ensemble de matériels et de méthodes est mis en place dans la section suivante pour collecter et traiter les données recueillies sur le terrain.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 CADRE DE L'ÉTUDE

Cette étude a porté sur les collèges publics et confessionnels de la circonscription pédagogique de l'Ogou (Atakpamé). Atakpamé est une ville située à près que 350 km de Lomé. Elle fait partie de la Région des Plateaux qui compte le plus grand nombre d'établissements scolaires tant au primaire qu'au secondaire, le plus d'inspections au primaire. Le ratio élève par salle de classe y est plus élevé que celui sur le plan national (59 contre 55). Cette région est la mieux loti en termes de conditions de travail (Source: Direction de la Planification de l'Education et de l'évaluation, 2019).

2.2 POPULATION ET ÉCHANTILLON

La population d'étude est représentée par l'ensemble des élèves des classes de 4ème de vingt-deux collèges d'enseignement général que compte la Préfecture de l'Ogou. Au total, nous avons dénombré 2715 élèves. C'est de cet ensemble que nous avons tiré 944 sujets (âge moyen = 14 ans) à l'aide de la technique d'échantillonnage « tout-venant » qui présentent les caractéristiques suivantes: 38,7% de garçons et 61,3% de garçons; 51,6% de résidents en ville et 48,4% de résidents en campagne.

2.3 INSTRUMENTS DE COLLECTE DES DONNÉES

Trois instruments différents de collecte des données ont été utilisés pour mesurer les différentes variables impliquées dans cette étude.

LES CARACTÉRISTIQUES DE L'ÉCHANTILLON

Elles ont été renseignées à l'aide du questionnaire sociodémographique qui a permis de récolter des informations autour du genre des élèves, leur lieu de résidence (ville ou campagne), ainsi que le niveau d'études de leurs parents.

LE STYLE D'ÉDUCATION

Il a été évalué à l'aide de l'échelle du style parental de Deslandes et al. (1995) qui est une traduction du "Parental Style Scale" élaboré par Steinberg et al. (1992). Cette échelle comprend au total vingt items regroupés en trois sous-échelles à savoir l'engagement parental (12 items), l'encadrement parental (6 items) et l'encouragement à l'autonomie (6 items). Les réponses aux dix-huit premiers items s'étalent sur une échelle de Likert en quatre points allant de 1- Tout à fait en désaccord à 4- Tout à fait d'accord. Quant aux deux derniers (19 et 20), les réponses vont de 1- Jamais à 3- Souvent. A la suite de sa passation, tous points à chaque item sont à additionner. A la fin, plus le score total est élevé, plus le style d'éducation est chaleureux.

- Exemples d'items 13 et 15:

13.	Mes parents connaissent mes ami (e) s.	Tout à fait d'accord	Plutôt d'accord	Plutôt en désaccord	Tout à fait en désaccord
15.	Mes parents réservent du temps pour échanger avec moi.				

- Exemple d'item 19:

19.	Tes parents ESSAIENT DE SAVOIR...	Jamais	Parfois	Souvent
A.	Où tu vas chaque soir.			
B.	Ce que tu fais pendant tes temps libres.			
C.	Où tu es l'après-midi, après l'école.			

Une étude de fidélité sur ces trois sous-échelles effectuée par Bawa (2018) révèle des indices de consistance interne tout à fait satisfaisants (λ2 de 0,59 à 0,80). Des analyses factorielles en composantes principales avec rotation « varimax » indiquent que cette échelle adaptée au Togo se compare parfaitement à la version américaine ou québécoise.

LES PERFORMANCES SCOLAIRES

Elles sont mesurées à partir des notes en mathématiques et en français obtenues à partir respectivement des échelles de mathématiques et de français élaborées par Bawa (2018) qui a pris soin de vérifier toutes leurs qualités psychométriques. L'utilisation des notes d'échelles plutôt que des notes de classe est une recommandation de Clémence (2006) qui permet d'éviter une interférence de la personnalité des professeurs dans le processus d'évaluation. Les deux échelles ont été élaborées sur la base des programmes de mathématiques et de français de la classe de 4ème. Chacune des échelles comprend vingt items correspondants à de courts exercices. A chaque item, le sujet doit choisir parmi trois propositions de réponses dont une seule est bonne.

- Exemple d'item b) de la rubrique algèbre de mathématiques:

  "*Factoriser l'expression suivante: B = 3 (m + 2) - m (m +2)*

Réponse: 1) B = (m + 2) (m +3); 2) B = (- m + 2) (m +3); 3) B = (m + 2) (3 –m) "

- Exemple d'item a) de la rubrique conjugaison de français:

  "Transforme la phrase suivante à la voix active:

  « *Les esclaves ont été envoyés en Amérique par les négriers »*

Réponse: 1) Les négriers envoient les esclaves en Amérique; 2) Les négriers ont été envoyés par les esclaves en Amérique 3) Les négriers ont envoyé les esclaves en Amérique".

Lorsqu'un sujet répond correctement à tous les items d'une des échelles, il obtient la note de 20. A la fin, les performances du sujet sont déterminées à partir du score moyen des notes obtenues aux deux échelles. Plus ce score moyen est élevé, plus le sujet a des bonnes performances donc est en situation de réussite. Dans le cas contraire, il est en situation d'échec scolaire.

2.4 MÉTHODES D'ANALYSE DES DONNÉES

Les analyses de variances (ANOVA) ont été faites pour vérifier s'il existe une différence significative entre des moyennes de variables continues: les tests t de Student et F de Snédécor sont désignés pour juger du degré d'association entre respectivement deux et plus de deux moyennes de variables continues. L'analyse de corrélations bi-variées a été réalisée de manière à vérifier le degré d'association entre deux variables continues sans qu'une variable ne soit présumée avoir un effet sur l'autre. Là, le coefficient de corrélation r de Pearson a été utilisé.

3 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

3.1 STYLE D'ÉDUCATION EN FONCTION DE LA TAILLE DE LA FAMILLE

Tableau 1. ANOVA: Style d'éducation et la taille de la famille (N = 944)

Taille de la famille	Moyenne	Ecart-type
Famille réduite	64,64	6,50
Famille nombreuse	65,01	6,01

Il ressort du tableau 1 que les différences entre les moyennes observées (64,64 pour les familles réduites et 65,01 pour les familles nombreuses) ne sont pas significatives (t (942) = - 0,81; p =.42). On déduit que la taille de la famille n'influence pas le style d'éducation.

3.2 STYLE D'ÉDUCATION EN FONCTION DE LA STRUCTURE DE LA FAMILLE

Tableau 2. ANOVA: Style d'éducation et structure familiale (N = 944)

Structure familiale	N	Moyenne	Ecart-type
Père seul	92	63,50	6,78
Mère seule	225	65,60	5,79
Les deux	394	65,23	5,66
Tuteur	233	64,26	6,88
Total	944	64,90	6,15

Les résultats contenus dans le tableau 2 montrent que les élèves vivant avec la mère seule ont un score moyen au style éducation supérieur aux autres. Il est, en famille monoparentale, de 65,60 pour ceux qui vivent avec leur mère seule et 63,50 pour ceux qui vivent avec leur père seul. Dans les familles biparentales, les élèves ont un score de 65,23 contre 64,26 pour ceux qui sont adoptés. Le test de F appliqué à ces différents groupes montre une différence significative F (3; 940) = 3,80; p <.01). Avec η^2 = 0,012, la structure familiale explique 1,2% des variations du score du style éducation. On peut conclure que le style d'éducation varie selon que les élèves proviennent d'une famille monoparentale (père seul ou mère seule), biparentale ou adoptive.

3.3 VARIATION DES PERFORMANCES SCOLAIRES SELON LA TAILLE DE LA FAMILLE

Tableau 3. ANOVA: taille de la famille et performances scolaires (N = 944)

Taille de la famille	Moyenne	Ecart-type
Famille réduite	11,84	2,28
Famille nombreuse	11,79	2,63

Il ressort du tableau 3 que les différences entre les moyennes observées à savoir 11,84 pour les familles réduites et 11,79 pour les familles nombreuses ne sont pas significatives (t (942) = 0,27; p =.79). La taille de la famille n'influence pas les performances scolaires des élèves.

3.4 VARIATION DES PERFORMANCES SCOLAIRES SELON LA STRUCTURE FAMILIALE

Tableau 4. ANOVA: structure familiale et performances scolaires (N = 944)

Structure familiale	N	Moyenne	Ecart-type
Père seul	92	11,74	2,44
Mère seule	225	11,54	2,48
Les deux	394	12,07	2,57
Tuteur	233	11,64	2,57
Total	944	11,80	2,54

A un seuil p =.05, on peut dire que la valeur de F (3; 940) = 2,58 montre qu'il y a une différence entre les différents groupes qui définissent la structure familiale. Quant aux scores moyens des performances scolaires, ils vont de 12,07 pour les élèves issus des familles biparentales, 11,74 pour les élèves issus de familles monoparentales à père seul, 11,54 pour les élèves issus de familles monoparentales à mère seule et 11,64 pour les élèves qui proviennent des familles adoptives.

3.5 LE STYLE D'ÉDUCATION ET LES PERFORMANCES SCOLAIRES SONT-ILS LIÉS ?

Tableau 5. Corrélations entre style d'éducation et les performances scolaires

Variables	1	2
1-Style parental	1	0,073*
2-Performances scolaires	0,073*	1

**. La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).*

L'analyse de corrélations de Pearson (tableau 5) démontre que de meilleures performances scolaires des adolescents sont positivement associées au style parental (r = 0,07, p = 0,02).

4 DISCUSSION

L'objectif de cette recherche est de vérifier s'il existe une relation entre le style d'éducation et les performances scolaires en fonction de la structure et de la taille de la famille. De cet objectif, un certain nombre de questions ont été posées.

A la première question de savoir si le style d'éducation est fonction de la structure et de la taille de la famille, les résultats montrent qu'il n'y a pas de relation entre le style d'éducation et la taille de la famille. Ainsi, être chaleureux ou autoritaire pour un parent ne tient pas compte du nombre d'enfants à charge. Par contre, nous avons trouvé une relation significative entre le style d'éducation et la structure familiale, confirmant ainsi ce que Deslandes et al. (2004) ont obtenu. Il va sans dire que les familles biparentales offrent aux adolescents dont elles ont la charge le style éducatif chaleureux beaucoup plus que les familles monoparentale ou adoptive. Dans les familles monoparentales, deux situations se présentent: dans un premier cas, il va de soi car dans les familles monoparentales, l'absence du second partenaire dans le foyer fait que le seul parent veut jouer tous les rôles auprès de l'enfant. Ainsi, pour le parent seul, il faut se montrer capable d'éduquer son enfant. C'est ainsi que tout acte déplacé de l'enfant est sévèrement puni. L'enfant est soumis à des règles éducatives coercitives et contraignantes et considéré comme « comme un petit animal que l'on doit dresser » (Joseph, 2015). Dans un second cas, on observe dans les familles monoparentales un laisser-aller total. L'enfant est laissé à lui-même. Le parent démissionne de ses responsabilités éducatives à la maison pour se consacrer à son travail. Les styles laisser-aller et permissif sont l'apanage de ces types de foyer. Au même moment, dans les familles adoptives, l'enfant est sous le joug des parents qui ne sont pas les siens. Lorsque le couple a des enfants, ces derniers sont préférés au détriment de l'enfant adopté qui est soumis à des règles dures. Lorsque le couple n'a pas d'enfants, souvent au lieu de chérir l'enfant adopté, il est plutôt soumis à une maltraitance à la limite de l'esclavage. L'enfant devient celui qui fait tout: ménage, cuisine, lessive, courses en ville... Lorsqu'il y a un manquement dans son comportement de l'enfant, il est privé de nourriture, frappé, voire renvoyé de la maison. Une telle éducation autoritaire est récurrente au sein des familles adoptives ou recomposées (Bawa, 2011).

La réponse à la deuxième question est aussi mitigée. En effet, il n'y a pas de lien significatif entre les performances scolaires et la taille de la famille. On s'attendait à un résultat contraire à l'instar de Benbiga *et al.* (2013) et Downey (1995). En effet, le nombre croissant d'enfants au sein de la famille conduit à des résultats moins favorables pour les enfants parce que cela entrainerait la dilution des ressources et du temps accordés à chaque enfant (Teachman *et al.,* 1996). Ces enfants présentent des taux plus élevés de comportement à problèmes et des niveaux inférieurs de réussite scolaire. Nous avons trouvé un lien significatif entre les performances scolaires et la structure familiale en faveur des familles biparentales. Hetherington, Camara et Featherman (1983) observent plus d'échecs et de retards de cheminement dans les familles monoparentales. Ces familles se caractérisent le plus souvent par les divorces, séparations, décès qui sont des situations particulières sources de souffrance, d'angoisse, d'anxiété, de manque d'attention, bref, d'innombrables incertitudes qui agissent sur les élèves entraînant une incapacité de se concentrer pour le travail scolaire (Bawa, 2011).

Enfin, nous avons trouvé une relation significative entre le style d'éducation et les performances scolaires. Ce résultat est similaire à celui de Steinberg *et al.* (1989), Dornbusch et Ritter (1992), Lamborn *et al.* (1993) et Deslandes et Royer (1994). Gbati (1988) a obtenu un résultat contraire. Toutes ces études montrent qu'un environnement positif à la maison, des attitudes positives face à l'éducation et face à l'école et des attentes élevées de réussite scolaire ont un effet notable, et ce, dans les différents milieux socioéconomiques (Terrill & Ducharme, 1994). L'expression d'éloges, l'aide, l'approbation, l'encouragement, la coopération, l'expression de tendresse, l'affection physique (Manscill & Rollins, 1990) ont un effet déterminant sur les performances scolaires.

5 CONCLUSION

Cette étude montre que le style d'éducation d'une part et les performances scolaires ne varient pas selon la taille de la famille. Par contre, non seulement le style d'éducation et les performances scolaires sont liés mais aussi ces deux variables sont bien associées à la structure de la famille. Pour parvenir à ces résultats, il a fallu mobiliser 944 élèves des classes de 4ème, les soumettre à un questionnaire sociodémographique, des échelles de style parental et de performances en français et en mathématiques.

L'ensemble de nos résultats apporte un tant soit peu un éclairage sur la place des variables style d'éducation, la taille de la famille et la structure familiale dans la compréhension des performances scolaires au Togo. Malgré leur pertinence, ces résultats n'occultent pas les limites qui font appel à plus de prudence dans leur généralisation, particulièrement la possibilité de désirabilité sociale dans les réponses à l'échelle de style parental. En guise de perspectives, les études futures pourraient prendre soin de construire un instrument sur le style parental à partir des indicateurs culturellement encrés plutôt de s'inspirer du modèle occidental.

REFERENCES

[1] Arapi, E., Pagé, P., & Hamel, C., Quels sont les liens entre l'implication parentale, les conditions socioéconomiques de la famille et la réussite scolaire?: Une synthèse des connaissances. *Revue des sciences de l'éducation de McGill, 53* (1), pp. 88-108, 2018.

[2] Baumrind, D., Parental disciplinary patterns and social competence in children. *Youth & Society, 9* (3), pp. 239-276, 1978.

[3] Bawa, I. H., Styles éducatifs parentaux, estime de soi et performances scolaires: étude auprès d'adolescents togolais de la préfecture de l'Ogou (Région des plateaux). Thèse de doctorat, Université de Lomé, 2011.

[4] Bawa, I. H., Etudes des performances scolaires chez les élèves des classes de 4ème au Togo. In W. Oladokoun (Ed), *Espaces, sociétés et développement en Afrique subsaharienne* (pp. 639-670). Lomé: Presses Universitaires de Lomé, 2018.

[5] Benbiga, A., Hanchane, S., & Idir, N., L'évaluation des acquis scolaires au Maroc: nouvelles approches. *Critique économique, 30,* pp. 29-66, 2013.

[6] Clémence, A., *Le style d'éducation, facteur déterminant du développement de l'enfant,* communiqué de presse du Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique, Berne, 2006.

[7] Cooper, H., Lindsay, J. J., & Nye, B., Homework in the home: How student, family, and parenting-style differences relate to the homework process. *Contemporary Educational Psychology, 25* (4), pp. 464-487, 2000.

[8] Da-Costa Lasne, A., La singulière réussite scolaire des enfants d'enseignants: des pratiques éducatives parentales spécifiques ? Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, 2012.

[9] De Graaf N.D., De Graaf P.M., & Kraaykamp G., Parental Cultural Capital and Educational Attainment in the Netherlands: A Refinement of the Cultural Capital Perspective. *Sociology of Education,* 73 (2), pp. 92-111, 2000.

[10] DeBlois, L., Deslandes, R., Rousseau, M., & Nadeau, J., L'accompagnement parental dans l'apprentissage en lecture des élèves canadiens. *McGill journal of education, 43* (3), pp. 245-265, 2008.

[11] Deslandes, R., & Royer, É., Style parental, participation parentale dans le suivi scolaire et réussite scolaire. *Service social, 43* (2), pp. 63–80, 1994.

[12] Deslandes, R., Bertrand, R., Royer, E., & Turcotte, D., Validation d'instruments de mesure de style parental et de la participation parentale dans le suivi scolaire. *Mesure et évaluation en éducation, 18 (2),* pp. 63-79, 1995.

[13] Deslandes, R., & Cloutier, R., Pratiques parentales et réussite scolaire en fonction de la structure familiale et du genre des adolescents. *Revue française de pédagogie, 151,* pp. 61-74, 2005.

[14] Deslandes, R., Potvin, P. & Leclerc, D., Family characteristics as predictors of school achievement: Parental involvement as a mediator. *McGill Journal of Education, 34* (2), pp. 135-153, 1999.

[15] Direction de la Planification de l'Education et de l'évaluation, *Annuaire national des statistiques scolaires 2018-2019: 54ème année*. Lomé: MEPSA, 2019.

[16] Dornbusch, S.M., & Ritter, P.L., Home-school processes in diverse ethnic groups, social classes, and family structures. In S.L. Christenson et J.C. Conoley (Eds.), Home-School Collaboration: Enhancing Children's Academic and Social Competence (pp. 111-124). Maryland: The National Association of School Psychologists, 1992.

[17] Dornbusch, S.M., Ritter, P.L., Mont-Reynaud, R., & Chen, Z.Y., Family decision making and academic performance in a diverse high school population. *Journal of Adolescent Research, 5* (2), pp. 143-160, 1990.

[18] Downey, D.B., Bigger is not Better: Family Size, Parental Resources, and Children's Educational Performances. *American Sociological Review, 60,* pp.746-761, 1995.

[19] Epstein, J. L., & Van Voorhis, F. L., More than minutes: Teachers' roles in designing homework. *Educational Psychologist, 36* (3), pp. 181-193, 2001.

[20] Fuchs T., & Wobmann L., What Accounts for International Differences in Student Performance? A Re-examination Using PISA Data. *CESIFO Working Paper Series,* n° 1235, 2004.
[21] Gbati, K. Y., *Statut scolaire, estime de soi, représentation de l'avenir*. Thèse de doctorat, UFR de psychologie, Université de Lille III, 1988.
[22] Hoover-Dempsey, K. V., Battiato, A. C., Walker, J. M. T., Reed, R. P., DeJong, J. M., & Jones, K. P., Parental involvement in homework. *Educational Psychologist, 36,* pp. 195-209, 2001.
[23] Joseph, N. E., Style éducatif parental autoritaire ou laisser-faire: cas des enfants dans la rue de familles pauvres de la Timkatec. *Haïti Perspectives, 4* (1), pp.31-34, 2015.
[24] Lamborn, S.D., Brown, B.B., Mounts, N.S., & Steinberg, L., Putting school in perspective: The influence of family, peers, extra-curricular participation and part-time work on academic engagement. In F.M. Newman (Ed.), Student Engagement and Achievement in American Secondary Schools (pp.153-181). New York: Teachers College Press Columbia University, 1993.
[25] Laurens, J.-P., *Un sur cinq cents. La réussite scolaire en milieu populaire*. Toulouse: Presses Universitaire du Mirail, 1992.
[26] Manscill, C. K., & Rollins, B. C., Adolescent self-esteem as an intervening variable in the parental behavior and academic achievement relationship. In B.K. Barber et B.C. Rollins (Eds.), *Parent-adolescent relationships.* New York: University Press of America, 1990.
[27] Schiller K.S., Khmelkov V.T., & Wang X.Q., Economic Development and the Effect of Family Characteristics on Mathematics Achievement. *Journal of Marriage and Family,* 64, pp. 730-742, 1978.
[28] Steinberg, L., Eimen, J.D., & Mounts, N.S., Authoritative parenting, psychosocial maturity, and academic success among adolescents. *Child Development, 60,* pp. 1424-1436, 1989.
[29] Steinberg, L., Lamborn, S. D., Dornbusch, S. M., & Darling, N., Impact of parenting practices on adolescent achievement: Authoritative parenting, school involvement, and encouragement to succeed. *Child Development, 63,* pp. 1266-1281, 1992.
[30] Teachman J.-D., Paasch K. & Carver K., Social Capital and Dropping out of School Early. *Journal of Marriage and the Family, 58,* pp. 773-783, 1996.
[31] Terrill, R., & Ducharme, R., Passage secondaire-collégial: caractéristiques étudiantes et rendement scolaire. Montréal: Sram, 2e edition, 1994.
[32] Yayan B., & Berberolu G., A Re-Analysis of the TIMSS 1999 Mathematics Assessment Data of the Turkish Students. *Studies in Educational Evaluation, 30,* pp. 87-104, 2004.
[33] Hetherington, E.M., Camara, K.A. & Featherman, D.L., Achievement and intellectual functioning of children in one parent households. In J.H. Stevens, Jr. and M. Matthews (Eds.), *Achievements and achievement motives* (pp. 209–284). San Francisco: W.H. Freeman, 1983.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1445-1457
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Caractéristiques physiques et organoleptiques des œufs et de la chair de la caille japonaise nourrie avec trois (3) régimes alimentaires différents à base de produits locaux en Côte d'Ivoire

[Physical and organoleptic characteristics of eggs and meat of Japanese quails fed on three (3) different diets based on local products in Côte d'Ivoire]

N'Gbo Martin Luthère King[1], Disseka William Kwithony[2], Tchumou Messou[1], and Kouamé Lucien Patrice[2]

[1]Unité de Formation et de Recherche en Agriculture, Ressources Halieutiques et Agro-Industries, Université de San Pédro, 01BP 1800 San Pedro 01, Côte d'Ivoire

[2]Unité de Formation et de Recherche en Sciences et Technologies Alimentaires, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 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 effects of the consumption of newly formulated feeds (A1, A2 and A3) and of a control feed (AT) on the physical and organoleptic characteristics of the eggs and flesh of the Japanese quail (Coturnix japonica), bred in captivity, have been evaluated. The experiment was carried out on 80 one-day-old quail. At the end of the experiment, which lasted 9 weeks, the physical and organoleptic characteristics of the eggs, as well as those of the flesh of these quails, were studied. It appears that the eggs of the quails fed with food A3 had the highest masses and shell thicknesses. The sensory analysis carried out in this work showed that all the flesh of the quails fed with the newly formulated feeds was accredited with the same appreciation as those fed with the commercial feed, both in terms of tenderness, aroma, and flavor.
With regard to quail eggs, it has been observed that, with the exception of the color parameter where the color of the egg yolk of the quails fed with the newly formulated feed is darker than that of the quails fed with the feed of trade, the statistical analysis did not reveal any statistically significant difference at the 5% level for the other parameters. In short, all the quails were equally appreciated by the panelists, this makes newly formulated feeds good feeds for quail.

KEYWORDS: foods, eggs, meat, Japanese quail, breeding, organoleptic analysis.

RESUME: Les effets de la consommation des aliments nouvellement formulés (A1, A2 et A3) et d'un aliment témoin (AT) sur les caractéristiques physiques et organoleptiques des œufs et des chairs de la caille japonaise (*Coturnix japonica*), élevée en captivité, ont été évalués. L'expérimentation a été faite sur 80 cailleteaux âgés d'un jour. Au terme de l'expérimentation, qui a duré 9 semaines, les caractéristiques physiques et organoleptiques des œufs, ainsi que celles des chairs de ces cailles, ont été étudiés. Il en ressort que les œufs des cailles nourries avec l'aliment A3 ont les masses et les épaisseurs de coquilles les plus élevées. L'analyse sensorielle réalisée dans ce travail montre que toutes les chairs des cailles nourries avec les aliments nouvellement formulés sont accréditées de la même appréciation que celles nourries avec l'aliment de commerce tant au niveau de la tendreté, de l'arôme que de la saveur.
Concernant les œufs des cailles, l'on a pu constater qu'à l'exception du paramètre couleur où la couleur du jaune d'œuf des cailles nourries avec les aliments nouvellement formulés est plus foncée que celle des cailles nourries avec l'aliment de commerce, l'analyse statistique n'a révélé aucune différence statistique significative au seuil de 5% concernant les autres paramètres. En somme, toutes les cailles ont été appréciées au même titre par les panélistes, Ce qui fait des aliments nouvellement formulés, de bons aliments pour les cailles.

MOTS-CLEFS: aliments, œufs, chair, caille japonaise, élevage, analyse organoleptique.

Corresponding Author: N'Gbo Martin Luthère King

1 INTRODUCTION

Dans les pays en développement, les volailles jouent un rôle important dans la vie socio-économique des populations. Elles représentent l'une des principales sources d'approvisionnement des populations en protéines animales et de revenus financiers **[1].** En Côte d'Ivoire, malgré de vastes projets réalisés par les structures tant privées qu'étatiques pour le développement de l'élevage, ce secteur reste une activité secondaire **[2].** Ainsi, parmi les nombreuses questions techniques qui se posent pour accompagner le développement de la filière, celle de l'alimentation est particulièrement prégnante. En effet, l'alimentation représente la principale part du coût (60 à 80 %) de production **[3].** La problématique de l'approvisionnement en intrants alimentaires est de nos jours d'autant plus cruciale que nous assistons sur le marché international au renchérissement du coût des matières premières ordinaires. Au regard de cette situation, la recherche et la valorisation de ressources alimentaires végétales alternatives dont la disponibilité ou le coût ne sont pas des facteurs limitants, pourraient être une solution pour améliorer la productivité des volailles.

L'objectif de cette étude s'inscrit donc dans la recherche de voies alternatives de réduction des charges de production des volailles en Côte d'Ivoire par la valorisation des produits locaux dans l'alimentation de volailles. Il s'agira plus spécifiquement d'évaluer l'impact de la consommation de trois (3) régimes alimentaires à base de produits locaux sur les caractéristiques physiques et organoleptiques des œufs et des chairs de la caille élevée en captivité.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 RECEPTION DES CAILLETEAUX

Quatre-vingts (80) cailleteaux d'un jour d'âge ont été utilisés pour l'élevage. Ils ont été achetés dans une ferme du village d'Akouê Santai situé dans la commune de Bingerville faisant partie du District d'Abidjan (Côte d'Ivoire). C'est dans cette ferme qu'a eu lieu l'expérimentation. Ces cailleteaux ont été étiquetés, pesés et repartis en 4 groupes de 20 cailleteaux. Enfin chaque groupe d'animaux a été logé dans un compartiment en fonction des régimes alimentaires.

2.2 FORMULATION DES RÉGIMES ALIMENTAIRES

Trois (3) types d'aliments ont été formulés:

- Aliment A1: La poudre protéique animale est celle de poisson (*Sardinella maderensis)* (100%);
- Aliment A2: La poudre protéique animale est celle de l'escargot (*Achatina fulica)* (100%);
- Aliment A3: La poudre protéique animale est celle d'une farine composite de l'escargot (*Achatina fulica)* / poisson (*Sardinella maderensis)* (50/50; P/P);

Pour chacune de ces formulations, le constituant glucidique principal est exclusivement la farine de maïs (*Zea mays*) jaune. Ensuite, ont été ajoutés à ces aliments, les mêmes quantités de poudre de néré (grains et pulpe) ainsi que les autres intrants habituels comme détaillé dans les tableaux I ci-dessous.

Tableau 1. Composition centésimale des aliments formulés A1, A2 et A3

Quantité (Kg) pour 100 Kg d'aliment	Périodes de l'élevage					
Ingrédients	Démarrage			Croissance		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Farine de maïs	56	56	56	58	58	58
Farine de pulpe de néré	03	03	03	03	03	03
Farine de graine de néré	20,8	20,8	20,8	19	19	19
Farine de poisson	15	00	7,5	14,5	00	7,5
Farine d'escargot	00	15	7,5	00	14,5	7,5
Coquillage	02	02	02	2,2	2,2	2,2
Huile rouge	02	02	02	02	02	02
Complexe vitaminique	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7
Sel	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Lysine	0,25	0,25	0,25	0,2	0,2	0,2
Méthionine	0,15	0,15	0,15	0,1	0,1	0,1
Total (Kgs)	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**	**100**

2.3 DÉROULEMENT DE L'ÉLEVAGE

Dès le 1er jour de la réception, les cailleteaux, âgés de 1 jour, ont été nourris selon le mode suivant:

- Le 1er groupe a reçu l'aliment A1
- Le 2è groupe a reçu l'aliment A2
- Le 3è groupe a reçu l'aliment A3
- Le 4è groupe a reçu l'aliment de commerce AT. C'est l'aliment témoin.

Chaque jour à 17 h les cailleteaux ont reçu une quantité bien précise d'aliment et de l'eau contenant de la vitamine (VMD-Amin spécial) et du déparasitant (Norfloxacine 20%). Vingt-quatre (24) h après, les refus ont été récupérés et pesés avant le renouvellement de l'aliment. Chaque 2 jours, à 17 h, les cailleteaux ont été pesés. La période de démarrage a duré pendant 2 semaines, puis les cailleteaux ont été transférés dans les cages réservées pour la phase de croissance qui a duré environ 7 semaines. Les activités effectuées pendant cette phase ont été identiques à celles de la phase précédente. A la fin de chaque période de l'élevage, 3 cailles de chaque lot ont été sacrifiées, leurs viscères ont été extraits puis pesés, de même que leurs carcasses. Toutes les pesées ont été réalisées à l'aide d'une balance électronique (ACCULAB Sartoruis group-VICON 0,01g).

2.4 DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES PHYSIQUES

2.4.1 MASSES DES ŒUFS ET DES COQUILLES DES ŒUFS

Les œufs pondus et leurs coquilles ont été récupérés et pesés à l'aide d'une balance de précision (Analytica Balance MT 200, CHINA).

2.4.2 DIMENSSIONS DES ŒUFS

La longueur et la largeur des œufs ont été mesurées avec un pied à coulisse micrométrique gradué Mastercraft (CHINA).

2.4.3 EPAISSEURS DES COQUILLES DES ŒUFS

L'épaisseur des coquilles des œufs a été mesurée avec un pied à coulisse micrométrique gradué Mastercraft (CHINA).

2.5 ANALYSES ORGANOLEPTIQUES DE LA VIANDE ET DES ŒUFS DES CAILLES

2.5.1 CONSTITUTION DU PANEL DE DÉGUSTATION

Dix-huit (18) panélistes, âgés entre dix-huit (18) et trente-cinq (35) ans, dont neuf (09) filles et neuf (09) garçons, ont été sélectionnés puis formés au laboratoire de Biocatalyse et des Bioprocédés à l'aide d'une fiche technique établie à cet effet **(Figures 1 & 2).**

2.5.2 PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS

La séance de dégustation a porté d'une part sur la chair de cailles et d'autre part sur leurs œufs. Les cailles par lot ont été égorgées, plumées et les carcasses ont été transportées au laboratoire. Là, elles ont été nettoyées à l'aide de l'eau de robinet, dépecées et assaisonnées à l'aide de sel puis frites à l'huile Dinor. Après 10 min de cuisson, elles ont été retirées du feu, emballées dans des récipients en plastique codés et étiquetés. Les œufs de cailles ont été cuits à l'eau bouillante pendant 5 min et conservés dans les mêmes conditions avant la dégustation.

2.5.3 FICHE DE COTATION

La fiche de cotation a porté sur la tendreté, la saveur et l'arôme de la chair de caille d'une part et d'autre part sur l'arôme, la saveur, la couleur et la texture du jaune et du blanc d'œufs du même lot. Chaque paramètre a été muni d'une échelle de valeur graduée de 0 à 10 permettant d'évaluer le degré d'appréciation de la chair et des œufs (**Figures 1 et 2).**

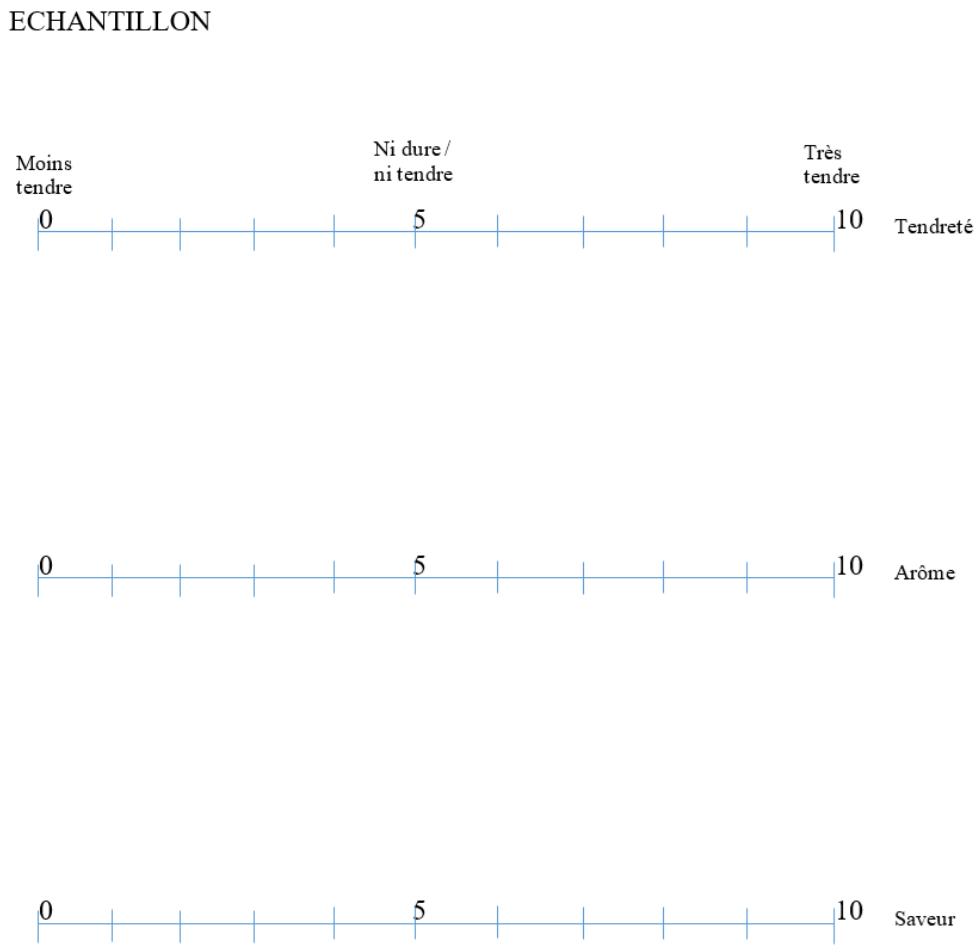


Fig. 1. Fiche de cotation des caractéristiques organoleptiques de la chair de cailles

Source: [4]

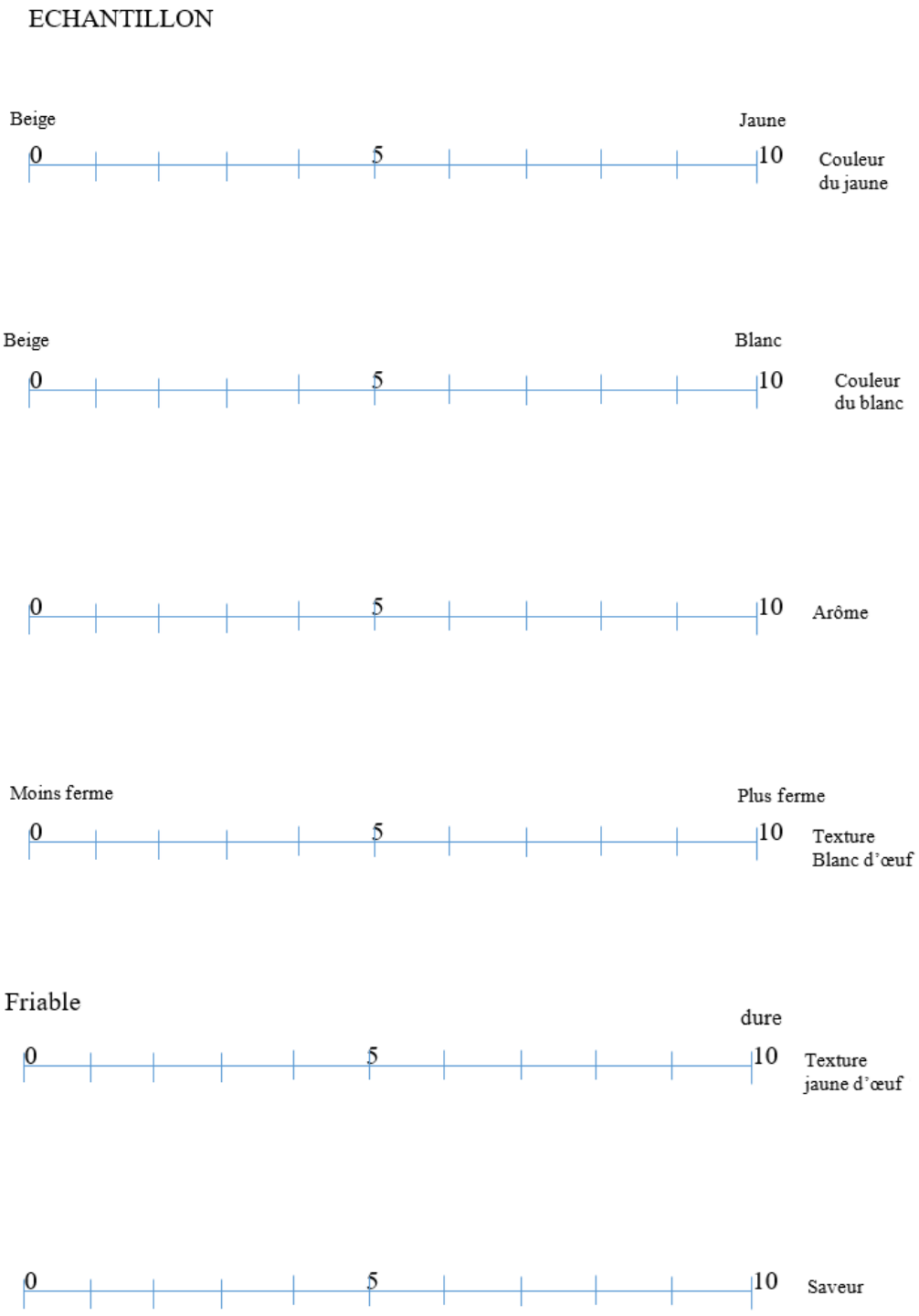


Fig. 2. Fiche de cotation des caractéristiques organoleptiques des œufs de cailles

Source: [4]

2.5.4 DÉROULEMENT DU TEST

Les 18 panélistes ont été installés dans une salle apprêtée à cet effet. Un stylo, une fiche de cotation, de l'eau potable dans un verre, et des papiers lotus leur ont été distribués. Ensuite, une séance de rappel et de mise à niveau de 30 min a été faite à l'ensemble des panélistes relativement à la manière de remplir la fiche de cotation. Après cela, les échantillons par lot leur ont été distribués successivement. L'eau a servi à se rincer la bouche après chaque échantillon.

2.6 ANALYSES STATISTIQUES

Toutes les mesures ont été réalisées en triple. Les analyses ont été effectuées en triple. Le logiciel EXCEL 2013 a été utilisé pour la représentation des graphes ainsi que pour le calcul des moyennes et des écartypes. Les analyses statistiques des données ont été faites à l'aide du logiciel STATISTICA 7.1 (Addinsoft Sarl, Paris-France). Les comparaisons entre les variables dépendantes ont été déterminées au moyen de l'analyse de variance (ANOVA) à un facteur et du test de DUNCAN. La signification statistique a été définie au seuil de 5%. Les moyennes et écart type de tous les résultats d'analyse ont été traités avec STASTICA 7.1 et comparés entre eux.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 RÉSULTATS

3.1.1 CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DES ŒUFS

3.1.1.1 MASSES DES ŒUFS

Les masses des œufs pondus par les cailles nourries avec les aliments de croissance nouvellement formulés A1, A2, A3 et de commerce AT sont respectivement de 10,59 ± 0,39 g; 11,20 ± 0,25 g; 11, 51 ± 0,03 g et 11,21 ± 0,03 g. Les œufs pondus par les cailles nourries avec les aliments de croissance nouvellement formulé A2 et de commerce AT ont statistiquement (P≥0,05) les mêmes masses. Ces masses sont statistiquement (P≤0,05) inférieures à celles des cailles nourries avec l'aliment de croissance nouvellement formulé A3 et supérieures à celles des cailles nourries avec l'aliment de croissance nouvellement formulé A1 **(Figure 3).**

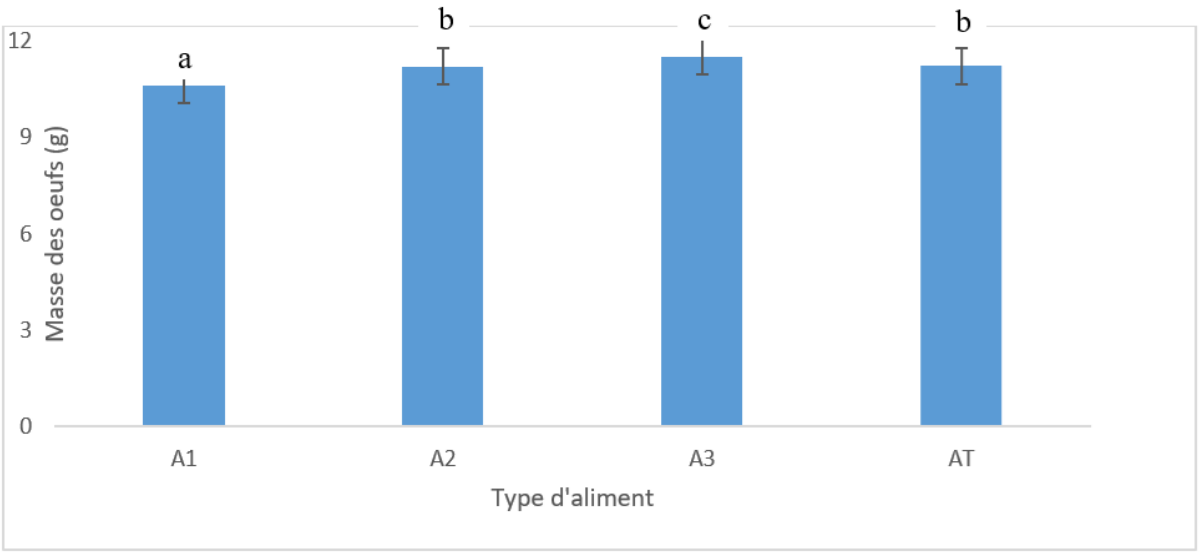


Fig. 3. Masses des œufs pondus par les cailles nourries avec les aliments nouvellement formulés et de commerce pendant la période de croissance

Les mêmes lettres affectées aux moyennes signifient qu'elles ne sont pas différentes au seuil de 5%.

- A1: aliment dont la source protéique animale majeure est uniquement la poudre du poisson Sardinella maderensis (100%);
- A2: aliment dont la source protéique animale majeure est uniquement la poudre de l'escargot Achatina fulica (100%);
- A3: aliment dont la source protéique animale majeure est la poudre composite escargot (Achatina fulica) / poisson (Sardinella maderensis) (50/50; p/p);
- AT: Aliment de commerce (aliment témoin).

3.1.1.2 LONGUEURS ET LARGEURS DES ŒUFS

Les longueurs des œufs pondus par les cailles nourries avec les aliments de croissance nouvellement formulés (A1, A2, A3) et de commerce AT sont respectivement de 31,53 ± 0,49; 33,01 ± 0,74; 32,91 ± 0,24 et 32,03 ± 0,40 mm. Celles des œufs pondus par les cailles nourries avec les aliments de croissance nouvellement formulés A2 et A3 sont statistiquement (P≥0,05) identiques. Elles sont statistiquement (P≤0,05) supérieures à celles des œufs pondus par les cailles nourries avec les aliments de croissance nouvellement formulés A1 et de commerce AT.

Les largeurs des œufs pondus par les cailles nourries par les aliments de croissance nouvellement formulés (A1, A2, A3) et de commerce AT sont respectivement de 24,88 ± 0,47; 24,76 ± 0,73; 25,02 ± 0,62 et 25,36 ± 0,12 mm. Toutes ces largeurs sont statistiquement (P≥0,05) identiques **(Figure 4).**

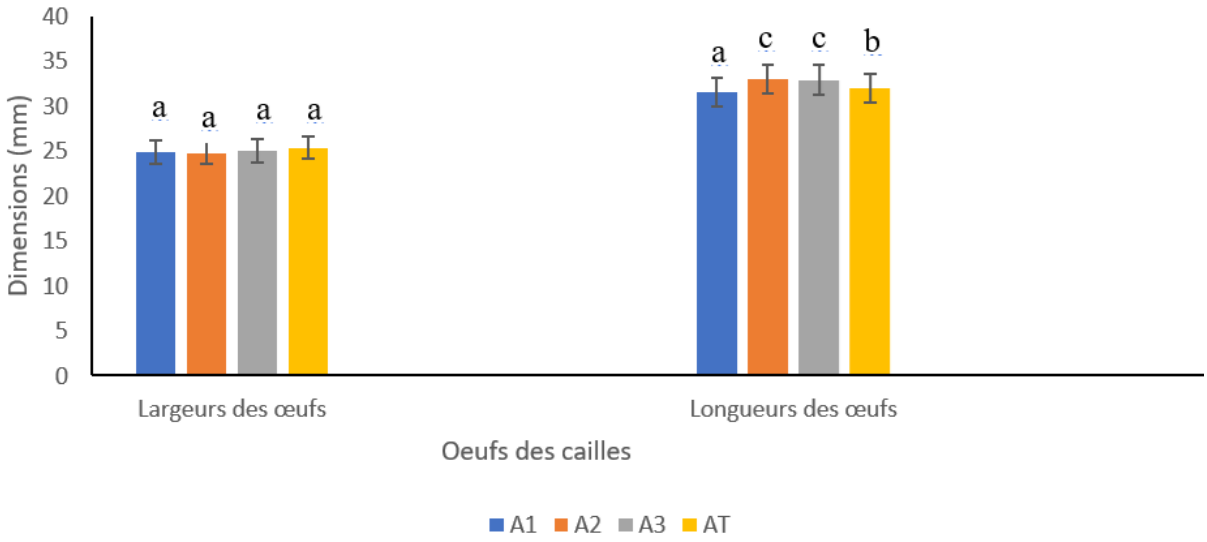


Fig. 4. Longueurs et largeurs des œufs pondus par les cailles nourries avec les aliments nouvellement formulés et de commerce pendant la période de croissance

Les mêmes lettres affectées aux moyennes signifient qu'elles ne sont pas différentes au seuil de 5%.

- A1: aliment dont la source protéique animale majeure est uniquement la poudre du poisson *Sardinella maderensis* (100%);
- A2: aliment dont la source protéique animale majeure est uniquement la poudre de l'escargot *Achatina fulica* (100%);
- A3: aliment dont la source protéique animale majeure est la poudre composite escargot (*Achatina fulica*) / poisson (*Sardinella maderensis)* (50/50; p/p);
- AT: Aliment de commerce (aliment témoin).

3.1.1.3 MASSES ET ÉPAISSEURS DES COQUILLES DES ŒUFS

Les masses des coquilles des œufs pondus par les cailles nourries avec les aliments nouvellement formulés A1, A2, A3 et de commerce AT sont respectivement de 1,38 ± 0,06; 1,50 ± 0,04; 1,51 ± 0,05 et 1,44 ± 0,08g. Celles des œufs pondus par les cailles nourries avec les aliments nouvellement formulés A2 et A3 sont statistiquement (P≥0,05) identiques.

Elles sont par contre statistiquement (P≤0,05) supérieures aux masses des coquilles des œufs pondus par les cailles nourries avec les aliments nouvellement formulé A1 et de commerce AT. Ces deux aliments produisent statistiquement (P≥0,05) les mêmes masses de coquilles d'œufs **(Figure 5).**

Les épaisseurs des coquilles des œufs des cailles nourries avec les aliments nouvellement formulés A1, A2, A3 et de commerce AT sont respectivement de 0,28 ± 0,03; 0,28 ± 0,02; 0,37 ± 0,02 et 0,36 ± 0,04 mm. Celles des coquilles des œufs des cailles nourries avec les aliments nouvellement formulé A3 et de commerce AT sont statistiquement (P≥0,05) identiques. Elles sont statistiquement (P≤0,05) supérieures aux épaisseurs des coquilles des œufs des cailles nourries avec les aliments

nouvellement formulés A1 et A2. Il n'existe pas de différence significative (P≥0,05) entre les épaisseurs des coquilles des œufs des cailles nourries avec ces aliments **(Figure 5).**

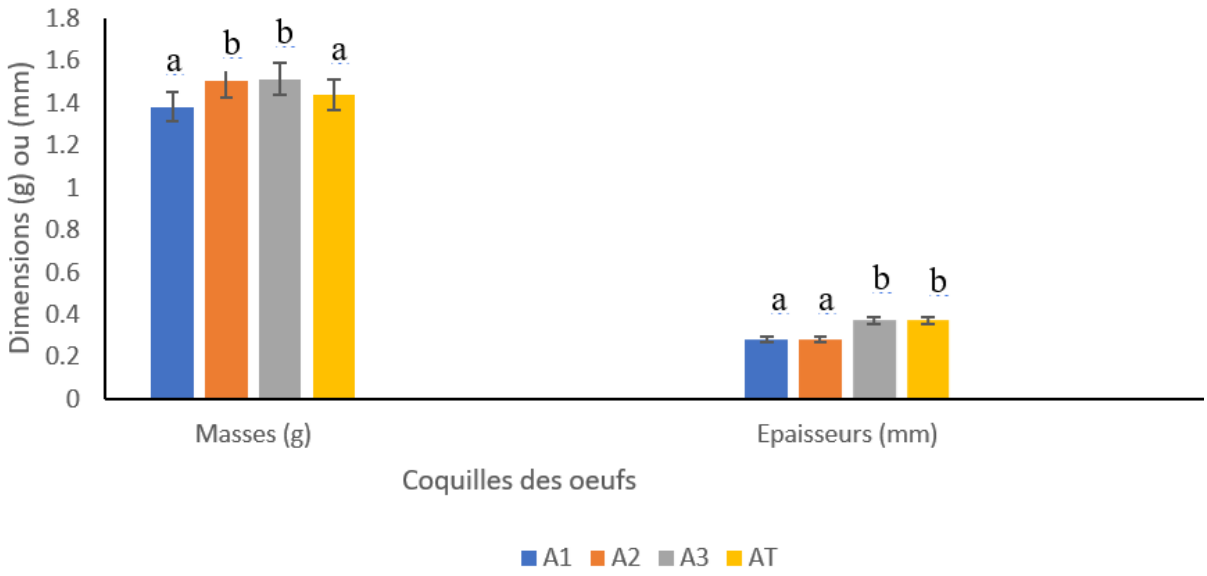


Fig. 5. Masses et épaisseurs des coquilles des œufs pondus par les cailles nourries avec les aliments nouvellement formulés et de commerce

Les mêmes lettres affectées aux moyennes signifient qu'elles ne sont pas différentes au seuil de 5%.

- A1: aliment dont la source protéique animale majeure est uniquement la poudre du poisson *Sardinella maderensis* (100%);
- A2: aliment dont la source protéique animale majeure est uniquement la poudre de l'escargot *Achatina fulica* (100%);
- A3: aliment dont la source protéique animale majeure est la poudre composite escargot (*Achatina fulica*) / poisson (*Sardinella maderensis)* (50/50; p/p);
- AT: Aliment de commerce (aliment témoin).

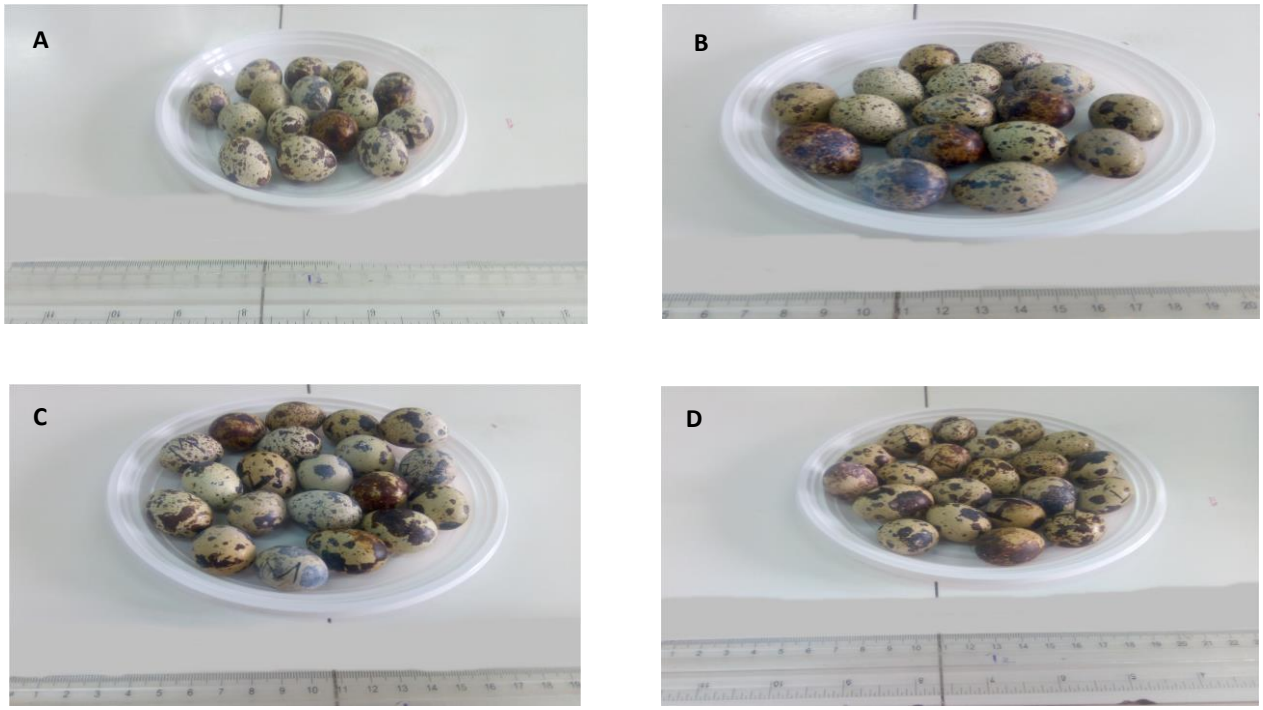


Fig. 6. Œufs des cailles nourries avec les aliments de croissance nouvellement formulés A1 (A), A2 (B), A3 (C) et de commerce (D)

3.1.2 CARACTÉRISTIQUES ORGANOLEPTIQUES DE LA CHAIR ET DES ŒUFS DES CAILLES JAPONAISES (*COTURNIX JAPONICA*) EN CAPTIVITÉ NOURRIES AVEC LES ALIMENTS NOUVELLEMENT FORMULÉS ET DE COMMERCE

3.1.2.1 CARACTÉRISTIQUES ORGANOLEPTIQUES DES CHAIRS DES CAILLES

Les moyennes des notes sur les tendretés des chairs des cailles nourries avec les aliments nouvellement formulés (A1, A2, A3) et de commerce AT à la fin de l'élévage sont respectivement de 3,72 ± 1,4; 3,67 ± 1,29; 3,42 ± 1,32 et 3,42 ± 1,53. Elles sont statistiquement (P≥0,05) identiques. Ces mêmes chairs de cailles ont aussi statistiquement (P≥0,05) les mêmes arômes et saveurs (**Figure 7).**

Les moyennes des notes sur les arômes des chairs des cailles nourries avec les aliments nouvellement formulés A1, A2, A3 et de commerce AT sont respectivement de 6,06 ±2,06; 6 ± 1,73; 6,69 ± 1,75 et 6,61 ± 1,86 (**Figure 7).**

Celles des saveurs sont respectivement de 6,5 ± 1,67; 6,75 ± 1,81; 7,25 ± 1,64 et 7,14 ± 1,37 (**Figure 7).** Les résultats sont la moyenne des notes de 18 dégustateurs.

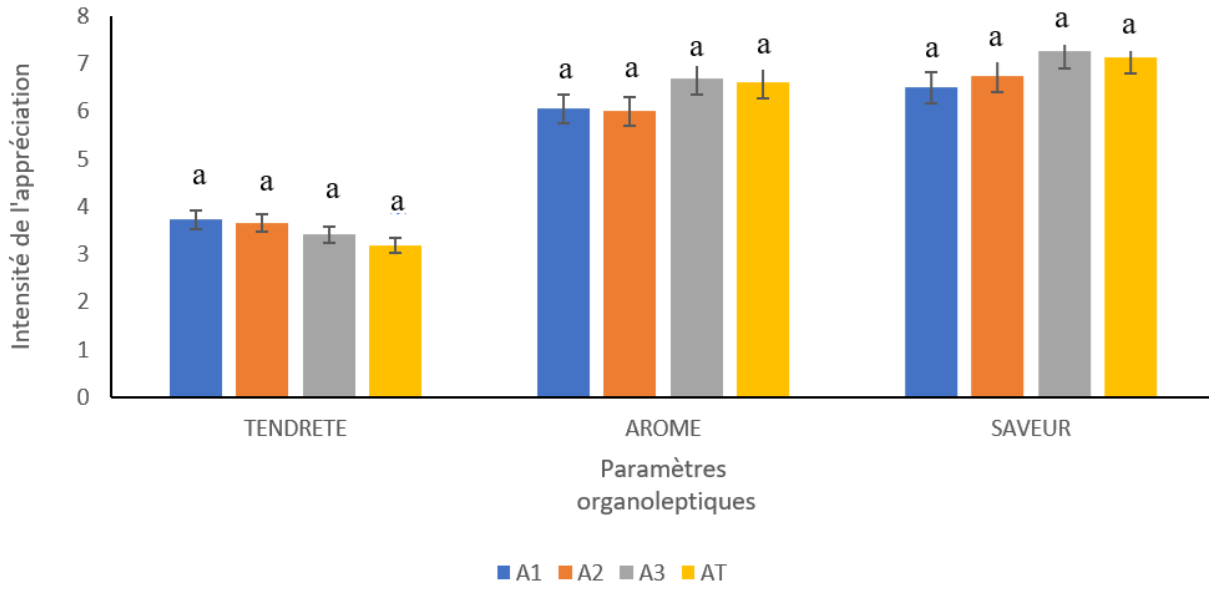


Fig. 7. Caractéristiques organoleptiques des chairs des cailles nourries avec les aliments nouvellement formulés et de commerce

Les mêmes lettres affectées aux moyennes signifient qu'elles ne sont pas différentes au seuil de 5%.

- A1: aliment dont la source protéique animale majeure est uniquement la poudre du poisson *Sardinella maderensis* (100%);
- A2: aliment dont la source protéique animale majeure est uniquement la poudre de l'escargot *Achatina fulica* (100%);
- A3: aliment dont la source protéique animale majeure est la poudre composite escargot (*Achatina fulica*) / poisson (*Sardinella maderensis)* (50/50; p/p);
- AT: Aliment de commerce (aliment témoin).

3.1.2.2 CARACTÉRISTIQUES ORGANOLEPTIQUES DES ŒUFS DES CAILLES

Il n'existe pas de différence significative (P≥0,05) entre les saveurs, les arômes, les textures des jaunes et blancs et des couleurs du blanc des œufs des cailles nourries avec les aliments de croissance nouvellement formulés A1, A2, A3 et de commerce AT. Les moyennes des notes de ces différents paramètres varient entre 6 et 7 **(Figure 8).**

La couleur du jaune d'œuf des cailles nourries avec l'aliment de croissance de commerce AT est statistiquement (P≤0,05) différente de celles des jaunes d'œufs des cailles nourries avec les aliments de croissance nouvellement formulés. Les Jaunes d'œufs des cailles nourries avec les aliments nouvellement formulés sont statistiquement plus jaunes que celui des cailles nourries avec l'aliment de commerce AT **(Figure 8).**

Les résultats sont la moyenne des notes de 18 dégustateurs.

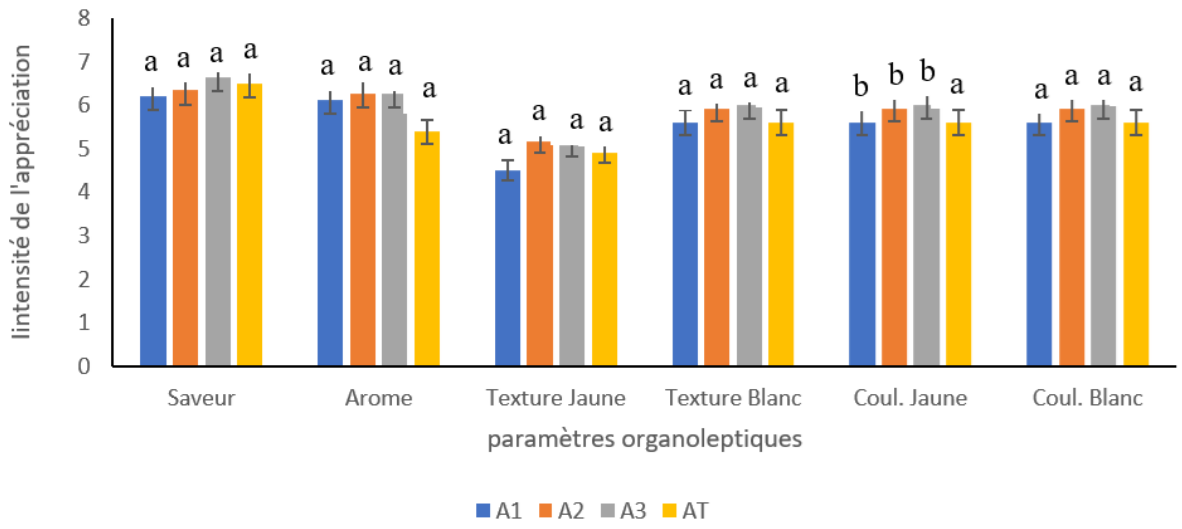


Fig. 8. ***Caractéristiques organoleptiques des œufs des cailles nourries avec les aliments nouvellement formulés et de commerce***

Les mêmes lettres affectées aux moyennes signifient qu'elles ne sont pas différentes au seuil de 5%.

- A1: aliment dont la source protéique animale majeure est uniquement la poudre du poisson *Sardinella maderensis* (100%);
- A2: aliment dont la source protéique animale majeure est uniquement la poudre de l'escargot *Achatina fulica* (100%);
- A3: aliment dont la source protéique animale majeure est la poudre composite escargot (*Achatina fulica*) / poisson (*Sardinella maderensis)* (50/50; p/p);
- AT: Aliment de commerce (aliment témoin).

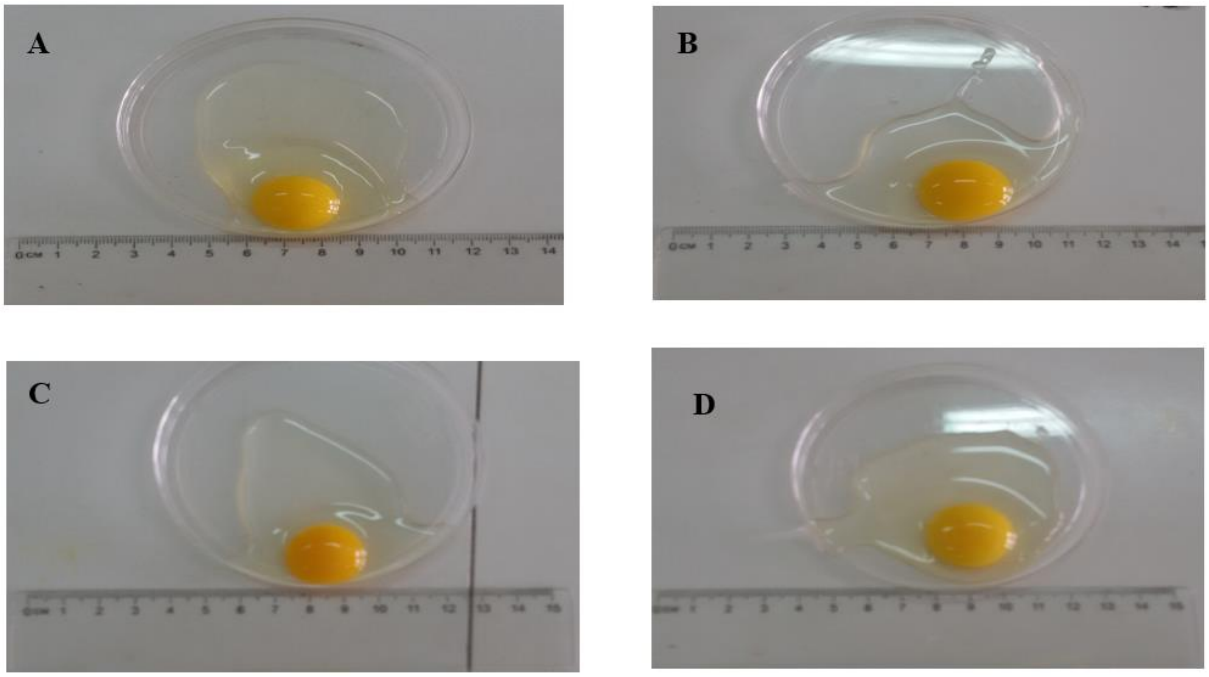


Fig. 9. ***Présentation du blanc et du jaune d'œufs de cailles nourries avec les aliments nouvellement formulés A1 (A), A2 (B), A3 (C) et de commerce (D)***

3.2 DISCUSSION

Les œufs pondus par les cailles nourries avec les aliments nouvellement formulés et de commerce n'ont ni les mêmes masses, ni les mêmes épaisseurs de coquilles. Cette variabilité de masses et d'épaisseurs de coquilles a déjà été mise en évidence par **[5] et [6]; [7] et [8]** qui ont travaillé sur des formulations alimentaires pour cailles. Les œufs des cailles nourries avec l'aliment A3 ont les masses et les épaisseurs de coquilles les plus élevées; après viennent successivement celles des œufs des cailles nourries avec les aliments AT, A2 et A1. Cette différence pourrait être attribuée à la variabilité des qualités et des quantités des nutriments des aliments consommés par les cailles. En effet, la caille qui ingère plus d'aliment, produit de gros œufs et en quantité suffisante. La caille qui consomme suffisamment d'aliment de qualité pour couvrir ses besoins quotidiens en énergie tels que préconisés par **[9],** acquiert suffisamment de matières plastiques telles que les protéines et les minéraux majeurs, le calcium en particulier, nécessaires à la composition harmonieuse de l'œuf. C'est ce qui expliquerait la masse élevée de l'œuf et de l'épaisseur plus forte de la coquille des œufs des cailles nourries avec l'aliment formulé A3 et celui de commerce AT. Il est donc possible d'affirmer qu'il existe une relation entre la consommation d'aliment, la masse des œufs et l'épaisseur de la coquille. Plus l'animal consomme l'aliment, plus sa masse est élevée et l'épaisseur de la coquille est plus grande **[10].**

La norme française NF ISO 5492 définit l'analyse sensorielle comme étant l'examen des propriétés organoleptiques d'un produit par les organes de sens. Il s'agit donc d'utiliser en quelque sorte l'être humain comme instrument de mesure en mettant à profit ses capacités olfactives, gustatives, visuelles, auditives et tactiles pour caractériser et évaluer des produits, notamment dans les domaines où les sens apportent une certaine valeur ajoutée par rapport aux mesures physico-chimiques usuelles. Celle réalisée dans ce travail montre que toutes les chairs des cailles nourries avec les aliments nouvellement formulés sont accréditées de la même appréciation que celles nourries avec l'aliment de commerce tant au niveau de la tendreté, de l'arôme que de la saveur. En effet, l'analyse de variance a montré que ces profils sensoriels ne diffèrent en aucun cas pour la même application technologique d'un lot de cailles à un autre. Cela suggère que la variation de l'alimentation n'a pas eu un impact négatif sur les caractéristiques organoleptiques étudiées sur la chair des cailles. La tendreté de la viande serait due à la résistance mécanique des muscles et à la solubilité du collagène (**[11]; [12]).**

Par ailleurs, l'arôme et la saveur sont dus en partie aux acides aminés et aux acides gras qu'offrent les aliments consommés **([13]; [14]; [15]; [16]).**

Concernant les œufs des cailles, les paramètres sur les lesquels se sont prononcés les panélistes sont l'arôme, la saveur, la texture du jaune et du blanc de l'œuf, la couleur du jaune et du blanc de l'œuf. A l'exception du paramètre de la couleur du jaune de l'oeuf où la couleur du jaune d'œuf des cailles nourries avec les aliments nouvellement formulés est plus foncée que celle des cailles nourries avec l'aliment de commerce, l'analyse statistique n'a révélé aucune différence statistique significative au seuil de 5% concernant les autres paramètres susmentionnés. Cela suggère que l'arôme, la saveur, la texture du jaune et du blanc et la couleur du blanc de l'œuf des cailles nourries avec les aliments nouvellement formulés sont similaires à ceux des cailles nourries avec l'aliment de commerce. Toutes ces cailles sont appréciées au même titre par les panélistes. La différence constatée au niveau de la couleur du jaune de l'œuf trouverait sa justification dans le fait que les cailles nourries avec les aliments nouvellement formulés ont reçu dans leur alimentation de la pulpe de néré qui en plus d'être riche en éléments minéraux, est une véritable source de caroténoïdes.

4 CONCLUSION

Au terme de cette étude, l'on peut retenir que l'aliment A3 a fourni suffisamment de matières plastiques pour la composition harmonieuse des œufs. En plus, l'analyse sensorielle a montré que toutes les chairs des cailles nourries avec les aliments nouvellement formulés sont accréditées de la même appréciation que celle des cailles nourries avec l'aliment de commerce AT. Le même constat est fait au niveau de leurs œufs. Également, l'intensité du jaune de l'oeuf des cailles nourries avec les aliments nouvellement formulés est plus prononcée (plus jaune) que celle des œufs des cailles nourries avec l'aliment de commerce AT.

Au vu de ces résultats, les aliments nouvellement formulés, surtout l'aliment A3, peuvent être considérés comme de bons aliments pour les cailles, voire pour les volailles.

REFERENCES

[1] Zaman M.A., Sorensen P. & Howlider M.A.R. (2004). Performances de production d'œufs d'une race et de trois croisements sous système de conduite en divagation. Recherche sur l'élevage pour le développement rural 16 (8). http://www.lrrd.org/lrrd16/8/zama 16060 htm. Consulté le 11 juillet 2018.

[2] Coulibaly D. (2013). Politique de développement de l'élevage en Côte d'Ivoire: neuvième Conférence des Ministres Africains en Charge des Ressources Animales, Ministère des Ressources Animales et Halieutiques, Abidjan, Côte d'Ivoire: 1-13.

[3] MRA (Ministère des Ressources Animales) (2010). Politique Nationale de Développement durable de l'Elevage au Burkina Faso, 54: 2010-2025.

[4] Anonyme (1991). Méthodes de laboratoire pour l'analyse sensorielle des aliments: *https://archive.org/details/laboratorymethod00otta/page9*. Consulté le 12 Juin 2018.

[5] Abdel-Azeem F.A.A. (2011). Influence de la restriction alimentaire qualitative sur les performances de reproduction des poules cailles japonaises. Sciences avicoles égyptiennes, 31: 883-897.

[6] Elangovan A.V., Verma S.V.S., Sastry V.R.B. & Singh S.D. (2000). Performances de ponte de cailles japonaises nourries avec des niveaux gradués de farine de noyaux de neem (Azadirachta indica) incorporés dans des régimes alimentaires. Science et technologie de l'alimentation animale, 88: 113-120.

[7] Sahin K., Ozbey O., Onderci M., Cikim G. & Aysondu M.H. (2002). La supplémentation en chrome peut atténuer les effets négatifs du stress thermique sur la production d'œufs, la qualité des œufs et certains métabolites sériques de la caille japonaise pondeuse. Revue de nutrition, 132: 1265-1268.

[8] Çabuk M., Eratak S., Alçicek A. & Bozkurt M. (2014). Effets du mélange d'huiles essentielles à base de plantes comme complément alimentaire sur la production d'œufs chez la caille. La Revue du Monde Scientifique, 2014: 1-4.

[9] Pagot J., Bres P. & Lecler Q.L. (1983). Manuel d'Aviculture en zone tropicale, 2ème de la série Manuel et Précis d'Elevage, réalisée par l'institut d'Elevage et de Médecine vétérinaire des pays tropicaux, 10, rue Pierre-Curie à Maisons-Alfort, publiée par le ministère de la Coopération, 185 p.

[10] Diomandé M., Allou Kippré V., Koussemon M. & Kaménan A. (2008). Substitution de la farine de poisson (*Thunnus albacares)* par la farine d'escargot *(Achatina fulica)* dans l'alimentation de la poule pondeuse en Côte d'Ivoire. *Livestock Research for Rural Developpement,* 20: 1-9.

[11] Culioli J., Touraille C., Bordes P. & Girard J.P. (1990). Caractéristiques des carcasses et la viande du poulet Label fermier. *Archiv* für *Geflügelkunde,* 54: 237-245.

[12] Young O. A. & Gregory N. G. (2001). Transformation des carcasses: facteurs affectant la qualité: science de la viande et applications Marcel Dekker Inc, 8 p.

[13] Haefeli R.J. & Glaser D. (1990). Réponse gustative et seuils obtenus avec les acides aminés primaires chez l'homme. Technologie Wiss Lebensm, 23: 523-527.

[14] Kato H., Rhue M.R. & Nishimura T. (1998). Rôle des acides aminés libres et des peptides dans le goût des aliments. In Flavour chemistry: trents and development, chapitre 13. Société américaine de chimie, 174 p.

[15] Mottran D.S. (1998). Formation d'arômes dans la viande et les produits carnés: une revue Chimie alimentaire, 62: 415-424.

[16] Muir P.D., Smith N.B., Wallace G.J., Cruickskank G.J. & Smith D.R. (1998). L'effet de l'alimentation céréalière à court terme sur le gain de poids vif et la qualité de la viande bovine. Journal néo-zélandais de la recherche Agricole, 41: 517-526.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1458-1469
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Détermination de la distance d'un point à une droite par la méthode analytico-graphique

[Determination of the distance from a point to a line by analytic-graphical method]

Edouard MUKONKOLE MWANANSENGA

Assistant 2, Département de mathématiques, Institut Supérieur Pédagogique, BP 682 Mbujimayi, RD Congo

Copyright © 2023 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 analytical resolution of the problems posed in descriptive geometry by the MONGE method would be a plus that we bring to the scientific world and to secondary education.
Our subject is entitled: Determination by the analytical-graphical method of the distance from a point C to a straight line AB.
To solve the problem thus posed in this article, we have used:
- To the formula which makes it possible to calculate the distance between two points in space,
- To the construction in elementary geometry seen in the first scientific year, of a triangle knowing the lengths of its three sides as well as that of the height resulting from a given point of the triangle,
- To the notion of similar triangles.

KEYWORDS: cartesian coordinate system, Sketch, distance between two points, triangle, real size.

RESUME: La résolution analytique des problèmes posés en géométrie descriptive par la méthode de MONGE serait un plus que nous apportons dans le monde scientifique et en enseignement secondaire.
Notre sujet est intitulé : Détermination par la méthode analytico-graphique de la distance d'un point C à une droite AB.
Pour résoudre le problème ainsi posé dans cet article, nous avons fait recours :
- A la formule qui permet de calculer la distance existante entre deux points de l'espace,
- A la construction en géométrie élémentaire vue en première année scientifique, d'un triangle connaissant les longueurs de ses trois côtés ainsi que celle de la hauteur issue d'un point du triangle donné,
- A la notion des triangles semblables.

MOTS-CLEFS: repère cartésien, épure, distance entre deux points, triangle, vraie grandeur.

1 INTRODUCTION

La géométrie descriptive nous donne des techniques laborieuses pour trouver la vraie grandeur d'un triangle ABC.

Considérons trois points A, B et C du plan non alignés. Les points A et B déterminent une droite car on sait, par l'axiome d'EUCLIDE, que par deux points distincts du plan passe une et une seule droite [10]. La perpendiculaire issue du point C à la droite AB nous permet de trouver la distance du point C à la droite AB [9].

Ainsi, en géométrie descriptive, pour trouver la distance d'un point C à la droite AB, on a coutume de recourir à l'une des méthodes suivantes :

Méthode générale

- Mener par le point C un plan α perpendiculaire à la droite AB ;
- Déterminer le point de percée D de la droite AB dans le plan α ;
- Construire la vraie grandeur du segment [CD].

Méthode de rabattement [7]

- Rabattre le plan (A, B, C) sur le plan horizontal (ou frontal) π ; passant par le point C, d'où A_r^h, B_r^h, C_r^h ou (A_r^f, B_r^f, C_r^f)
- Trouver le pied D_r^h(D_r^f) de la perpendiculaire menée du point C_r^h (ouC_r^f) à la droite $A_r^h B_r^h$ou ($A_r^f B_r^f$) ;

Le segment $[\![C_r^h D_r^h]\!]$ ou ($[\![C_r^f \ D_r^f]\!]$) représente la distance du point C à la droite AB.

A tout chercheur soucieux de déterminer la distance d'un point C à une droite AB, la question suivante vaut la peine d'être posée :

Est-il possible de trouver la vraie grandeur d'un triangle sans recourir aux rabattements ni au changement des plans de projection [2], ni à la rotation [5] ?

Le système éducatif en République Démocratique du Congo, la loi cadre et les instructions officielles publiées en chaque début de l'année scolaire par le ministère de tutelle régissent le système de fonctionnement de l'enseignement secondaire. Chaque discipline a un programme national dans lequel se trouvent toutes les matières à enseigner et cela pour chaque degré.

La géométrie descriptive étant une branche de mathématiques, ses matières sont inscrites dans le programme national de mathématique de 2005 surtout à sa partie géométrie et cela pour chaque degré.

Les apprenants du degré moyen, à la fin de leurs cours de géométrie descriptive, sont incapables de trouver la vraie grandeur d'un triangle ABC car les deux méthodes citées ci-haut, ne sont pas vues dans ce degré. Ainsi donc, ce présent article aidera tout enseignant ou tout chercheur soucieux de ramener les matières de degré supérieur (degré terminal) au degré inférieur (moyen) et de résoudre les problèmes compliqués en géométrie descriptive en utilisant la méthode analytico-graphique, afin de contourner les notions de rabattement, de changement de plans de projection et de rotation en ce qui concerne la détermination de la distance d'un point C à une droite AB.

Notre méthode analytico-graphique consiste à résoudre analytiquement les problèmes (épures) puis amener cette solution en géométrie descriptive. Elle est importante car elle joue le rôle du pont entre la géométrie analytique et la géométrie descriptive.

C'est cette méthode qui servira aux élèves de la troisième (première année) et quatrième (deuxième année) à déterminer la distance d'un point à une droite tout en contournant les notions difficiles de grandes classes.

Suite à tout ce qui précède, nous nous posons la question suivante : comment résoudre le problème de détermination de la vraie grandeur d'un triangle sans recourir à l'une des méthodes données ci-haut de manière à amener les élèves de degré moyen en section scientifique de le résoudre sans difficultés. Ce présent article tachera d'une manière ou d'une autre de répondre à ces deux principales questions.

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 MATÉRIELS

Les matériels suivants nous ont servis à réaliser ce travail :

- Règles graduée,
- Le compas,
- Le crayon,
- La gomme

2.2 MÉTHODES

Notre méthode analytico-graphique consiste à résoudre analytiquement les problèmes (épures) puis amener cette solution en géométrie descriptive. Elle est importante car elle joue le rôle du pont entre la géométrie analytique et la géométrie descriptive.

C'est cette méthode qui servira aux élèves de la troisième (première année) et quatrième (deuxième année) à déterminer la distance d'un point à une droite tout en contournant les notions difficiles des classes supérieures.

3 VRAIE GRANDEUR D'UN TRIANGLE

3.1 DANS L'ESPACE

REPÈRE CARTÉSIEN DE L'ESPACE

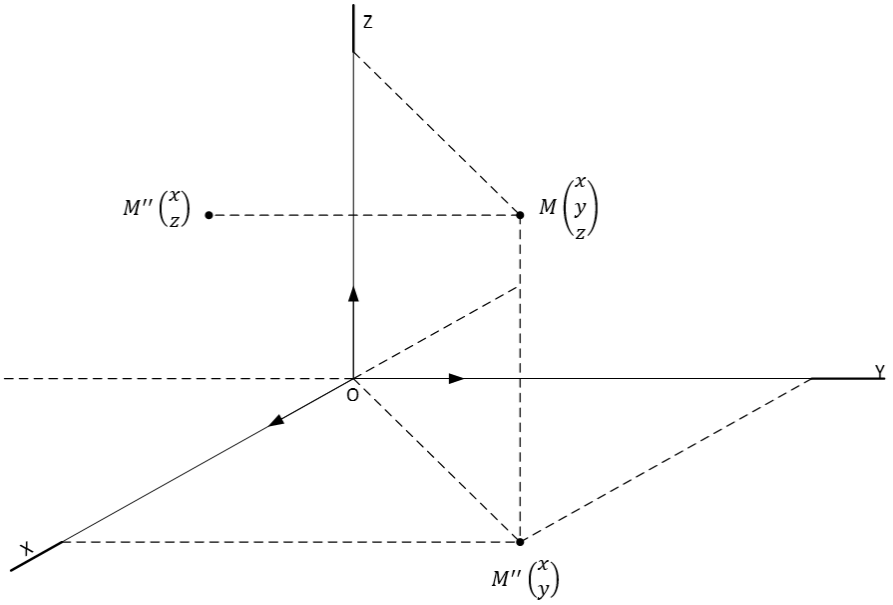
On appelle repère cartésien (ou simplement repère) de $\vec{E}$, tout quadruplet (o, $\vec{\imath}, \vec{\jmath}, \vec{k}$) où O est un point de $\vec{E}$ et ($\vec{\imath}, \vec{\jmath}, \vec{k}$) est une base de $\vec{E}$[6].

Considérons un point M de l'espace E qui a pour coordonnées $\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$ dans l'espace E, le vecteur $\overrightarrow{OM}$ peut s'écrire dans la base ($\vec{\imath}, \vec{\jmath}, \vec{k}$)de la manière suivante :

$$\overrightarrow{OM} = x\vec{\imath} + y\vec{\jmath} + z\vec{k}$$

X est l'abscisse, y l'ordonnée de M et z la cote (hauteur) de M.

Graphiquement le vecteur $\overrightarrow{OM}$ est représenté comme suit :



Sur la figure ci-haut, le point M' est la projection du point M $\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$ dans le plan XOY parallèlement à l'axe OZ et le point M'' est la projection de point M$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$ dans le plan XOZ parallèlement à l'axe OY.

En considérant le point M$\begin{pmatrix} 3 \\ -2 \\ 5 \end{pmatrix}$, les point M' et M'' auront comme coordonnées $\begin{pmatrix} 3 \\ -2 \end{pmatrix}$ et $\begin{pmatrix} 3 \\ 5 \end{pmatrix}$.

DISTANCE DE DEUX POINTS DANS L'ESPACE

Soient deux points de l'espace X$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}$ et Y $\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{pmatrix}$. Lorsque les axes sont rectangulaires, la distance existant entre ces deux est calculée par la relation suivante :

$$d(X,Y)=\sqrt{(y_1 - x_1)^2 + (y_2 - x_2)^2 + (y_3 - x_3)^2} \quad [3]$$

Ainsi pour deux point X$\begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix}$ et Y$\begin{pmatrix} 5 \\ 6 \\ 7 \end{pmatrix}$ de l'espace, la distance existant entre ces deux points, sera calculée comme suit :

d(X,Y)= $\left\|\overrightarrow{XY}\right\| = \sqrt{(5-1)^2+(6-2)^2+(7-3)^2}$

$=\sqrt{16+16+16}$

$= \sqrt{48} = 4\sqrt{3}$

Nous avons noté la distance d(X,Y) par aussi la norme du vecteur $\left\|\overrightarrow{XY}\right\|$ car l'espace considéré ($\mathbb{R}$) est un espace vectoriel sur lui-même. C'est pour cela, comme nous sommes dans $\mathbb{R}^3$, nous nous sommes permis d'écrire d(X,Y) par $\left\|\overrightarrow{XY}\right\|$[1].

DISTANCE D'UN POINT A UNE DROITE DANS LE PLAN

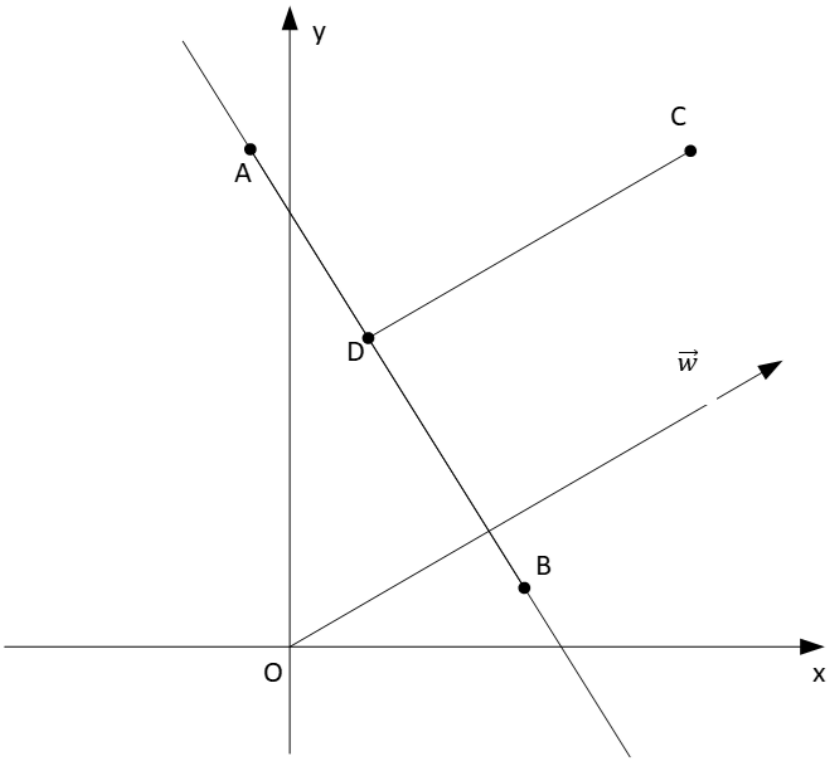
On donne trois points A, B et C dans le plan. On considère la droite (a) passant par les points A et B tout en sachant que les trois points donnés ci-haut ne sont pas alignés. Le point C, à partir de cette précision, devient extérieur à la droite AB. On demande de calculer la distance entre le point C et la droite AB.

Considérant que le point C a pour coordonnées $\binom{x}{y}$ et le vecteur = $\overrightarrow{W} = \binom{u}{v}$.

La distance du point C$\binom{x}{y}$ à la droite AB est la distance de C à sa projection orthogonale D sur la droite AB.

Pour calculer cette distance, on utilise le produit scalaire :

$\overrightarrow{W}.\overrightarrow{DC}$



$\overrightarrow{W}$ est colinéaire à $\overrightarrow{DC}$; on a donc :

$\left\|\overrightarrow{W}.\overrightarrow{DC}\right\|$= DC. $\left|\overrightarrow{W}\right|$= DC. $\sqrt{u^2+v^2}$

D'autre part :

$\overrightarrow{W}.\overrightarrow{DC}$= $\overrightarrow{W}.\overrightarrow{DO}$ + $\overrightarrow{W}.\overrightarrow{OC}$ = $\overrightarrow{W}.\overrightarrow{DO}$ + ux+vy.

D étant un point de la droite AB, avec :

ux + vy + h = comme équation de la droite perpendiculaire au vecteur

$\overrightarrow{W} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$

On a :

$\overrightarrow{W}.\overrightarrow{OC} = ux + vy = -h$

$\overrightarrow{W}.\overrightarrow{DC}$= ux+vy+h.

On en déduit :

d= DC=$\frac{|\overrightarrow{W}.\overrightarrow{DC}|}{|\overrightarrow{W}.|}$

Soit : d=$\frac{ux+vy+h}{\sqrt{u^2+v^2}}$ [8]

Exemple :

La distance du point K$\binom{3}{2}$ à la droite d'équation 4x-5y+4=0 est :

d=$\frac{|4x-5y+4|}{\sqrt{4^2+(-5)^2}} = \frac{|12-10+4|}{\sqrt{16+25}} = \frac{6}{\sqrt{41}} = \frac{6\sqrt{41}}{41}$

Notons que le point D qui est la projection orthogonale du point C sur la droite AB, est aussi appelé pied de la perpendiculaire issue du point à la droite.

CONSTRUCTION D'UN TRIANGLE CONNAISSANT LES LONGUEURS DE SES COTES

Pour bien comprendre cette partie, nous allons, à partir d'un exemple, donner la marche à suivre pour construire un triangle donné si on connait les longueurs de ses côtés.

Problème

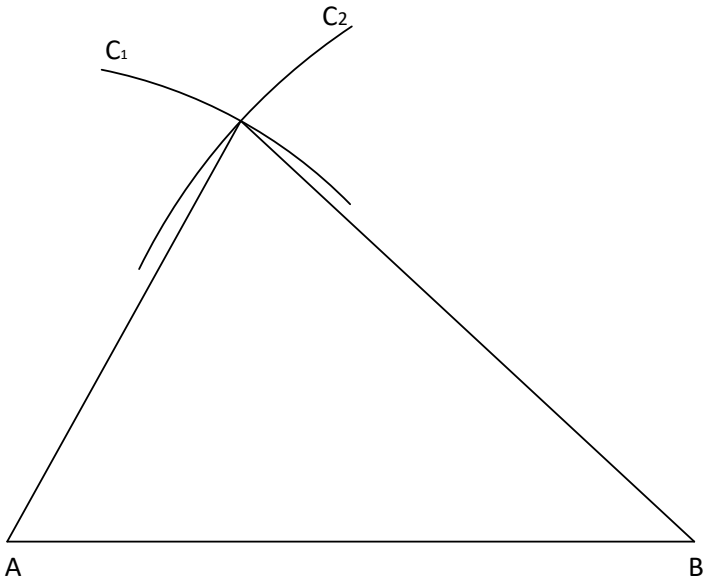
On donne les longueurs des côtés d'un triangle de la manière suivante :

AB=10 cm ; AC= 7 cm et BC= 9 cm.

On demande, à partir des longueurs données ci-haut, de construire le triangle ABC.

Procéde [4]

- Traçons un segment $[AB]$ tel que mes $[AB] = 10\ cm$
- Traçons un arc de cercle (C_1) de centre A et de rayon 7 cm
- Traçons un arc de cercle (C_2) de centre B et de rayon 9 cm.
- $C_1 \cap C_2 = \{C\}$



CONSTRUCTION DE LA HAUTEUR ISSUE DU SOMMET D'UN TRIANGLE

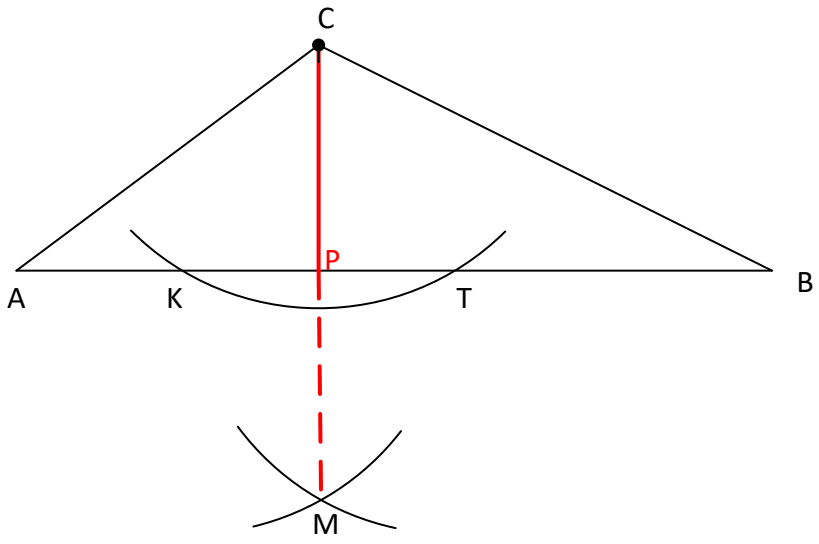
La hauteur d'un triangle est toute perpendiculaire issue d'un sommet au côté opposé à ce sommet.

Problème

On donne le triangle ABC et on demande de mener par le sommet C une perpendiculaire au côté AB

Procédé [4]

- Par le point C, on trace un arc de cercle de rayon supérieur à la distance du point à la droite AB, cet arc rencontre la droite AB en deux points soient les points K et T.
- Par K, on trace un arc de cercle C_1 et par T on trace un arc de cercle C_2 sans changer le premier rayon en K.
- $C_1 \cap C_2 = \{M\}$
- La hauteur en question passe par les points C et M.



Le point P es appelé pied de la perpendiculaire.

L'intersection de toutes les hauteurs d'un triangle est un point appelé orthocentre.

Problème

Enonce

On donne trois points non alignés sur l'épure p A,B et C déterminés par leurs projections dans tous les deux plans de projection, et une droite d passant par les deux points A et B. on demande de déterminer la distance du point C à la droite d.

Procédé [4]

Pour déterminer la distance du point C à la droite d, par notre méthode analytico-graphique on procède comme suit :

- On trouve (détermine) les coordonnées de ces trois points dans l'espace à partir des coordonnées données dans le plan (sur l'épure) ;
- On calcule les distances entre les points. En d'autres termes on calcule les mesures des côtés du triangle ABC ;
- On construit le triangle ABC connaissant les mesures de ses côtés ;
- Le triangle ABC construit est la vraie grandeur du triangle donné sur l'épure ;
- On construit dans le triangle ABC la perpendiculaire issue du sommet C au segment $[AB]$ soit le point D le pied de la perpendiculaire ;
- La distance d(C,D) est la distance demandée qui est celle du point C à la droite AB.

Sur l'épure

Nous référant au problème donné au point précédent, pour déterminer la distance d'un point C à une droite passant par le point A et B sur l'épure on procède comme suit :

- Dans le plan V ou H on fait coïncider le point $A^f\,(ou\ A^h)$ avec A_1 et par ce point on trace une droite dans n'importe direction.
- A l'aide du compas, on porte sur cette droite la mesure du côté AB soit le B_1 ;
- On trace une droite passant par B_1 et $B^f\,(ou\ B^h)$
- Par le point A_1 on porte sur le segment $[A_1B_1]$ la mesure AD, soit le point D_1
- Par le point D_1 on trace une parallèle t à la droite passant par B_1 et $B^f\,(ou\ B^h)$
- $t^f \cap [A^fB^f]$ ou $t^h \cap [A^hB^h]$= $D^f(D^h)$

Par la méthode du triangle rectangle, on déterminera la vraie grandeur du segment $[CD]$ est la distance cherchée du point C à la droite AB

Illustration

On donne :

Cadre $170\ X\ 210$

Trois points A,B et C. Tels que

$$A\begin{cases}A^f(30{,}115)\\A^h(30{,}90)\end{cases}\qquad B\begin{cases}B^f(80{,}190)\\B^h(80{,}10)\end{cases}\qquad C\begin{cases}C^f(140{,}120)\\C^h(140{,}100)\end{cases}$$

On demande de déterminer la distance du point C à la droite d passant par les points (AB).

Dans l'espace

La première chose que nous devons faire, après avoir représenté toutes les données sur l'épure, est de déterminer les coordonnées de ces trois points A, B et C dans l'espace à partir des coordonnées dans le plan.

Faisant référence à la figure 1, les points M'(x,y) et M''(x,z) sont les projections du point M(x,y,z) dans les plans frontal et horizontal de projection.

Pour ce faire les points A, B et C sur l'épure auront comme coordonnées dans l'espace :

A$\begin{cases} A^f(30,115) \\ A^h(30,90) \end{cases}$ → A(30,90,115) B$\begin{cases} B^f(80,190) \\ B^h(80,10) \end{cases}$ → (80,10,190)

C$\begin{cases} C^f(140,120) \\ C^h(140,100) \end{cases}$ → C(140,100,120)

Déterminons ensuite les distances entre les points A, B et C

Faisons usage de la relation (1)

d(A,B)=$\left\|\overrightarrow{AB}\right\| = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2 + (z_B - z_A)^2}$

$=\sqrt{(80-30)^2 + (10-90)^2 + (190-115)^2}$

$=\sqrt{(50)^2 + (-80)^2 + (75)^2}$

$=\sqrt{2500 + 6400 + 5625}$

$=\sqrt{14525} = 120{,}519707\ldots$

d(A,C)=$\left\|\overrightarrow{AC}\right\| = \sqrt{(x_C - x_A)^2 + (y_C - y_A)^2 + (z_C - z_A)^2}$

$=\sqrt{(140-30)^2 + (100-90)^2 + (120-115)^2}$

$=\sqrt{(110)^2 + (10)^2 + (5)^2}$

$=\sqrt{12100 + 100 + 25}$

$=\sqrt{12225} = 110{,}5667\ldots$

d(B,C)=$\left\|\overrightarrow{BC}\right\| = \sqrt{(x_C - x_B)^2 + (y_C - y_B)^2 + (z_C - z_B)^2}$

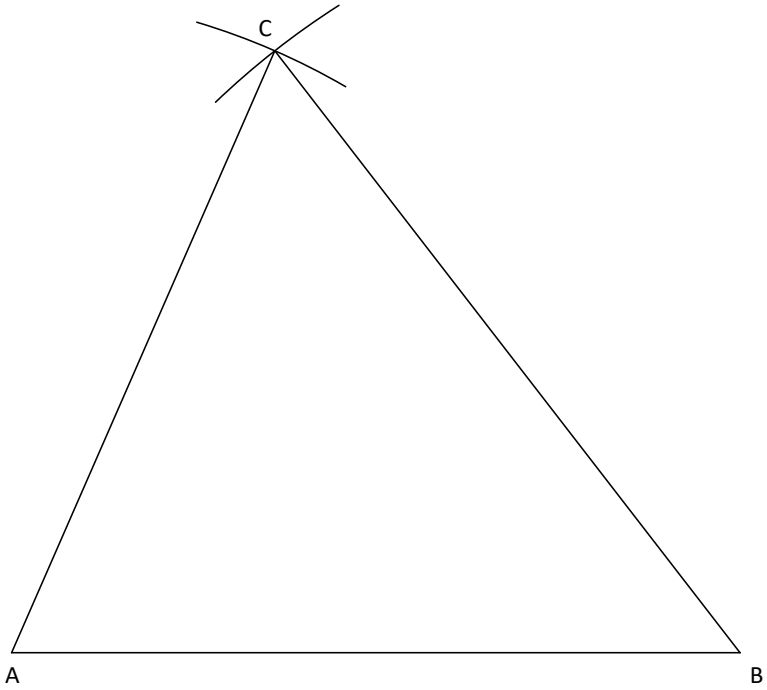
$=\sqrt{(140-80)^2 + (100-10)^2 + (120-190)^2}$

$=\sqrt{(60)^2 + (90)^2 + (-70)^2}$

$=\sqrt{3600 + 8100 + 4900}$

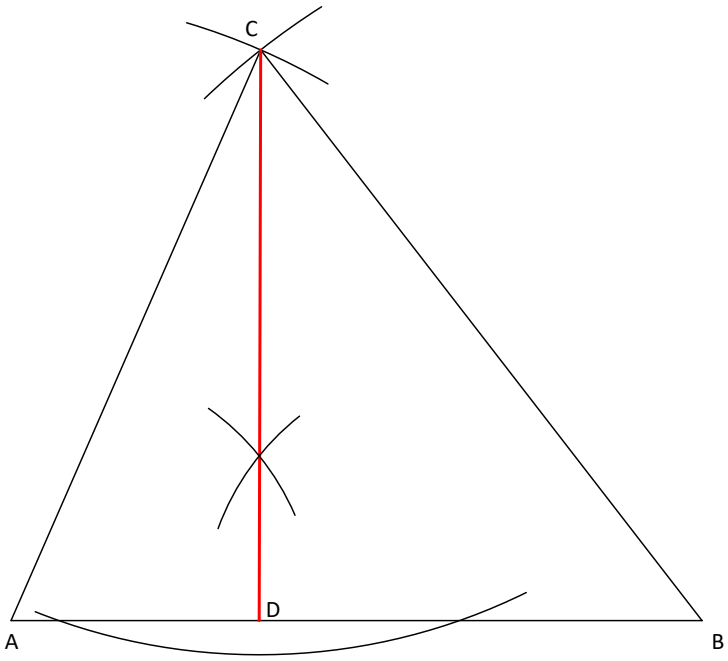
$=\sqrt{16600} = 128{,}8409\ldots$

Nous servant de la marche à suivre pour construire la figure 3, nous devons alors construire le triangle ABC connaissant les longueurs de ses côtés : $AB = 120{,}519707\ldots$; $AC = 110{,}5667\ldots$; $BC = 128{,}8409\ldots$



Ce triangle est la vraie grandeur du triangle ABC sur l'épure.

Construisons la perpendiculaire issue du sommet C au côté AB avec D le pied de la perpendiculaire.



Sur l'épure

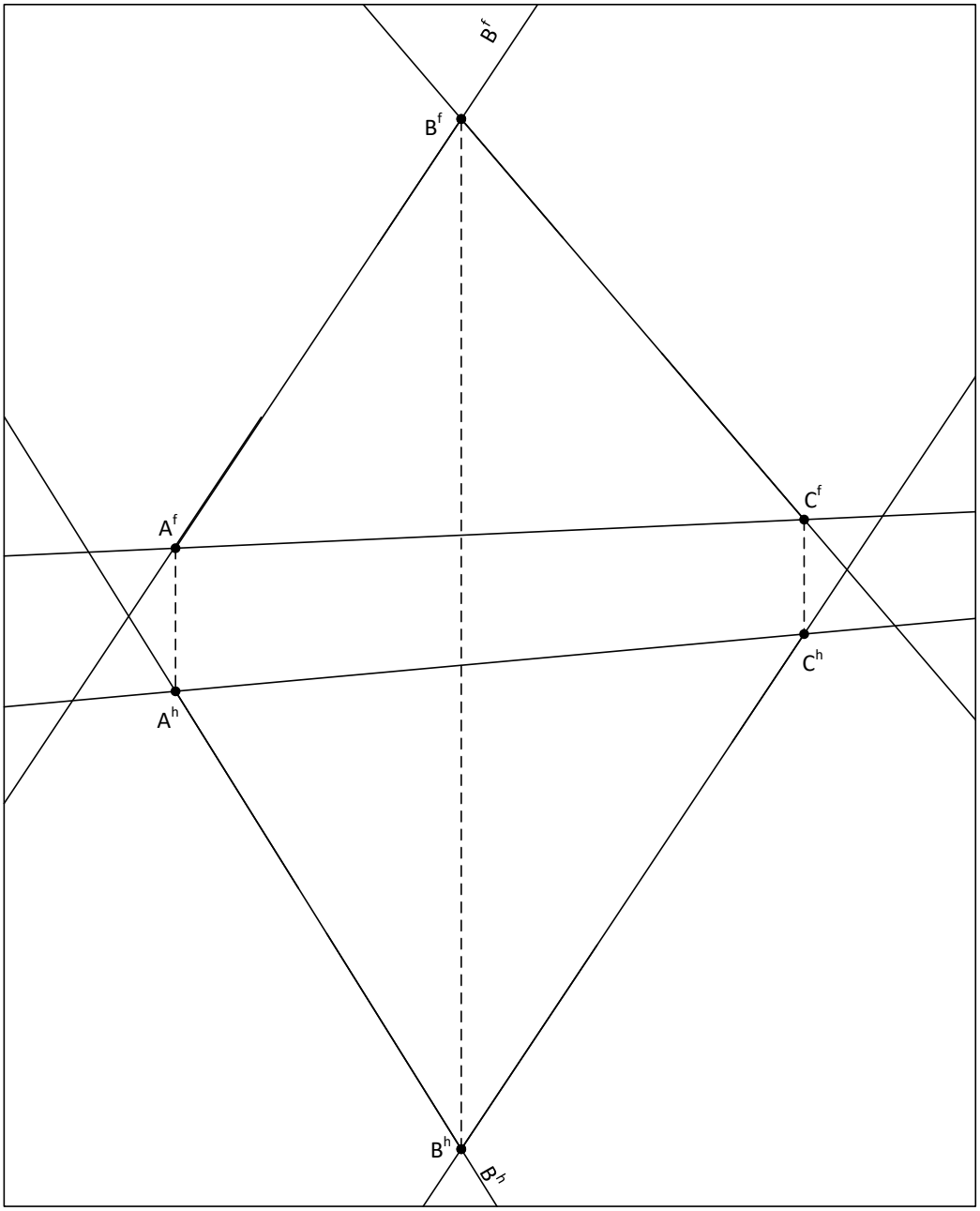
On donne :

Cadre $170\ X\ 210$

Trois points A, B et C. Tels que :

A$\begin{cases} A^f(30,115) \\ A^h(30,90) \end{cases}$ B$\begin{cases} B^f(80,190) \\ B^h(80,10) \end{cases}$ C$\begin{cases} C^f(140,120) \\ C^h(140,100) \end{cases}$

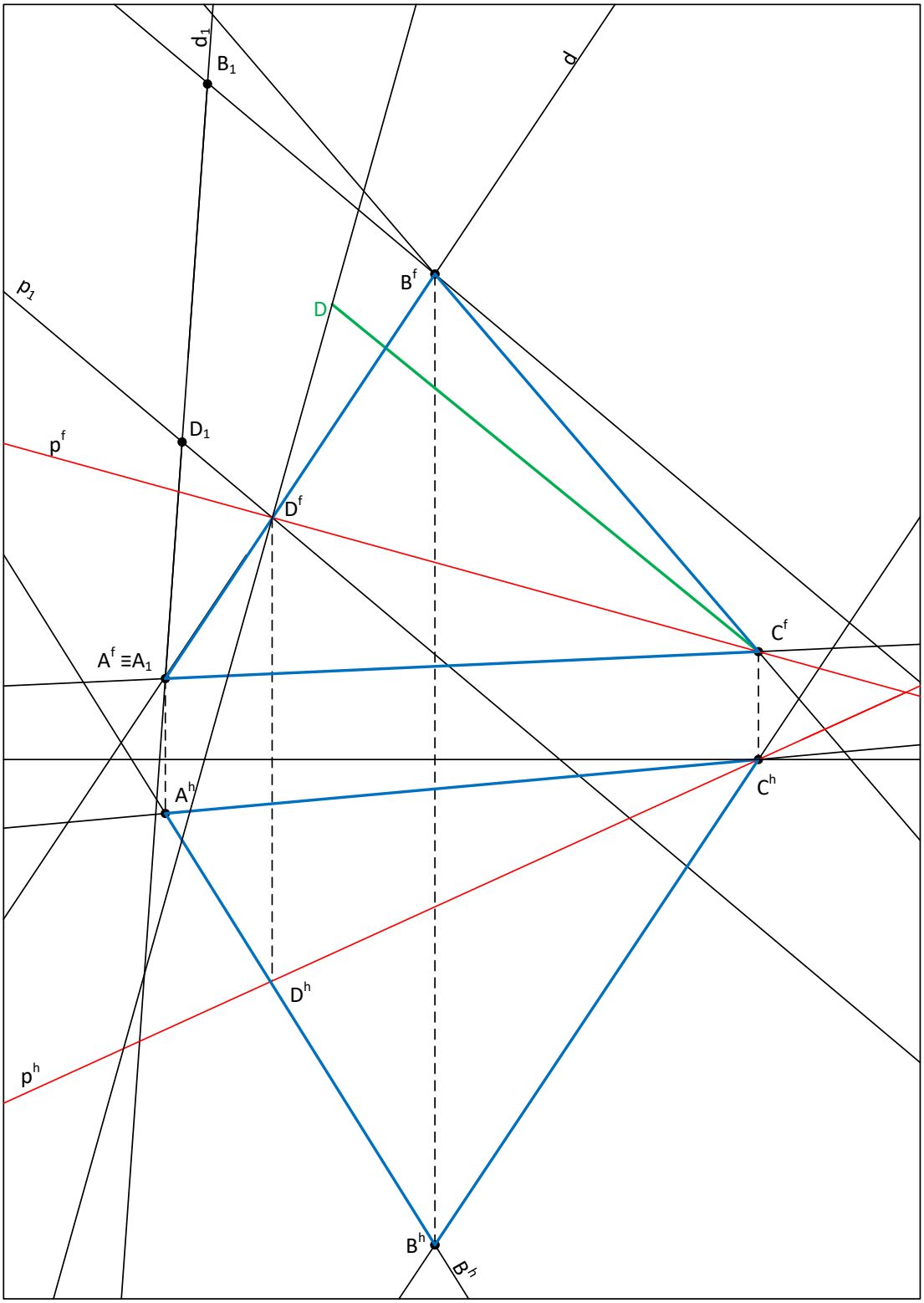
On demande de déterminer la distance du point C à la droite d passant par les points (AB).



Après avoir représenté toutes les données sur l'épure, nous référant à la construction d'un triangle connaissant les longueurs de ses côtés donnée au point précédant de cette illustration, nous pouvons utiliser notre méthode de la manière suivante :

Nous référant au problème donné au point précédent, pour déterminer la distance d'un point C à une droite passant par le point A et B sur l'épure on procède comme suit :

- Dans le plan V ou H on fait coïncider le point $A^f (ou\ A^h)$ avec A_1 et par ce point on trace une droite dans n'importe direction.
- A l'aide du compas, on porte sur cette droite la mesure du côté AB soit le B_1 ;
- On trace une droite passant par B_1 et $B^f (ou\ B^h)$
- Par le point A_1 on porte sur le segment $[A_1B_1]$ la mesure AD, soit le point D_1
- Par le point D_1 on trace une parallèle t à la droite passant par B_1 et $B^f (ou\ B^h)$
- $t^f \cap [A^f B^f]$ ou $t^h \cap [A^h B^h] = D^f (D^h)$



4 RESULTAT

- Cet article a comme objectif principal, faire le pont entre la géométrie analytique plane et la géométrie descriptive ; et son objectif spécifique est la résolution des problèmes laborieux de degré terminal de l'enseignement du cours de géométrie descriptive en degré moyen cas de la distance d'un point à une droite.
- Cet article servira aux élèves et à tout chercheur de contourner les notions de rabattement, de relèvement et de changement de plan de projection dans la détermination de la distance d'un point à une droite.

5 CONCLUSION

Nous avons développé une théorie qui pourra aider les apprenants de degré moyen voir même tout chercheur à contourner les notions à apprendre au degré terminal, comme le rabattement et le changement des plans de projection pour déterminer la distance d'un point à une droite par la méthode analytico-graphique. Ceci aidera non seulement les apprenants du secondaire mais aussi tout chercheur qui veut gagner en temps et être bien précis dans ses travaux.

La méthode analytico-graphique présente les avantages suivants :

- Gagner en temps et en calcul.
- Précision dans les calculs
- Contourner les notions difficiles à comprendre afin de résoudre un problème bien déterminé
- Anticiper les notions de degré supérieur, mieux les comprendre et les appliquer au degré inférieur sans savoir que ce sont ces notions qui sont appliquées,
- Faire le pont entre la géométrie analytique et la géométrie descriptive.

Il sied de signifier que le champ d'investigation est encore vierge, et il y a un si grand nombre de thématiques à développer car il n'existe pas jusque-là un document qui fait le pont entre la géométrie analytique et la géométrie descriptive à part celui de Faustin NGOYI NGOYI qui est chef de travaux à l'Institut Supérieur Pédagogique de Mbujimayi en sigle ISP / MJM en République Démocratique du Congo. Parmi ces thématiques nous pouvons citer :

- Détermination de l'orthocentre, du centre de cercle circonscrit, du centre de cercle inscrit, du centre de gravité par la méthode analytico-graphique.
- Construction de toutes les figures géométriques construites en géométrie descriptive par la méthode de MONGE en utilisant la méthode analytico-graphique.

Poursuivre des recherches dans ce domaine avec cette nouvelle méthode sera une découverte nouvelle dans les relations entre les branches mathématiques. A nous d'affirmer, qu'après avoir développé cette théorie, pour ceux nous auront lu, qu'il est possible de déterminer la distance d'un point à une droite sans passer par le rabattement ou par le changement des plans de projection.

REFERENCES

[1] AEBISCHER (B) (2011), Analyse Fonctions de plusieurs variables & géométrie analytique, Vuibert Paris
[2] DESBATS (1995), *Géométrie descriptive*, édition magnard N° 250, Paris
[3] GAUTIER (C) & cie (1973), *ALEPH 1 Algèbre / Géométrie 2ème CT*, Classiques Hachete Paris
[4] KAYEMBE KALALA & Cie (2001), *Maîtriser les maths 2 2ème année secondaire*, Edition Loyola Kinshasa
[5] MAKIADI NZUMBA (J.M) (1992), *Dessin scientifique 4ème Secondaire*, CRP, Kinshasa
[6] MAKILI OL'OMYEN Cie (1972), *Mathématiques géométrie 5ème*, Collection CREM Collection Saint Paul Limete-Kinshasa
[7] MUSELU WA MUSWIYI (1988), *Exercices de géométrie descriptive classe de sixième*, CRP. Collection Boboto
[8] LESSIEUR, CL JOULAIN (1973), *Mathématiques tomes 1, algèbre et géométrie*, Armand Colin Paris.
[9] VERSCHRAEGEN (5) (1972.), *Dessin scientifique 1 projection et constructions géométriques*, Editions JOSEPH VAN IN, & Cie, SA-LIER Bruxelles
[10] https://www.academia.edu/29794981/%C3%89cole_dArchitecture_de_Nancy_G%C3%89OMETRIE_DESCRIPTIVE

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1470-1478
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Influence de la date de semis et du régime hydrique sur la croissance et le rendement de deux variétés de niébé (KN1 et KVX 61-1) au Burkina Faso

[Influence of sowing date and water regime on growth and yield of two cowpea varieties (KN1 and KVX 61-1) in Burkina Faso]

Adama Pascal Kihindo, Badoua Badiel, Edmond Dondasse, and Gérard Zombre

Département de Biologie et Physiologie Végétale, Université Joseph KI-ZERBO, Laboratoire BIOSCIENCES, Equipe d'écophysiologie végétale, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Cowpea, *Vigna unguiculata* [L.] Walp, is an important seed legume in tropical and sub-tropical regions, particularly in sub-Saharan Africa. Despite its wide adaptation and importance, cowpea productivity is generally very low due to numerous biotic and abiotic constraints. In Burkina Faso, climatic hazards accentuate drought, which limits cowpea production. The aim of this study is to determine the water regime and periods of the year suitable for cold dry-season cultivation of cowpea varieties. To this end, two cowpea varieties (Vigna unguiculata L. Walp.) KN1 and KVX 61.1 were grown in six (06) liter pots in a real environment, during the cold period of the year. Trials were separated by an interval of fifteen (15) days. Each variety was subjected to three watering frequencies. During the study, environmental, growth and agronomic parameters were determined. The study revealed that in cold periods, low temperatures and the application of water regimes reduced most agronomic parameters in both cultivars. Nevertheless, KVX 61.1 produced throughout the study period, while KN1 did not flower when sown from December 09 onwards. The KN1 variety can be sown before December 9 for pod production during the cold off-season, and after that date for its tops, which rich in beneficial elements for livestock are feed. For these two varieties, watering every other day is the best watering regime to ensure good growth and better pod production. These results will serve as an indicator of period and variety for cold dry-season pod and leaf production of these cowpea varieties.

KEYWORDS: Cowpea, water regime, cold dry season, growth, production.

RESUME: Le niébé, *Vigna unguiculata* [L.] Walp, est une importante légumineuse à graines des régions tropicales et sub-tropicales; notamment en Afrique subsaharienne. Malgré sa large adaptation et son importance, la productivité du niébé est généralement très faible à cause de nombreuses astreintes biotiques et abiotiques. Au Burkina Faso, les aléas climatiques accentuent la sécheresse qui limite la production du niébé. L'objectif de cette étude est de déterminer le régime hydrique et les périodes de l'année convenables à la culture de saison sèche froide de variétés de niébé. Pour ce faire, deux variétés de niébé (*Vigna unguiculata L. Walp.*) KN1 et KVX 61.1 ont été cultivées dans des pots de six (06) litres en milieu réel, durant la période froide de l'année. Les essais ont été séparés par un intervalle de quinze (15) jours. Chaque variété a été soumise à trois fréquences d'arrosage. Durant l'étude, les paramètres environnementaux, de croissance et agronomiques ont été déterminés. L'étude révèle qu'en période froide, les basses températures et l'application des régimes hydriques réduisent la plupart des paramètres agronomiques chez les deux cultivars. Néanmoins, la variété KVX 61.1 a produit des gousses durant tout le temps de l'étude alors la variété KN1 n'a pas fleurit lorsqu'elle est semée à partir du 09 décembre. La variété KN1 peut être semée avant le 9 décembre pour la production de gousses en période de contre saison froide et au-delà de cette date pour ses fanes riches en éléments bénéfiques dans l'alimentation du bétail. Pour ces deux variétés, l'arrosage tous les deux jours constitue le meilleur régime hydrique garantissant une bonne croissance et une meilleure production de gousses. Ces résultats serviront d'indicatif de période et de variété pour la production de gousses et de feuilles en saison sèche froide de ces variétés de niébé.

MOTS-CLEFS: Niébé, régime hydrique, saison sèche froide, croissance, production.

Corresponding Author: Adama Pascal Kihindo

1 INTRODUCTION

L'agriculture des pays d'Afrique Subsaharienne est caractérisée par sa faible productivité. Au Burkina Faso, les faibles rendements des cultures sont souvent expliqués par les conditions pluviométriques défavorables, la pauvreté naturelle des sols en éléments nutritifs [1]. Cette fragilité aux variations climatiques est accentuée par la faible aptitude d'adaptation des systèmes culturaux [2]. Il y'a donc nécessité d'adapter les systèmes de culture Burkinabè aux changements climatiques présents et à venir. Car, les spécialistes du climat prédisent une augmentation des températures moyennes de 0,8°C à l'horizon 2025 et de 1,7°C à l'horizon 2050 ainsi qu'une diminution de la pluviométrie de -3,4% en 2025 et de -7,3% en 2050 [3]. L'adoption de la culture de saison sèche froide est une stratégie pouvant s'inscrire dans ce cadre. Selon [4], le volume annuel moyen (1960-1990) des précipitations sur l'ensemble du pays est estimé à 206,9 milliards de m^3 dont 165,9 milliards de m^3 d'évaporation, soit 80% et seulement 5 milliards de m^3 sont exploitées par la population. De plus, la pratique de l'agriculture en saison sèche (qui dure huit à neuf mois), réduirait le chômage des jeunes [5]. Selon [6], les carences en protéine de la population sont de 57%. Ce qui entraine des carences protidiques notamment chez les enfants. La culture du niébé (*Vigna unguiculata (*L). Walp) en saison sèche froide avec le recueil d'eau de la précédente saison pluvieuse pourrait contribuer à lutter contre cette insécurité alimentaire qui s'accentue avec acuité [7]. Compte tenu de sa grande qualité nutritionnelle, le niébé permet de conjuguer la lutte contre la famine, la malnutrition et le développement de l'élevage [8]. En effet, ses graines représentent une précieuse source de protéines végétales, de vitamines et de revenus pour l'homme tandis que ces fanes constituent du fourrage pour le bétail. De plus, par sa capacité à fixer l'azote de l'atmosphère grâce au processus de la fixation symbiotique, cette légumineuse permet d'améliorer le bilan de l'azote dans les systèmes de cultures [9] et [10]. Sa présence dans les systèmes de culture est une opportunité pour améliorer la fertilité des sols et les rendements des cultures [1]. Bien que le niébé soit apte à la culture de saison sèche froide, le choix des dates de semis a un impact sur le rendement du niébé. Selon [11], [12], [13], [14] et [15], les dates de semis ont un effet significatif sur la croissance et le développement (rendement) du niébé.

Cette étude se rapporte à évaluer l'incidence des dates de semis et l'impact des régimes hydriques sur la croissance et la productivité de deux variétés de niébé au Burkina Faso en culture de saison sèche froide. Cela dans le but de guider les producteurs sur les sur le choix des périodes de semis et les fréquences d'irrigation permettant d'optimiser les rendements du niébé en culture de saison sèche froide.

2 MILIEU, MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MILIEU

L'étude a été menée dans le jardin expérimental de l'UFR/SVT situé dans le campus de l'Université Joseph KI-ZERBO de Ouagadougou. La parcelle est située à 319 m d'altitude, 12° 22' 45,6" de latitude Nord et 001°29' 52,3" de longitude Ouest. La pluviométrie annuelle de la zone est comprise entre 600 et 900 mm [16]. Au total huit (08) essais ont été conduits du 10 octobre au 03 mai en conditions naturelles d'éclairement, de température et d'hygrométrie.

Les plus faibles températures de l'air et du sol ont été observées aux dates de semis des 9 (D3) et 24 novembre (D4) et du 9 décembre (D5) à 6 heures. En revanche, les plus fortes humidités relatives ont été enregistrées à la même heure par le 1er (D1) et le 2ème essai (D2) (tableaux 1 et 2). Ces forts taux d'humidités relatives de l'air s'expliquent par le fait que ces essais ont été lancées juste à la sortie de la saison pluvieuse.

La composition de la terre utilisée est consignée dans le tableau 3

Tableau 1. Variation moyenne de la température et de l'humidité relative de l'air des 8 essais

Période / Essai	6 heures		13 heures		18 heures	
	T°C	HR%	T°C	HR%	T°C	HR%
1er Essai (D1)	16,88±5,09c	78,25±4,11b	38,99±2,42f	38,14±5,39h	24,50±3,31e	69,34±7,5a
2e Essai (D2)	15,53±4,19	78,44±3,3a	38,84±2,45g	39,11±4,77g	24,07±2,98ef	69,02±6,06b
3e Essai (D3)	14,14±3,36g	77,94±3,3c	38,68±2,48h	39,62±4,51f	23,77±2,78f	66,90±6,76c
4e Essai (D4)	14,08±3,45h	77,23±3,5d	39,12±2,99e	40,82±4,54e	24,46±3,62e	65,18±7,10d
5e Essai (D5)	14,95±4,56f	77,11±3,32e	39,93±3,6d	41,16±4,5d	25,68±4,52d	63,72±6,11f
6e Essai (D6)	16,55±5,53d	76,65±3,16f	40,74±3,99c	42,08±4,04c	26,97±4,83c	63,60±5,98g
7e Essai (D7)	18,83±5,7b	76,22±2,82g	41,78±3,6b	42,96±3,99b	28,75±4,03b	63,36±5,39h
8e Essai (D8)	20,95±5,26a	76,02±2,72h	42,38±3,42a	43,98±4,22a	30±3,07a	63,97±5,27e

T°C= température en degré Celsius; HR%= humidité relative en pourcentage; les valeurs suivies par une même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%; p: probabilité.

Tableau 2. Variation moyenne de la température du sol des 8 essais des pots arrosés respectivement tous les 2, 3 et 4 jours.

Période / Essai	6H (T°C)			14H (T°C)			18H (T°C)		
	2jours	3jours	4jours	2jours	3jours	4jours	2jours	3jours	4jours
1er Essai (D1)	19±0,3bc	18,5±0,40d	24±0,43a	39±0,4d	41±0,32cd	44,5±0,4c	33,5±0,5f	35,5±0,3f	36±0,2f
2e Essai (D2)	15±0,02d	16±0,1e	18,5±0,4d	40,5±0,3c	42±0,33c	42,5±0,3d	41,5±0,3b	43,5±0,3b	44±04b
3e Essai (D3)	9±0,30f	10,5±0,32g	11±0,39f	35±0,2e	36±0,36e	39±0,6f	31,5±0,2g	33,5±0,2g	33,5±053g
4e Essai (D4)	13±0,32e	13,5±0,35f	13,5±0,36e	39,5±0,6cd	40±0,4d	40,5±0,4e	34±0,8f	36,5±0,4e	38±0,45e
5e Essai (D5)	18,5±0,33c	18±0,31d	19±0,37d	40,5±0,2c	42±0,39c	43,5±0,3c	36±0,43e	37±0,7e	38,5±0,2e
6e Essai (D6)	22,5±0,2a	23,5±0,2a	23,5±0,09a	43,5±0,4b	43,5±0,4b	45,5±0,4b	39±0,6d	40±0,32d	41±0,23d
7e Essai (D7)	20±0,3b	20,5±0,36c	21±0,4c	44,5±0,4a	46,5±0,4a	47±0,6a	45±0,36a	46,5±0,6a	46,5±0,2a
8e Essai (D8)	22,5±0,25a	22,5±0,25b	22,5±0,4b	40,5±0,2c	43,5±0,5b	44±0,36c	40,5±0,4c	41,5±051c	42,5±0,3c
P	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

T°C= température en degré Celsius, les valeurs suivies par la même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%; p: probabilité.

Tableau 3. Caractéristiques physico-chimiques de la terre de culture fournie par le BUNASOL

Matière organique totale	Carbone total	Azote total	Phosphore total	Phosphore assimilable	Potassium total
2,958%	1,716%	0,135%	472,1ppm	45,64ppm	1701,02ppm

Source: Bureau National des Sols

2.2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.2.1 MATÉRIEL BIOLOGIQUE

L'étude a porté sur deux variétés de niébé [KVX 61.1 (V1) et KN1 (V2)] produites par l'Institut National de l'Environnement et de la Recherche Agronomique (INERA, station Kamboissin). Il s'agit de variétés de cycle court dont quelques caractéristiques essentielles sont renseignées dans le tableau 4.

Tableau 4. Caractéristiques agronomiques des variétés de niébé semées en cultures de contre-saison

Caractéristiques / Variétés	KVX 61.1 (V1)	KN1 (V2)
Origine	Burkina Faso	Burkina Faso
Port	érigé	érigé
Durée du cycle (jour)	70	65-70
Date de floraison (JAS)	43-45	45-50
Croissance	déterminée	indéterminée

JAS= jour après semis

2.2.2 MÉTHODE DE CULTURE

Les différents essais ont été menés selon un dispositif en split splot à 2 facteurs à 4 répétitions. Le premier facteur est la variété (02 variétés) et le deuxième facteur est le régime hydrique (03 régimes hydriques). Afin d'observer l'effet de la date de semis sur le comportement du niébé, nous avons installé huit (08) essais à intervalle de quinze (15) jours; soit le 10 octobre (D1); le 25 octobre (D2); le 09 novembre (D3); le 24 novembre (D4); le 09 décembre (D5); le 24 décembre (D6); 08 janvier (D7) et le 23 janvier (D8). Ces essais avaient des protocoles expérimentaux sont identiques. Chaque bloc se compose de 36 pots dont 06 pots par unité expérimentale et un même régime hydrique est appliqué aux plantes du même bloc. A partir du 15ème JAS la quantité d'eau apportée aux plantes était de 1000 ml par pot et par arrosage dans tous les traitements au cours de l'essai de la période froide. Les semis ont été effectués à raison de 04 graines par pot. Un démariage à 1 plant par pot a été réalisé le 14ème jour après semis (JAS). Les pots ont été régulièrement sarclés. Trois fréquences d'arrosage ont été appliquées. Ainsi, les plantes ont été irriguées chaque deux, trois ou quatre jours.

2.2.3 PARAMETRES OBSERVES ET TRAITEMENT DES DONNEES

Pendant l'étude, la température et l'humidité relative de l'air ont été relevées quotidiennement à 6h, 13h et à 18h pour évaluer l'influence du facteur abiotique. Les mesures ont été réalisées à l'aide d'un thermohygromètre de marque HANNA HI 9564. La hauteur des plantes et le nombre de feuilles au 60ème jour après semis (JAS) ont été déterminés, le nombre de fleurs apparues et avortées a été compté. La productivité des variétés sous l'effet des facteurs cités plus haut, a été évaluée par la détermination du nombre et du poids des gousses produits par les plantes. Les biomasses sèches racinaires et aériennes de chaque plant et pour chaque traitement ont été déterminées après séchage des racines, tiges et feuilles à l'étuve à 100°C pendant deux jours pour déterminer le rapport poids sec de la partie racinaire sur poids sec de la partie aérienne (PR/PA).

Les moyennes et les écart-types sont déterminés à l'aide du logiciel EXCEL version 2010 et l'analyse de variance (ANOVA) est faite à l'aide du logiciel XLSTAT version 7.5.2. La mise en évidence des différences significatives entre les moyennes a été faite par le test de Tukey au seuil de 5% de probabilité.

3 RÉSULTATS

3.1 INCIDENCE DE LA DATE DE SEMIS SUR LA CROISSANCE ET LE DEVELOPPEMENT DE KN1 ET KVX 61.1

Les résultats de l'analyse de variance nous révèlent que la date de semis a affecté les paramètres de croissance et agronomiques. En effet, les variétés KN1 (V2) et KVX 61.1 (V1) semées en D1 (tableau 5), ont réalisé la plus grande ($p<0,0001$) croissance. Ces plantes ont eu des hauteurs respectives de 56,5±3,87 cm et 43,25±1,41 cm. Par contre, une faible croissance a été observée chez les plantes des deux variétés issues des semis du D6 (tableau 5). Les variétés V2 et V1 semées en D6 ont eu des tailles respectives de 31±0,51 cm et 24±0,99 cm. Les résultats de l'analyse de la variance montrent qu'il existe une différence très significative ($p<0,0001$) entre les dates de semis quant au paramètre nombre de feuilles par plante au 60ème jour après semis (JAS) chez V2 et chez V1. En effet, la température élevée et l'humidité relative faible ont entrainé une production accrue de feuilles chez V2 et V1 semées en D8, respectivement 38±0,6 et 20±0,96, alors que le semis en D3 est associé à une baisse de la production foliaire (15,91±1,01) pour V2 et (14,5±0,9) pour V1. Les variétés V2 et V1 semées en D5, significativement ($p<0,0001$) produit plus de racines avec un rapport partie racinaire sur partie aérienne respectivement égale à 0,71±0,04 (V1) et 0,65±0,03 (V2).

Les plantes de la variété V1 semées en D1 et en D8 ainsi que celles de la variété V2 issues des semis en D1, D2 et D8 ont significativement plus produit de biomasse totale contrairement aux autres dates de semis (tableau 5). On a observé une différence significative ($p<0,0001$) du nombre de JAS avant floraison entre les différentes dates de semis. Chez les plantes des deux variétés issues des semis en D4, on a observé un retard marqué de floraison. En effet, la variété V2 semée en D4, a fleuri à 71 JAS pour une floraison prévue entre 45 et 50 JAS. La variété V1 semée en D4 a connu un retard de floraison avec 74 JAS pour une floraison prévue entre 43 et 45 JAS. V1 semé-en D3, D4, D5 a eu respectivement 3,02±0,02 fleurs avortées, 3±0,04 fleurs avortées et 3,09±0,02 fleurs avortées (tableau 4). La variété V2 a cessé de fleurir à partir du D5 (tableau 4). Pour le paramètre rendement, les plantes de la variété V1 issues des semis en D1, D2 et D8 ont produit plus de gousses ($p<0,0001$) ayant les poids les plus élevés. Les plantes de la même variété issues des semis en D3, D4, D5, D6 et D7, ont produit moins de gousses avec des poids plus faibles. Quant à la variété V2 elle a produit plus lorsqu'elle est semée en D1 et n'a plus produit à partir du D5.

Tableau 5. ***Influence de la date de semis sur la croissance et le rendement du niébé***

Paramètres	Dates								P	
	D1		D2		D3		D4			
	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2
Hauteur des plantes (cm)	43,25±1,41a	56,5±3,87a	36,25±2,08b	43,75±0,5d	32,5±2,5d	35,25±1,32g	35±1,36c	45±3,095c	0,0001	0,0001
Nombre de feuilles	16,5±0,74c	24±2,16c	13,49±0,81e	19,95±2,09e	14,5±0,9d	15,91±1,01g	15±0,95d	21±0,23d	0,0001	0,0001
Jours floraison	42±1,10e	47±2,14c	42±0,9e	47±3,1c	56±0,01d	59±2,10b	74±2,3a	71±1,75a	0,0001	0,0001
Fleurs avortées	1,15±0,02c	3,04±0,008a	2,08±0,01b	2±0,02c	3,02±0,021a	3,15±0,01a	3±0,04a	2,85±0,01b	0,0001	0,0001
Rapport PR/PA	0,17±0,25f	0,21±0,003g	0,34±0,12d	0,62±0,21b	0,51±0,282c	0,56±0,01c	0,29±0,03e	0,52±0,017d	0,0001	0,0001
Biomasse totale (g)	11,62±0,07a	22,69±0,89a	8,06±0,04f	20,25±1,77a	8,85±0,99c	17,12±0,065b	7,29±1,3g	12,14±2,1bc	0,0001	0,0001
Nombre de gousse par plante	8±0,02a	12±0,81a	8±0,4a	8±0,81b	4±0,5b	8±0,81b	3,5±0,01b	3±0,00c	0,0001	0,0001
Poids de gousse par plante (g)	5,8±0,01a	12,66±0,01a	5,75±0,04a	8,44±0,01b	2,85±0,01c	8,4±0,01b	2,6±0,01c	3,7±0,00c	0,0001	0,0001
Hauteur des plantes (cm)	31,5±3,2d	38±0,74f	24±0,99f	31±0,51h	30±2,03e	40,5±0,81e	32±0,66d	45,75±2,3b	0,0001	0,0001
Nombre de feuilles	31±1,6a	17±0,9f	15±1,023d	18±0,02f	17±0,25c	27,25±0,6b	20±0,96b	38±0,6a	0,0001	0,0001
Jours floraison	65±3,2b	0d	66±1,6b	0d	59±1,12c	0d	61±0,7c	0d	0,0001	0,0001
Fleurs avortées	3,09±0,02a	0d	1,8±0,01bc	0d	1,74±0,01bc	0d	1,07±0,01c	0d	0,0001	0,0001
Rapport PR/PA	0,71±0,04a	0,65±0,03a	0,56±0,04b	0,56±0,04c	0,34±0,10d	0,45±0,02e	0,32±0,01de	0,42±0,001f	0,0001	0,0001
Biomasse totale (g)	8,75±0,03d	10,59±0,02c	8,56±0,62e	12,26±0,01bc	8,07±0,36f	14,27±0,6b	10,67±0,2b	22,05±0,2a	0,0001	0,0001
Nombre de gousse par plante	3±0,4b	0d	2,5±0,001b	0d	5±0,91b	0d	8±0,8a	0d	0,0001	0,0001
Poids de gousse par plante (g)	2,49±0,02c	0d	1,86±0,02d	0d	3,75±0,04b	0d	5,75±0,03a	0d	0,0001	0,0001

Dans chaque paramètre, les valeurs ayant une même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de TUKEY au seuil de 5% pour la même variété. D1: 10 octobre; D2: 25 octobre; D3: 9 novembre; D4: 24 novembre; D5: 09 décembre; D6: 24 décembre; D7: 08 janvier; D8: 23 janvier. V1: KVX 61.1; V2: KN1. P: probabilité. PR/PA: rapport partie aérienne sur partie racinaire.

3.2 IMPACT DU REGIME HYDRIQUE SUR LE COMPORTEMENT DES DEUX VARIETES DE *VIGNA UNGUICULATA* L. WALP

Le régime hydrique a influencé les paramètres de croissance des deux variétés V1 et V2 tels que la hauteur et le nombre de feuilles (tableau 6). R1 (arrosage tous les deux jours) a permis une bonne croissance et une plus grande production foliaire. On a observé plus de chutes de fleurs chez les plantes de la variété V1 arrosées tous les trois jours (R2) contrairement chez la variété V2 où il n'y a pas eu de différence significative entre les différents régimes hydriques (P=0,832). L'arrosage tous les quatre jours (R3) a entraîné chez la variété V1 une importante production de biomasse racinaire au détriment de la biomasse aérienne. R1 a permis une plus grande production de biomasse totale et de gousses au niveau des deux variétés. R1 et R2 ont permis un assez bon remplissage des gousses de la variété V1.

Tableau 6. ***Influence du régime hydrique sur la croissance et le rendement du niébé***

Paramètres	Régime hydrique						P	
	R1		R2		R3			
	V1	V2	V1	V2	V1	V2	V1	V2
Hauteur des plantes (cm)	33,063a	41,969a	30,969a	37,719b	28,188b	35,188b	0,003	0,0001
Nombre de feuilles	16,061a	24,395a	13,635b	19,843b	11,041b	15,333c	0,0001	0,0001
Jours floraison	58,125a	28,000a	58,750a	27,750a	59,875a	29,125a	0,754	0,98
Fleurs avortées	2,119b	1,376a	3,531a	1,401a	2,588b	1,188a	0,0001	0,832
Rapport PR/PA	0,387b	0,447a	0,365b	0,430a	0,625a	0,430a	0,0001	0,241
Nombre de gousse par plante	5,250a	3,875a	3,625b	2,625ab	1,625c	1,125b	0,0001	0,0001
Poids de gousse par plante (g)	3,856a	4,150a	2,63b	3,653a	0,753c	1,789a	0,0001	0,075

Dans chaque paramètre, les valeurs ayant une même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de TUKEY au seuil de 5% pour la même variété. Rl: arrosage tous les deux jours; R2: arrosage tous les trois jours; R3: arrosage tous les quatre jours. V1: KVX 61.1; V2: KN1. P: probabilité. PR/PA: rapport partie aérienne sur partie racinaire.

3.3 INFLUENCE DE LA VARIETE DE *VIGNA UNGUICULATA* L. WALP SUR LES PARAMETRES DE CROISSANCE ET DE RENDEMENT

Les résultats de l'analyse de variance montrent que la variété V2 a enregistré une croissance et une production foliaire significativement (p<0,0001) plus importantes que la variété V1. La variété V2 a produit également plus de biomasse totale que la variété V1. On a pu constater que quelle que soit la variété de niébé la valeur du rapport PR/PA est la même. En revanche V1 a connu un retard de floraison et enregistré plus de fleurs avortées que V2. Pourtant les résultats de l'analyse de variance du nombre de gousses révèlent que la variété V1 a produit plus de gousses. Mais le poids de gousses de la variété V1 n'est pas significativement différent (P=0,111) de celui de la variété V2 (tableau 7).

Tableau 7. ***Influence de la variété de Vigna unguiculata L. Walp sur les paramètres de croissance et de rendement du niébé***

Paramètres	Variétés		P
	V1	V2	
Hauteur des plantes (cm)	30,740b	38,292a	0,0001
Nombre de feuilles	13,579b	19,857a	0,0001
Jours floraison	58,917a	28,292b	0,0001
Fleurs avortées	2,746a	1,322b	0,0001
Rapport PR/PA	0,404a	0,439a	0,378
Nombre de gousse par plante	3,500a	2,542b	0,035
Poids de gousse par plante (g)	2,416a	3,197a	0,111
Biomasse totale (g)	7,134b	11,41a	0,0001

Pour chaque paramètre, les valeurs ayant une même lettre ne sont pas significativement différents selon le test de TUKEY au seuil de 5%. V1: KVX 61.1; V2: KN1. P: probabilité. PR/PA: rapport partie aérienne sur partie racinaire.

4 DISCUSSION

Durant les essais en D7 et D8, les plantes ont subi des températures élevées et une humidité relative faible. Ces conditions atmosphériques difficiles accentuent l'effet du stress hydrique occasionné par le déficit hydrique appliqué. Les plus faibles températures ont été observées aux dates de semis D3, D4, et D5. En revanche les plus fortes humidités relatives ont été enregistrées par D1 et D2. Cette période qui correspond à la fin de la saison des pluies bénéficie alors d'une atmosphère encore plus humide.

Les résultats de l'étude ont montré que le semis en début de la période froide (D1) entraine une forte croissance chez les deux variétés (43,25 ± 1,41 cm pour KVX 61.1 (V1) et 56,5 ± 3,87 cm pour KN1 (V2)) ainsi qu'une grande production de biomasse et de gousses avec des poids plus élevés. Par contre, une production accrue de feuilles a été constatée pour le semis en fin de période froide (D8). Les deux variétés semées en D5, ont eu moins de production foliaire et de biomasse totale. Cela serait dû aux basses températures (du sol et de l'air) qui ont inhibé la croissance et réduit la photosynthèse. Les basses températures du sol agissent également sur la croissance des parties aériennes des plantules: réduction de la hauteur des tiges et de leur vitesse d'allongement [17]. En effet, les premières étapes de croissance des plantules sont contrôlées en réalité par la température du milieu radiculaire en raison de la localisation près de la surface du sol, des zones méristématiques responsables de la croissance des tiges et des feuilles. [18] a montré que la température de ces zones méristématiques est plus étroitement liée à la température du sol qu'à la température de l'air. Selon [19], les basses températures appliquées à l'apex, arrêtent la croissance foliaire en stoppant les divisions et/ou l'élongation cellulaire. [20] ont montré également que les effets des basses températures du sol sur la croissance foliaire sont dus à la fois à la réduction de l'absorption de l'eau par les racines et à l'action directe de la température sur les zones méristématiques. Les deux variétés, semées à partir de D3, ont souffert des conditions thermiques défavorables (basses températures) qui ont réduit leur croissance. Le retard initial de croissance a eu une incidence sur le rendement final par la réduction de la production de gousses. En effet, le passage des plantules de la phase hétérotrophe à la phase autotrophe se fait progressivement avec le déploiement des premières feuilles qui assurent la mise en place d'un dispositif photosynthétique. L'acquisition progressive de l'autotrophie dépend des effets de la température sur la photosynthèse (alimentation carbonée, apports énergétiques) et l'établissement ou le maintien de l'appareil photosynthétique [21]. La diminution de la photosynthèse est due partiellement à l'effet direct de la température sur la croissance des jeunes feuilles en expansion. L'arrêt ou le ralentissement de leur croissance entraîne, en effet, une réduction de la taille du puits et une diminution de la translocation des assimilât par les feuilles plus âgées. Il s'en suit une accumulation d'hydrates de carbone au niveau des sites de photosynthèse avec pour conséquence la réduction de la photosynthèse [22]. Les systèmes enzymatiques responsables de la photosynthèse joueraient également un rôle important dans la réduction de photosynthèse observée à basse température [23]. En effet, les basses températures diminuent l'activité de deux enzymes localisées dans les chloroplastes du mésophylle, la NADP-malate-déshydrogénase et la pyruvate-Pi-dikinase [24]. La pyruvate-Pi-dikinase, est une enzyme particulièrement importante pour la photosynthèse chez les plantes de type C4 (niébé)

chez lesquelles, elle se dissocie à basse température en une forme inactive [25]. L'inactivation de cette enzyme jouerait un rôle important dans la réduction de photosynthèse observée à basse température [26]. Les plantes issues des semis en D3, ont eu une forte production de biomasse racinaire (PR/PA élevé). Ce phénomène serait dû à une allocation des produits de la photosynthèse aux racines au détriment de la partie aérienne. Le poids sec des racines maintenues au froid est plus important que celui des racines maintenues dans un sol chaud [27]. Les basses températures ont entraîné également, chez les variétés semées en D3, D4 et D5 un retard de floraison avec plus de chute de fleurs. L'augmentation du nombre de jours à la floraison serait due à la plasticité phénologique du niébé qui étale sa floraison dans le but d'échapper aux contraintes environnementales. En effet, la plasticité phénologique du niébé permettrait à la plante d'étaler sa floraison et de produire des rendements en graines appréciables. [28] et [29] ont souligné que cette plasticité du cycle est sous le contrôle de la photopériode et serait en partie régulée par la température.

Le régime hydrique a influencé la croissance et la production foliaire chez les deux variétés. Le régime hydrique R1 a permis une augmentation importante de la hauteur et du nombre de feuilles au niveau des deux variétés grâce à la disponibilité permanente d'eau. La réduction de la croissance pour R2 et R3, serait dû à une alimentation hydrique insuffisante. Nos observations corroborent également ceux de [30] qui ont remarqué que la hauteur du niébé en conditions d'alimentation hydrique limitante est significativement réduite. En effet, selon [31], le niébé ajuste sa taille au volume d'eau disponible en réduisant les nœuds sur les ramifications et les phytomères sur la tige principale. Au niveau foliaire, le stress hydrique provoque la réduction de la surface transpirante due à une réduction de la division et de l'expansion cellulaire [32]. R1 a réduit le nombre de fleurs avortés comparativement à R2 et R3. Cela serait dû au fait que contrairement à R2 et R3, R1 apporte plus d'eau au sol. Cette eau permet une meilleure circulation des photoassimilâts mais également la régulation de la température interne par le biais de la transpiration. Les plantes sous les régimes R2 et R3 ont donc subi un stress hydrique permanent qui aurait augmenté le taux de fleurs avorté. R1 a permis une meilleure production de gousses par plant avec un poids de gousses élevé que R2 et R3. [15] a montré que les rendements en grains sont proportionnels à la quantité d'eau reçue par les plantes durant tous les stades de développement.

Des deux variétés utilisées, KN1 (V2) a produit plus de biomasse végétative. Cette variété aurait réorienté ses activités métaboliques vers le développement de la partie aérienne. En effet, [33] indique que la réponse physiologique des plantes face aux contraintes environnementales est liée aux potentialités génétiques de l'espèce. Selon [34], ces transformations morphologiques et physiologiques comme la croissance de la partie aérienne (tige et feuilles) au détriment de la productivité correspondent à l'adaptation. Cette croissance végétative rapide avec une grande surface foliaire pourrait expliquer la non productivité de V2. Cela aurait accéléré l'utilisation de l'eau et la diminution des réserves en eau du sol, l'exposant à un déficit hydrique au milieu ou à la fin de son cycle de développement [35]. Le développement important des ramifications aériennes peut être considéré comme le résultat d'un recrutement au sein d'une banque de bourgeons produite et portée par la plante. Pour une plante, ce recrutement est le résultat de compromis entre les facteurs génétiques et l'action des facteurs abiotiques, ici la température. Le fonctionnement de cette banque de bourgeons a des conséquences directes sur l'aptitude de la plante à produire fleurs, fruits et graines [36]. L'influence de la température sur le fonctionnement de cette banque de bourgeons a rendu KN1 inapte à la floraison à certaines dates de semis.

5 CONCLUSION

L'étude a mis en évidence les réponses agromorphologiques de KVX61.1 et KN1 en culture de saison sèche froide aux différentes dates de semis et aux régimes hydriques. Il ressort de cette étude que les semis à partir du mois de novembre entrainent une forte production foliaire, un fort taux de fleurs avortés et une faible productivité. Selon cette étude, le mois d'octobre constitue la bonne période de saison sèche froide pour le semis de ces deux variétés du niébé. Par ailleurs, l'arrosage de tous les deux jours à la capacité au champ constitue la meilleure fréquence d'irrigation permettant de garantir un bon rendement. De ces deux variétés étudiées, KN1 est la plus productive au mois de semis propice (octobre) en culture de saison sèche froide avant le mois de décembre. Par contre, elle produit plus de biomasse végétale lorsqu'elle est semée en fin de saison sèche froide (23 janvier); ses feuilles peuvent donc servir pour l'alimentation humaine et animale. Compte tenu de ces résultats, il serait plus judicieux de bien choisir sa variété de niébé, la date de semis et le régime hydrique adéquat pour la culture de saison sèche car certaines variétés (KN1) ne donnent pas de rendement satisfaisant en certaines périodes de saison sèche froide.

REFERENCES

[1] BADO B. V., 2002. Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso, 184p.

[2] OZER A. et OZER P., 2005. Désertification au Sahel: crise climatique ou anthropique ?« Bull. Séanc. Acad. R. Sci. Outre-Mer Meded. Zitt. K. *Acad. Overzeese Wet.* Vol. 51, pp. 395-423.

[3] SAVADOGO M., SOMDA J., SEYNOU O., ZABRE S. & NIANOGO A. J., 2011. Catalogue des bonnes pratiques d'adaptation aux risques climatiques au Burkina Faso. Ouagadougou, Burkina Faso: UICN Burkina Faso, 60p.

[4] MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'EAU B., 2001b. *Etat des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leur cadre de gestion,* Rapport version finale, Burkina Faso - Mai 2001, 243 p.

[5] INSD, Enquête Burkinabé sur les Conditions de Vie des Ménages, Institut National de la Statistique et de la Démographie, Ministère de l'économie et des finances 2003.

[6] DGPER, Direction Générale de Promotion de l'Économie Rurale, Rapport Comité de Prévision de la Situation Alimentaire, 2011.

[7] KIHINDO A.P., BAZIE H.R., OUEDRAOGO F.R., SOME P.P., ZOMBRE G., TOZO K., 2015. Effet de la date de semis et du régime hydrique sur la réponse agromorphologique de deux variétés de niébé (KN1 et KVX 61.1) au Burkina Faso. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 12: 564-573.

[8] BOUKAR O., FATOKUN C. A., ROBERTS P. A., ABBERTON M., HUYNH B. L., CLOSE T. J., BOAHEN S. K., HIGGINS T. J. V. and EHLERS J. D., 2015. «Cowpea», in Grain Legumes, Series.

[9] WANI S. P., RUPELA O. P. and LEE K.K., 1995. Sustainable agriculture in the semi-arid tropics through biological nitrogen fixation in grain legumes. Plant and Soil 174: 29-49.

[10] CHALCK, P. M., 1998. Dynamics of biologically fixed N in legume-cereal rotations: a review. *Aust. J. Res*., 49: 303-316.

[11] USENI S.Y., MAYELE K., KASANGIJ A.K.P. et NYEMBO K.L., 2014. «Effets de la date de semis et des écartements sur la croissance et le rendement du niébé (Vigna unguiculata L. Walp) à Lubumbashi, RD Congo». *International Journal of Innovation and Applied Studies,* Vol.6, No. 1, pp 40-47.

[12] NYABYENDA P., 2005. Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude d'Afrique. *Les presses agronomiques de Gembloux,* Belgique, 253 p.

[13] MAKUNGU M., 2002 Effect of cowpea planting date and row arrangement on crop growth and yield in maize (*Zea mays* L.) and cowpea (*Vigna unguiculata* L. (Walp)) intercrop. Master of sciences thesis, University of Zambia, 84p.

[14] KONATE Z., GALA B.T.J., MESSOUM F.G., SEKOU A., YAO-KOUAME A., CAMARA M. et KELI Z.J., 2012. Les cultures du soja et du niébé, de bons précédents pour la culture du riz pluvial en Côte d'Ivoire (fiche technique). *Journal of Applied Biosciences,* vol 60, pp 4433-4437.

[15] ENYI B.A.C., 1971. A spacing/time of planting trial with cowpea (*Vigna unguiculata* L. (Walp)). *Ghana journal of science,* vol 13, n°l, pp 78-85.

[16] THIOMBIANO A., KAMPMANN D., 2010. Atlas de la biodiversité de l'Afrique de l'Ouest, Tome II: Burkina Faso, Ouagadougou et Frankfurt/Main.

[17] BEAUCHAMP E. G. and LATHWELL D. J., 1967B. Effect of changes in root zone temperature on the subsequent growth and development of young corn plants. *Agron. J* 59: 189-193.

[18] WATTS W. R., 1972B. Leaf extension in *Zea mays*. II. Leaf extension in response to independent variation of the temperature of the apical meristem of the air around the leaves and of the root-zone. *J. Exp. Bot*. 76: 713-721.

[19] KLEINENDORST A. and BROUWER R., 1970. The effect of temperature on the root medium and of the growing point of the shoot on growth, water content and sugar content of maize leaves. Neth. *J. Agric. Sci.* 18: 140-148.

[20] BARLOW. E. W. R., BOERSMA. L. and YOUNG J. L., 1977. Photosynthesis transpiration and leaf elongation in corn seedlings at suboptimal soil temperatures. *Agron. J* 69: 95-100.

[21] BOURDU, R., 1983. Bases physiologiques de l'action des températures.//; Colloque Physiologie du maïs, INRA, AGPM, Royan. 404p.

[22] BARLOW E. W. R. and BOERSMA L., 1976. Interaction between leaf elongation, photosynthesis and carbohydrate levels of water-stressed corn seedlings. *Agron. J* 68: 923-926.

[23] SUGIYAMA T. & BOKU K., 1976. Differing sensitivity of pyruvate orthophosphate dikinase to low temperature in maize cultivars. *Plant and cell physiology, 17* (4), 851-854.

[24] TAYLOR A. O., SLACK C. R. and MEPHERSON. H. G., 1974. Plants under climatic stress. VI. Chilling and light effects on photosynthetic enzymes of sorghum and maize. *Plant Physiol*. 54: 696-701.

[25] HATCH M. D. and SLACK C. R., 1968. A new enzyme for the interconversion of pyruvate and phosphopyruvate and its role in the C4 dicarboxylic acid pathway of photosynthesis. *Biochem. J.* 106: 141-146.

[26] SUGIYAMA, T., SCHMITT. M. R., KU S. B. and EDWARDS G. E., 1979. Differences in cold lability of pyruvate-Pi-dikinase among C4 species. *Plant & Cell Physiol*. 20: 965-971.

[27] ATKIN R. K., BARTON G. E. and ROBINSON D. K., 1973. Effect of root-growing temperature on growth substances in xylem exudate of *Zea mays. J. Exp. Bot*. 79: 475-487.

[28] LAWN R., 1982B. Response of four-grain legumes to water stress in south-eastern Quennsland. II. Plant growth and soil water extraction patterns. *Aust. 1Agric. Res*. 33: 497-509.

[29] STEELE W.M. and MEHRA K.L., 1980. Structure, evolution and adaptation to farning systems and environments in Vigna. IN: Advances in legume science (R.L. Summerfield et A. H. Bunting eds) HMSO, London, pp.393-404, ISBN 0-85521-223-3.

[30] OGBONNAYA C. I., SARR B., BROU C., DIOUF O., DIOP N. N. and ROY-MACAULEY H., 2003. Selection of cowpea genotypes in hydroponics, pots and field for drought tolerance. *Crops Sci*. 43: 1114-1120.

[31] DIABY M. M., 2003. Inclinaison des feuilles: un indicateur de réponse variétale en conditions de sécheresse chez le niébé (Vigna unguiculata (L) Walp.). Mémoire DEA, Université Cheik Anta Diop, 43p.

[32] ZGALLAI H., 2007. Etude des caractères morphologiques des plantes de tomate soumises à un déficit hydrique en milieu hydroponique, *Sècheresse,* vol 18, Nº1: 57- 64.

[33] HAMIDOU F., 2006 Paramètres physiologiques, biochimiques et agronomiques pertinents pour les programmes d'amélioration et d'adaptation du niébé *(Vigna unguiculata* (L.) Walp.) au déficit hydrique. Thèse de doctorat, Université Ouagadougou, 169 p.

[34] VARTANIAN N. L. G., 1984. La notion d'adaptation à la sécheresse. *Bull. Soc. Bot. Fr*. vol131, pp 7-15.

[35] PASSIOURA J.B. et ANGUS J.F., 2010. Improving productivity of crops in water-limited environments. In Advances in Agronomy, Sparks DL (ed). *Academic Press*: Burlington, pp 37-75.

[36] JONGEJANS E., KROON H. et BERENDSE F., 2005. The interplay between shifts in biomass allocation and costs of reproduction in four grassland perennials under simulated successional change. *Oecologia,* vol 147, pp 369-378.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1479-1488
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Analyse de l'application des informations bioclimatiques dans la conception de bâtiments dans la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire)

[Analysis of the application of bioclimatic information in building design in the city of Abidjan (Ivory Coast)]

Amani Odilon KOUASSI, Conand Honoré KOUAKOU, Koffi Clément KOUADIO, and EMERUWA Edjikemé

Université Félix Houphouët Bobigny de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 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 development of the city of Abidjan in recent years has led to an explosion in the number of buildings. However, hygrothermal comfort in these buildings leaves much to be desired. These buildings therefore consume large amounts of energy to restore comfort. This energy expenditure contributes to global warming through the emission of greenhouse gases. The aim of this study is to check whether buildings in the city of Abidjan are constructed with the climate in mind. To achieve this objective, a bioclimatic study of the city of Abidjan was carried out using the Mahoney and Szokolay methods. The recommendations made by the bioclimatic analysis are then compared with the characteristics of the buildings encountered in the field. The bioclimatic studies carried out during this study and superimposed on the characteristics of the buildings encountered in the field show that the orientation of the buildings encountered in the field in the three municipalities studied was different from that recommended by the bioclimatic study. The construction of the various buildings did not take into account the elements of the climate in order to achieve thermal comfort with low energy consumption. To overcome these problems, a set of recommendations derived from the bioclimatic study was proposed.

KEYWORDS: thermal comfort, building, bioclimatic, energy, climate.

RESUME: Le développement de la ville d'Abidjan ces dernières années a engendré une explosion des constructions. Cependant le confort hygrothermique dans ces bâtiments laisse à désirer. Ces constructions consomment donc une grande quantité d'énergie pour rétablir le confort. Cette dépense d'Energie contribue au réchauffement climatique par l'émission des gaz à effet de serre. Le but de ce travail est de vérifier si les bâtiments de la ville d'Abidjan sont construits en tenant compte des éléments du climat. Pour atteindre cet objectif, une étude bioclimatique de la ville d'Abidjan fut réalisée en utilisant la méthode de Mahoney et celle de Szokolay. Les recommandations faites par l'analyse bioclimatique sont par la suite comparées aux caractéristiques des bâtiments rencontrés sur le terrain. Les études bioclimatiques effectuées pendant cette étude et superposées aux caractéristiques des bâtiments rencontrés sur le terrain montrent que l'orientation de ces bâtiments rencontrés sur le terrain dans les trois communes étudiées était différente de celle que recommandait l'étude bioclimatique. Les constructions des différents bâtiments ne tenaient pas comptent des éléments du climat pour bénéficier du confort thermique avec une faible consommation d'énergie. Pour pallier à ces problèmes, un ensemble de recommandation issu de l'étude bioclimatique a été proposé.

MOTS-CLEFS: confort thermique, bâtiment, bioclimatique, énergie, climat.

Corresponding Author: Amani Odilon KOUASSI

1 INTRODUCTION

D'une manière générale, dans les pays, le secteur du BTP est très énergivore et représente entre 30 % et 40 % de la consommation d'énergie totale **[1].** L'industrie du bâtiment elle seule est la première consommatrice d'énergie, devant les transports et l'industrie, et fort émettrice de gaz à effet de serre, représente un gisement prioritaire d'économies d'énergie et de créations d'emplois dont l'ampleur justifie un puissant effort d'incitation et d'accompagnement des ménages et des professionnels **[2].** Ainsi, l'efficacité énergétique des bâtiments est une préoccupation importante de notre société dans la mesure où elle permet d'obtenir un niveau de confort thermique élevé à moindre coût financier **[3].** Pour atteindre cette efficacité énergétique, certaines études stipulent que la performance d'un bâtiment peut être considérablement affectée par le climat d'où l'importance d'une démarche « conception avec climat » mise en évidence par [4]. En effet, les performances énergétiques globales du bâtiment dépendent des solutions architecturales et techniques qui impactent ces performances mécaniques et physiques. De plus, les propriétés thermophysiques de l'enveloppe d'un bâtiment sont cruciales en raison de leurs effets sur le confort thermique intérieur et la conservation de l'énergie [5].

Dans ce contexte de sobriété énergétique dans le bâtiment, la ville d'Abidjan connaît une forte croissance de constructions des logements. Le taux d'urbanisation est de 80 % pour une moyenne nationale de 39 %. Ce taux fait d'Abidjan, une des villes les plus urbanisées d'Afrique [**6**]. Cependant cette course à l'urbanisation tient elle compte de la démarche « conception avec climat » en vue de garantir le confort des occupants et réduire la consommation d'énergie dans ces constructions.

Ainsi, cette étude vise à réaliser une étude bioclimatique de la ville d'Abidjan afin de vérifier la conformité des bâtiments de quelques sites aux recommandations bioclimatiques qui seront définies pour la ville d'Abidjan. Il s'agira d'utiliser les données météorologiques des stations de la ville d'Abidjan des 20 dernières années pour construire le digramme bioclimatique. Ensuite dans les communs dortoirs de la ville d'Abidjan (Cocody, Yopougon et Abobo) l'application des recommandations bioclimatiques seront vérifiées.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 CARACTÉRISTIQUES GÉOGRAPHIQUE ET CLIMAT DE LA VILLE D'ABIDJAN

La ville d'Abidjan, capitale économique de la Côte d'Ivoire est située au sud du pays dans le Golfe de Guinée et est traversée par la lagune Ebrié. Elle couvre une superficie de 422 km^2 qui représente à vol d'oiseau, une étendue d'une douzaine de Km du Nord au Sud, une dizaine de km de l'Est à Ouest et regroupe dix communes (fig.1). La ville d'Abidjan compte 5 616 633 habitants au recensement de 2021 soit environ 19 % de la population du pays. Elle joint d'un climat de type tropical chaud et humide, qui comporte quatre saisons:

- Deux saisons de pluie: mai-juin-juillet et octobre-novembre
- Deux saisons sèches: décembre-janvier-février-mars et août-septembre

Les précipitations sont abondante suivies d'un fort ensoleillement. La température et hygrométrie moyenne sont presque toujours respectivement de 27 °C et 80 % (tab.1).

Tableau 1. Données climatique d'Abidjan station d'Abobo 2022

Mois	jan	Fév	mars	avril	Mai	Juin	jui	Août	sep	oct.	nov.	déc.	année
T. minimale moyenne (°C)	24	25	25	25	25	24	23	22	22	24	25	24	**24**
T. moyenne (°C)	26,7	27,6	27,8	27,8	27,2	26	25	24,4	25	26,2	27,1	26,6	**26,5**
T. maximale moyenne (°C)	30	30	30	30	30	28	26	26	27	28	30	30	**28**
Record de froid (°C)	17	16	17	20	17	16	16	16	20	20	17	17	**16**
Record de chaleur (°C)	40	40	41	37	37	38	33	32	35	32	38	38	**41**
Précipitations (mm)	15,7	57,1	120,5	145,3	232,6	374,1	136,9	50,2	110,5	149,1	108,7	44	**1 544,7**
Nombre de jours avec précipitations	2,1	4,3	8,9	10,8	16,6	21,1	13	10,9	11,8	13,6	12,2	6,3	**131,6**
Humidité relative (%)	78,5	79	80,8	81,3	82,6	85,2	85,9	86,6	86,2	83,8	81,7	80,5	**82,7**
Vitesse de l'air													

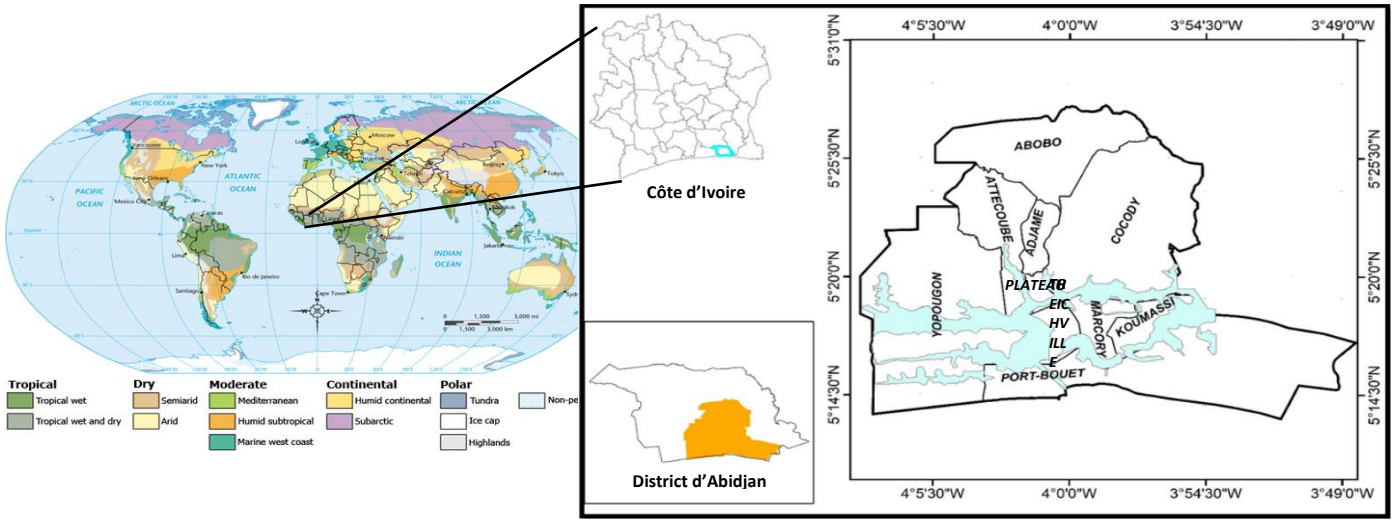


Fig. 1. Carte des 10 communes de la ville d'Abidjan en Côte d'Ivoire [7]

2.2 METHODE D'ANALYSE BIOCLIMATIQUE

Dans le but de tenir compte des effets du climat dans le choix de l'emplacement d'une maison et de déterminer les solutions pour garantir le confort dans les bâtiments, l'analyse bioclimatique de la ville d'Abidjan a été effectuée. Pour cette analyse, les données climatiques des années 1991 à 2021 fournies par la SODEXAM et le site Abidjan-Climate-Data.org ont été utilisées. Les paramètres du climat pris en comptent dans ces données sont: la température minimale, moyenne et minimale, la pluviométrie, l'humidité relative moyenne, l'ensoleillement, la vitesse du vent et la direction du vent.

Ces paramètres climatiques ont été traités suivant deux méthodes: la méthode de Szokolay et la méthode de Mahoney.

2.2.1 METHODE D'ETUDE DE SZOKOLAY

Pour appliquer la méthode de Szokolay, le logiciel Awrash Synan a été utilisé. Les paramètres climatiques sont entrés dans le logiciel. Après validation des valeurs entrées, le logiciel trace le diagramme en présentant la zone de confort et les différentes zones de contrôle passif et actif de la région étudiée.

2.2.2 METHODE D'ETUDE DE MAHONEY

Cette méthode fait intervenir en plus de la température et de l'humidité, la notion de confort diurne et nocturne. Elle regroupe un ensemble de tableau permettant dans un premier lieu de rentrer les paramètres du climat spécifique à la zone d'étude. Ces paramètres du climat permettent de déterminer les indices spécifiques à la zone. Ensuite ces indices sont utilisés pour sélectionner les recommandations architecturales propres à la zone.

2.3 METHODE DE CONTROLE DE L'APPLICATION DES STRATEGIES BIOCLIMATIQUES DANS LA REALISATION DES BATIMENTS

La vérification de la conformité des bâtiments aux recommandations bioclimatique de la ville d'Abidjan a été faite en deux étapes. D'abord à l'aide du logiciel Google map, des plans d'urbanisme détaillés des communes populaires où sont regroupés un grand nombre habitations dans la ville d'Abidjan (Yopougon et Abobo) et la commune de classe aisée de Cocody ont été réalisés. Sur ces plans, le sens d'orientation général des habitations est repéré et représenté. Ensuite, une phase de vérification sur le terrain est effectuée. Pendant cette phase, les directions des bâtiments ainsi que la disposition d'ensemble des ouvertures (fenêtres et porte) sont déterminées à l'aide d'une boussole. Enfin, les recommandations correspondant aux conditions de confort thermique issues de l'analyse bioclimatique réalisées à travers les tables de Mahoney et le diagramme de Szokolay sont superposées aux plans d'urbanisation. La comparaison de ces deux orientations permet de déterminer la prise en compte des données bioclimatique au cours de la réalisation des bâtiments dans la ville d'Abidjan.

3 RESULTATS

Cette partie du travail présente les différents résultats obtenus après l'étude bioclimatique réalisée dans la ville d'Abidjan. Ces résultats sont comparés par la suite aux différentes constructions rencontrées dans trois communes de la ville.

3.1 CARACTERISTIQUES BIOCLIMATIQUE DE LA VILLE D'ABIDJAN

3.1.1 DIAGRAMME DE SZOKOLAY

La figure présente le diagramme de Szokolay conçu à partir des données climatiques de 19 à 2021 de la ville d'Abidjan. Ce diagramme psychométrique montre un ensemble de segment correspondent aux différents mois de l'année. Chaque segment est limité par deux points qui correspondent respectivement à la température maximale et l'humidité la plus basse puis la température minimale et l'humidité la plus élevée. Les longueurs de ces segments sont réduites à cause des faibles écarts de température rencontrés dans la ville d'Abidjan. L'ensemble des mois projetés se retrouvent dans la zone 6, zone de ventilation naturelle. Cependant, il est à noter que les projections de ces différents mois dans le digramme psychométrique de Szokolay, se répartissent en deux (2) ensembles: les mois les plus chauds qui sont les mois de janvier février, mars, avril, mai, juin, novembre, et décembre et les mois les moins chauds qui sont juillet, aout, septembre, octobre. Les mois les plus chauds se retrouvent loin de la zone de confort thermique. Par contre les mois les moins chauds s'en rapprochent. Aucun des douze mois de l'année n'est confortable du point de vue thermique car les projections obtenues se retrouvent hors de la zone de confort hygrothermique. Néanmoins, une bonne aération des bâtiments pourrait permettre d'atteindre le confort hygrothermique dans les bâtiments de la ville d'Abidjan. Pour une optimisation du confort hygrothermique dans les bâtiments de la ville d'Abidjan l'étude bioclimatique propose les recommandations suivantes:

- Une orientation nord-sud (le long de l'axe longitudinale est-ouest)
- Grand espacement entre les bâtiments ou maison pour favoriser la pénétration du vent
- Circulation d'air permanent
- Grande ouverture des fenêtres représentants 40 à 80 % des façades des maisons
- Des murs légers avec un temps de déphasage cour
- Toiture légères et isolantes

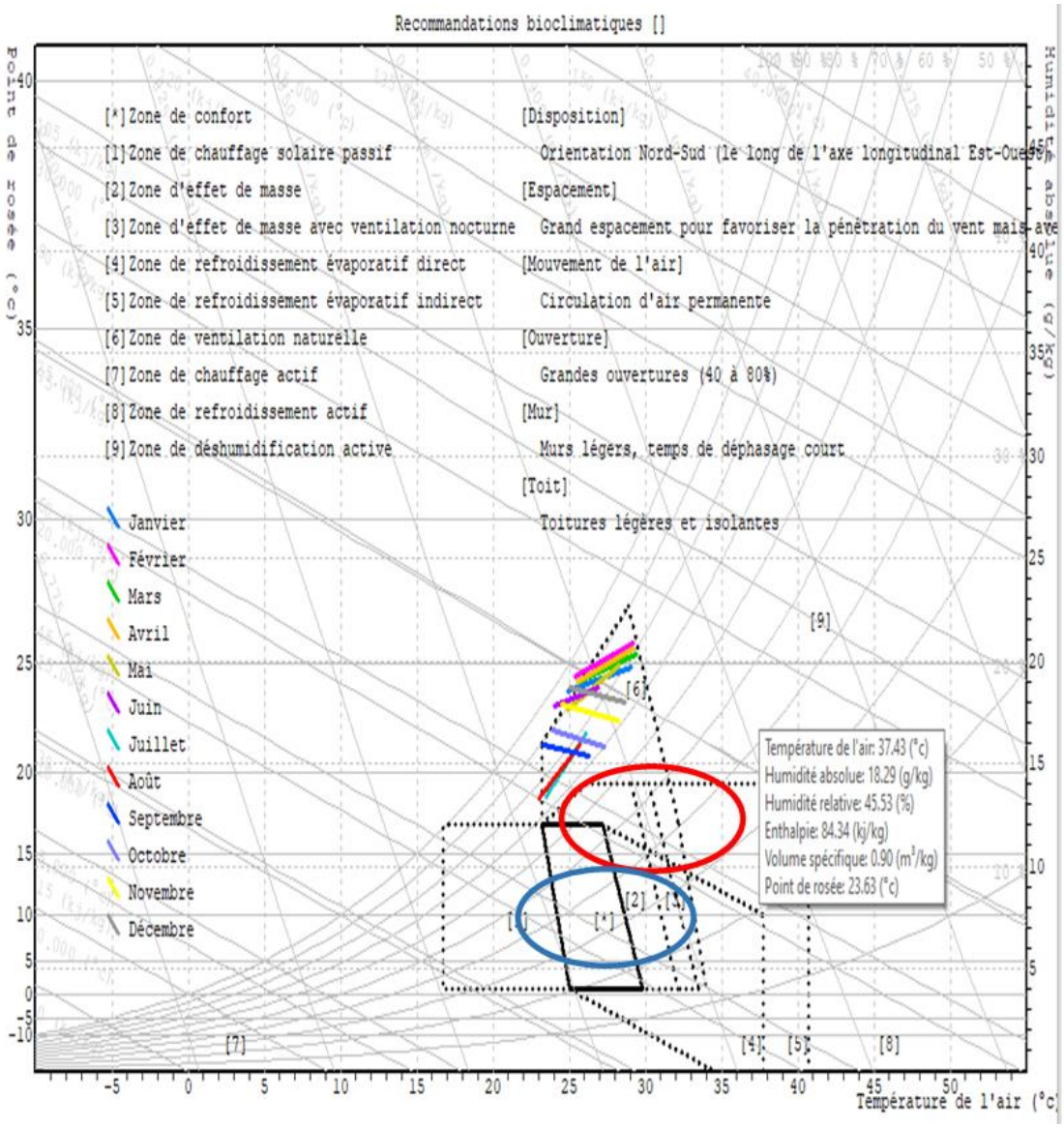


Fig. 2. Diagramme de bioclimatique de la ville d'Abidjan

3.1.2 TABLES DE MAHONEY

Les tables Mahoney, conçues à partir des données climatiques de la ville Abidjan sont présentées dans les tableaux. La température moyenne annuelle et l'humidité sont respectivement de 27,9°C et du groupe 4. De plus, tous les mois de l'année pendant les nuits il y a stress thermique (H). Cela signifie que la température ambiante de l'air est toujours supérieure à la limite de confort. De même pendant la journée, les mois de janvier, février, mars, avril, mai, octobre, novembre et décembre présente également un stress thermique (H). Cependant, les mois de juin, juillet, Aout et Septembre ont des journées confortables. Ces derniers mois correspondent à la fin de la grande saison des pluies et à la petite saison sèche. Cette petite saison sèche est suffisamment arrosée et humide (**Table 3: confort**).

Par ailleurs, pour la ville d'Abidjan, les mois de janvier, février, mars, avril, mai, octobre, novembre et décembre doivent être nécessairement ventilés pour atteindre le confort thermique. Tandis que les mois de juin, juillet, aout et septembre n'ont pas besoin d'une ventilation obligatoire. Aux mois de mai et de juin une protection contre la pluie est nécessaire. (**Table 4: indicateur**). Ces indicateurs de solution de confort couplés aux tables des recommandations permettent de proposer des stratégies architecturales suivantes:

- L'orientation des bâtiments doit se fait suivant l'axe longitudinal est-ouest afin de diminuer l'exposition des façades au soleil;
- L'espacement entre les bâtiments doit être suffisamment grand pour favoriser la pénétration du vent mais avec des protections contre vent chaud ou froid;
- L'orientation des bâtiments doit se faire de façon à permettre une circulation d'air permanente ou par intermittence;
- Les ouvertures doivent être protégées de l'ensoleillement direct et des pluies;
- Les ouvertures doivent avoir des dimensions représentant 40 à 80 % des façades nord et sud;
- Constructions légères, faible inertie thermique;
- La toiture doit être légère et bien isolée;
- Les eaux de pluie doivent être bien drainées.

Ces recommandations faites par les tables de Mahoney pour la ville d'Abidjan diffèrent de celle de certaine ville. En effet, l'études de Djouhaina dans la ville de Biskra (Algérie) a donné les recommandation suivante [8]:

- Le plan de masse doit être compact avec des cours intérieures;
- L'espacement entre les bâtiments doit être important;
- La circulation de l'air ne doit pas être privilégiée;
- La taille moyenne des ouvertures doit être de 25 à 40 % de la surface des murs;
- Les ouvertures doivent être orientées dans la direction nord sud, y compris les ouvertures pratiquées dans les murs intérieurs;
- Les ouvertures doivent être protégées de l'ensoleillement;

Contrairement à la ville d'Abidjan la ville de Biskra recommande une ouverture de l'ordre de 25 à 40%. En plus dans la ville de Biskra, la circulation d'air dans les bâtiments parait inutile. Ces différences montrent l'importance d'effectuer une étude bioclimatique avant toute réalisation.

Cette différence a été remarquée également dans l'étude de Fercha dans la construction d'école en Algérie [9].

3.2 MODELISATION DES CONCEPTS BIOCLIMATIQUES

L'utilisation du concept bioclimatique dans la construction des habitations vise à assurer le confort des occupants en interagissant avec l'environnement extérieur **[10].** Pour ce fait, l'application de ce concept à la réalisation de bâtiments nécessite une connaissance des différents niveaux climatiques de l'emplacement du bâtiment **[11]. Ainsi, l**es diagrammes de Szokolay et la table de Mahoney permettent à partir des données climatiques de la ville d'Abidjan de proposer un plan de disposition des bâtiments présenté sur la figure 2. Les façades exposées au soleil des bâtiments doivent être minimales. Ces façades permettent un échange de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur des bâtiments lorsqu'il y a une différence de température de 1°F. La façade orientée au soleil étant plus chaude que celle de l'intérieur, le flux de chaleur va donc se faire de l'extérieur vers l'intérieur.

La figure 2 indique aussi que les ouvertures doivent être comprises dans l'arc Sud- Sud-ouest et Nord-Nord-est et doivent être protégées des rayons solaires et des pluies. Selon cette disposition, les salles de séjours doivent être du côté Sud et les cuisines positionnées sur le côté Nord. Les chambres doivent par ailleurs être du côté Est pour éviter que le coucher du soleil réchauffe les parois des chambres, qui constituent une source d'apport de chaleur et donc d'inconfort thermique. De pareilles recommandations ont été faites par Wambui **[12].** Selon cet auteur, sous les tropiques, un bâtiment doit être orienté de manière à ce que la majorité des murs et les ouvertures soient facilement à l'abri du soleil tout en permettant la circulation de l'air et l'apport de lumière naturelle. Les ouvertures principales doivent faire face au nord et au sud. Par ailleurs, Daemei dans son étude réalisée dans la ville de Rasht (Iran), a donné des recommandations semblables aux nôtres. Ainsi dans cette ville une grande ouverture de l'ordre de 40 à 80% de la surface des murs est recommandée. En plus des murs et planchers légères à faible capacité thermique sont nécessaires **[13].**

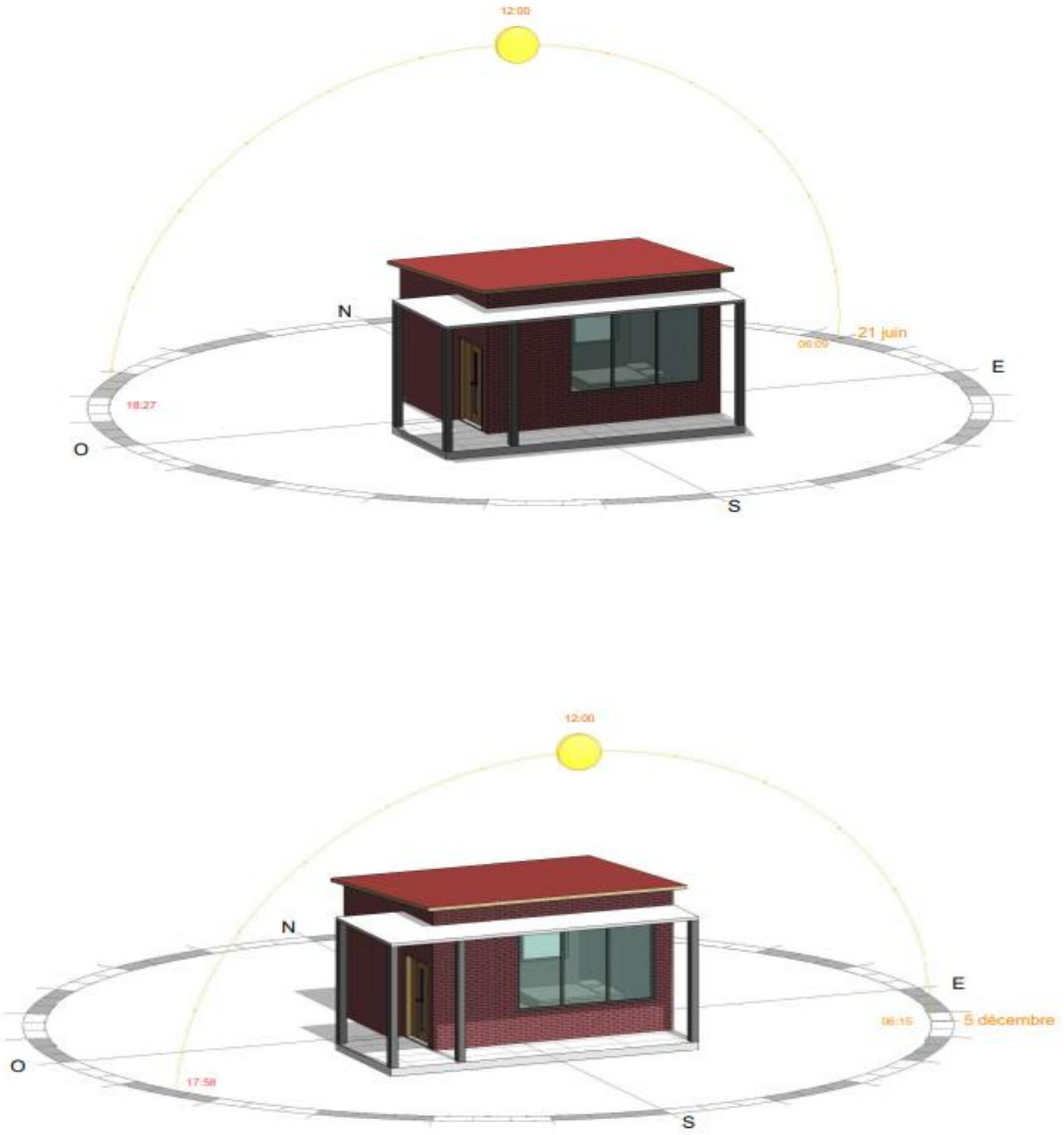


Fig. 3. Model de construction bioclimatique typique de la Côte d'Ivoire

3.3 ORIENTATION DES BÂTIMENTS DANS LA VILLE D'ABIDJAN (COCODY, YOPOUGON, ABOBO)

La distribution des orientations des bâtiments prospectés dans les trois communes d'Abidjan (Cocody, Yopougon, Abobo) montre une orientation majoritaire de direction N-S avec une fréquence de 54 % (figure 3). Les bâtiments orientés de direction NW-SE présente une fréquence de 21%. Les orientations les moins rencontrées sont celles de direction SW-NE et NE-SW avec pour fréquence respective 4,8 et 12 %. La figure 4 présente une vue d'ensemble du plan d'urbanisation du secteur de Cocody. Les enveloppes des bâtiments ont leurs façades les plus allongées parallèles ou perpendiculaires aux routes. Les ouvertures sont également perpendiculaires ou parallèles à la direction principale des bâtiments. Ainsi l'orientation des bâtiments et des ouvertures semblent être prédéfinie par celle des routes. Les routes ont pour orientation les directions N-S, E-W, NE-SW qui sont aussi les orientations des bâtiments. En générale, les orientations mesurées sur le terrain sont semblables à celles observées sur les plans.

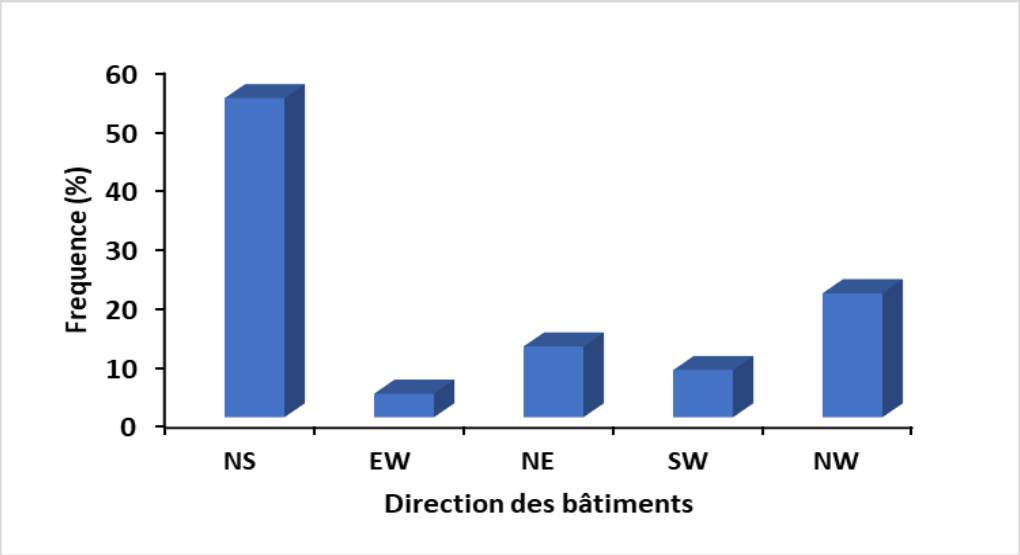


Fig. 4. Distribution des orientations des bâtiments prospectés

Fig. 5. Orientation des bâtiments d'une cité de Cocody

3.4 APPLICATION DU CONCEPT BIOCLIMATIQUE DANS LA VILLE D'ABIDJAN

La superposition des recommandations de l'étude bioclimatique aux cartes d'urbanisme de la ville d'Abidjan (figure) montre que l'orientation proposée par l'analyse bioclimatique diffère par de façon générale des directions des bâtiments rencontrées sur le terrain. De plus, certains bâtiments prospectés ne disposent pas de protection solaire ou de protection contre la pluie. Ce non-respect des principes élémentaires de conception bioclimatique pourrait être à l'origine de l'ambiance inconfortable rencontré dans les logements et de l'utilisation de systèmes actifs (ventilateurs et climatiseurs) pour établir le confort hygrothermique. La non prise en compte des concepts bioclimatiques dans l'urbanisation s'explique par plusieurs raisons: la méconnaissance de ces concepts, la non intégration de ce concept dans la formation agents de construction et l'absence de politique de règlementation énergétique contraignante. En outre, l'étude réalisée par AMEY sur réduction de la sensation des malaises thermiques et détermination et cartographie des orientations préférentielles des bâtiments au Togo a permis de constater que la majorité des orientations des bâtiments rencontrés diffère de l'orientation optimale Est-Ouest recommandée par l'analyse bioclimatique **[14]).** Cette direction est identique aux recommandations faites par l'analyse bioclimatique de la ville d'Abidjan. Ce même constat a été fait par Yusuf au Nigéria dans son étude intitulée: Evaluation des principes bioclimatiques dans la conception d'immeubles de bureaux dans la région à climat chaud et sec du Nigéria Il a utilisé des données de terrain et l'échelle de likert à cinq points allant de 0 à 4 pour calculer le MWV (Mean Weight Value) total des différents bâtiments. Les valeurs obtenues étaient en dessous de celle d'une conception bioclimatique **[12].**

4 CONCLUSION

Au terme de ce travail il est à retenir que pour l'ensemble des bâtiments étudiés dans les trois communes, un grand nombre de ces bâtiments ne respectaient pas les recommandations bioclimatiques pour l'optimisation du confort thermique. Les bâtiments dans les communes d'Abidjan présentent diverses orientations à savoir Nord-Sud, Est-Ouest, Nord-Ouest, Sud-Est. Cependant l'orientation préférentielle est Nord-Sud (54 %). Par contre, l'analyse bioclimatique préconise pour atteindre le confort, dans les bâtiments naturellement ventilés une orientation du bâtiment suivant un axe longitudinal Est-Ouest afin de diminuer l'exposition des façades au soleil, une orientation des ouvertures Nord-Sud variant entre le Sud-Ouest et Sud-Est comme le préconise les recommandations des tables de Mahoney et le diagramme de Szokolay. Par ailleurs l'application des concepts bioclimatiques permettra une réduction de la consommation d'énergie des habitations et optimisera la productivité des habitants.

REMERCIEMENTS

Cet article sur Analyse de l'application des informations bioclimatiques dans la conception de bâtiments dans la ville d'Abidjan (côte d'ivoire) a été élaboré dans le laboratoire de Géomatériaux de l'Unité de Formation et de Recherche (UFR) des Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM) de l'Université Felix Houphouet Boigny. Cet article a été réalisé grâce aux soutiens de plusieurs personnes. Nous voulons saisir cette opportunité pour exprimer notre reconnaissance et notre profonde gratitude à l'endroit de toutes ces personnes qui ont contribué à sa réalisation. Nous exprimons notre profonde gratitude à l'endroit du Dr. KOUAKOU Conand Honoré (maitre de conférences) notre directeur de thèse sa disponibilité, ses pertinentes remarques et ses nombreuses touches qu'il a apportées à ce manuscrit dans le but de le rendre meilleur. Nos remerciements vont à l'endroit de la SODEXAM pour la fourniture des données climatiques ayant servi à la réalisation de l'analyse bioclimatique.

REFERENCES

[1] Parsons, K. Human Thermal Environments: The Effects of Hot, Moderate, and Cold Environments on Human Health, Comfort, and Performance, Third Edition (3rd ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/b16750. 527 p,.2007.

[2] Mokhtari, A., K. Brahimi and R. Benziada. «Architecture et confort thermique dans les zones arides Application au cas de la ville de Béchar.» Revue des Energies Renouvelables 11 (2): 307-315,2008.

[3] Kemajou, A. and L. Mba. «Matériaux de construction et confort thermique en zone chaude Application au cas des régions climatiques camerounaises.» Revue des Energies Renouvelables 14 (2): 239-248,2011.

[4] Attia, S., Hamdy, M., O'Brien, W. et Carlucci, S. Évaluer les lacunes et les besoins pour intégrer des outils d'optimisation des performances des bâtiments dans la conception de bâtiments à consommation énergétique nette zéro. *Énergie et Bâtiments*, *60*, pp 110-124, 2013.

[5] Manioğlu, G., & Yılmaz, Z. Stratégies de conception écoénergétiques dans la région chaude et sèche de la Turquie. *Bâtiment et Environnement*, *43* (7), pp 1301-1309, 2008.

[6] Nassa, D. D. A. and G. A. Bolou. «Dynamisme du marché de banques à Abidjan: Une réflexion géographique, 15 p, 2011.

[7] N'Guessan Bi V.H., Lazile S., Loukou J.A., Saley M. B., & Affian K,. Estimation Des Concentrations Et Cartographie De La Dynamique Des Polluants Atmosperiques Particulaires Dans La Ville D'abidjan European Scientific Journal, ESJ, 17 (43), 116. https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p116, 2021.

[8] Djouhaina, B. S.«Habitat et durabilité Le projet: 80 Habitats individuels à Biskra. Université Mohamed Khider de Biskra Faculté des sciences et de la technologie Département d'Architecture »106 p, 2017.

[9] FERCHA, N. and A. BENBOUAZIZ). «La conception bioclimatique des écoles: un mécanisme efficace pour la protection de l'environnement et la santé de l'enfant.» Architecture et environnement de l'enfant Vol.6, N°3, p 115-139, 2021.

[10] Manzano-Agugliaro, F., F. G. Montoya, A. Sabio-Ortega and A. García-Cruz. «Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort.» Renewable and sustainable energy reviews 49: pp.736-755, 2015.

[11] Metallinou, V. «Ecological propriety and architecture.» WIT Transactions on the Built Environment 86: pp.15-22, 2006.

[12] YUSUF, A. Evaluation of bioclimatic principles in design of office building in hot-dry climate region of Nigeria. *International Journal of Engineering Research and Technology,* vol. 9, no 4, p. 820-826, 2020.

[13] Daemei, A. B., S. R. Eghbali and E. M. Khotbehsara. «Bioclimatic design strategies: A guideline to enhance human thermal comfort in Cfa climate zones.» Journal of Building Engineering https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100758, 26 p, 2019.

[14] Amey, K., O. Samah, Y. Azouma, K. Neglo, E. Kouto and K. Alokpa. «REDUCTION DE LA SENSATION DES MALAISES THERMIQUES: DETERMINATION ET CARTOGRAPHIE DES ORIENTATIONSPREFERENTIELLESDES BATIMENTS AU TOGO.» J. Rech. Sci. Univ. Lomé (Togo), 2014, Série E, 16 (3): pp 185-198, 2015.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1489-1500
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Disponibilité, valeurs alimentaires et utilisations des sous-produits agricoles et agro-industriels dans les productions bovines et ovines au Burkina Faso

[Availability, food values and uses of agricultural and agro-industrial by-products in cattle and sheep production in Burkina Faso]

Dié Xavier Millogo[1-2], Timbilfou Kiendrébéogo[1-3-4], Salam Richard Komdombo[4], Ouedraogo Salifou[5], Dossa Luc Hippolyte[6], Mopate Logténé Youssoufou[5], Aboubacar Toguyeni[1], and Chantal Yvette Kabore-Zoungrana[7]

[1]Laboratoire d'Etudes et de Recherches sur les Ressources Naturelles et les Sciences de l'Environnement (LERNSE), Université Nazi Boni, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

[2]Ministère de l'Agriculture, des Ressources Animales et Halieutiques (MARAH), Ouagadougou, Burkina Faso

[3]Laboratoire de Recherche en Production et Santé Animale (LRPSA), Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Ouagadougou, Burkina Faso

[4]Laboratoire Central D'Horticulture (LCH), Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Ouagadougou, Burkina Faso

[5]Institut de Recherche en Elevage pour le Développement (IRED), Programme Production Animale et Environnement BP 433, N'Djamena, Chad

[6]Département de Production Animale, Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin), 01 BP 526 Cotonou, Benin

[7]Académie Nationale des Sciences des Arts et des Lettres (ANSAL-BF), Académie Africaine des Sciences (AAS), Ouagadougou, Burkina Faso

Copyright © 2023 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 reviews the state of knowledge on the availability, feed value and use of agro-industrial by-products in ruminant feed in Burkina Faso by means of a literature review. Searches were mainly carried out online using the Google Scholar engine. A total of 150 documents were inventoried, of which 49 were selected and used for this literature review. Various by-products, notably oilcake, cereal bran, cereal straw and legume tops, are used to feed cattle and sheep for fattening, and dairy cows. Cereal straws are energy-free, rich in NDF and ADF fiber, and low in total nitrogen. Legume tops are richer in total nitrogen and energy than straws. Tuber peelings are low in total nitrogen, richer in fiber and energy than tops. Mango by-products are low in total nitrogen, high in fiber and richer in energy than other by-products. Mango and manioc by-products are available, but are rarely, if ever, used in animal feed. Further work is needed to scale up the use of mango and cassava by-products to increase the availability, low-cost and high-quality feeds for meat and milk production.

KEYWORDS: Food availability, Feed value, Agro-industrial by-products, Non-conventional feedstuffs, Cattle and sheep production, Burkina Faso.

Corresponding Author: Dié Xavier Millogo

RESUME: L'étude fait l'état des connaissances sur la disponibilité, le valeurs alimentaires et l'utilisation des sous-produits agroindustriels dans l'alimentation des ruminants au Burkina Faso par le moyen d'une synthèse bibliographique. Les recherches ont été principalement faites en ligne en utilisant le moteur Google Scholar. Au total, 150 documents ont été inventoriés parmi lesquels 49 ont été retenues et exploitées pour cette synthèse bibliographique. Divers sous-produits notamment les tourteaux, les sons des céréales, les pailles de céréales et les fanes des légumineuses sont utilisés dans l'alimentation des bovins et ovins en embouche et des vaches laitières. Les pailles de céréales sont dépourvus d'énergie, riches en fibre NDF et ADF, et pauvres en MAT. Les fanes de légumineuses sont plus riches en MAT et en énergie que les pailles. Les épluchures de tubercules sont pauvres en MAT, plus riches en fibres et en énergie que les fanes. Les sous-produits de la mangue sont pauvres en MAT, riches en fibres et plus riche en énergie que les autres sous-produits. Les sous-produits de la mangue et du manioc sont disponibles mais très peu ou pas valorisés dans l'alimentation animale. Des travaux de mise à l'échelle de l'utilisation des sous-produits de la mangue et du manioc sont nécessaires pour rendre plus disponibles des aliments de qualité à coûts réduits pour les productions de viande et de lait.

MOTS-CLEFS: Disponibilité des aliments, Valeurs alimentaires, Sous-produits agro-industriels, Ressources alimentaires non-conventionnelles, Productions bovines et ovines, Burkina Faso.

1 INTRODUCTION

L'élevage occupe le second rang des exportations dans la plupart des pays sahéliens et contribue pour près de 40% au Produit Intérieur Brut (PIB) [1]. Les animaux d'élevage fournissent une gamme variée de produits et services au profit des populations (viande, lait, œufs, fibres, peaux, fumier, force de traction) [2]. Le rôle de l'élevage le plus évident est de contribuer à l'équilibre alimentaire et nutritionnel des populations par un apport de produits de haute valeur nutritive (viande, lait, œuf) [3]. Au sahel, l'élevage des ruminants domestiques (bovins, ovins, caprins) est de types extensif caractérisés par une alimentation des animaux qui dépend de l'exploitation des pâturages naturels y compris les résidus culturaux par le biais de la conduite des troupeaux et la pratique de la transhumance [4]. La mobilité qui est le cœur de l'élevage des ruminants dans la plus part des pays sahéliens est confronté depuis trois décennies environ à de nombreuses évolutions de leur environnement climatique qui limitant l'accès aux pâturages qui constitue la principale source d'alimentation des ruminants [5]. En plus de cela, depuis, l'espace sahélo-saharien est devenu une zone d'insécurité permanente, un sanctuaire d'activités terroristes et de trafics en tous genres [6]. Avec l'expansion de ce phénomène dans le Sahel, le contexte sécuritaire s'est dégradé dans plusieurs pays comme le Niger, le Mali et le Burkina Faso. Cette situation est la cause d'amplification des tensions entre agriculteurs et éleveurs dans les zones touchées par l'insécurité accompagnée d'une limitation des mouvements des personnes et des animaux avec pour conséquence le faible accès aux pâturages qui constitue la principale source d'alimentation des ruminants [7]. Sous l'effet conjugué de l'urbanisation, de la croissance démographique et des nouvelles attentes socioculturelles des populations, on assiste, dans les pays du Sud, à l'émergence d'une demande croissante en produits d'origine animale, surtout dans les villes de sorte que les méthodes traditionnelles extensives caractérisées par une faible productivité des élevages ne sont plus capables de satisfaire [8]. De ce fait, les pays sahéliens sont obligés d'intensifier la production pour satisfaire les besoins internes en produits d'origine animale de leurs populations. L'intensification de tout type d'élevage et celui des ruminants en particulier est tributaire de la disponibilité des ressources alimentaires en quantité et qualité [9]. Dans les pays sahéliens, l'intensification de l'élevage est basée sur la complémentation des animaux avec les aliments conventionnels (tourteaux, sons de meunerie, son de blé) pour combler le déficit nutritif du fourrage de pâture quasiment inexistant en période sèche [10]. Mais ces aliments conventionnels sont pour la plus part de faible disponibilité et même quand ils sont disponibles, ils restent difficilement inaccessibles à l'éleveur moyen à cause de leur coût élevé [9]. Face à la faible disponibilité et au renchérissement des coûts des aliments conventionnels, des alternatives faisant recours aux sources alimentaires non-conventionnelles sont proposées par la recherche [10]. A ce titre, on peut noter le recours au tourteau palmiste [11], aux gousses de Faidherbe [9] et aux sous-produits de la mangue et de manioc [12], [13]. Ce constat a amené plusieurs auteurs [14], [15], [16], [17] à conduire des études pour montrer la pertinence des sous-produits de la mangue et du manioc et leur utilisation rationnelle dans l'alimentation animale. Ces travaux ont concerné essentiellement les monogastriques (porcs et volaille). Si chez les monogastriques il y'a eu des essais de rationnement utilisant les sous-produits de la mangue, peu de travaux ont concernés les ruminants en dehors d'une étude exploratoire qui a récemment concerné la quantité de lait produite chez les vaches montbéliardes en fin de lactation [18]. Hormis les communications personnelles, il existe peu de travaux sur l'utilisation des sous-produits de la mangue en embouche alors que l'une des caractéristiques des aliments mangue est leur bonne teneur en énergie et fibres Neutral Digestible Fiber (NDF**)** et Acid Digestible Fiber (ADF) [18]. Cela les prédispose à être valorisés par les ruminants chez qui la digestion est microbienne et nécessite de l'énergie et des fibres. D'où la nécessité de poursuivre les

études pour tester les sous-produits de la mangue dans les rationnements des ruminants en embouche et sur la qualité du lait produit chez les vaches locales nourries avec les aliments incorporant les sous-produits de la mangue. De même, si dans certains pays côtiers le manioc est utilisé comme une ressource alimentaire conventionnelle [12], [19], [20], au Burkina Faso cette ressources reste non conventionnelle car elle reste peu connue et peu utilisée dans l'alimentation des animaux d'élevage. Toutefois quelques travaux ont portés sur la mise au point de procédés de valorisation des sous-produits du manioc et l'utilisation des aliments qui en sont issus dans le rationnement de porcs [13]. Cependant aucun essai de rationnement utilisant le manioc n'a concerné la production de viande et de lait dans les pays sahéliens comme le Burkina Faso. Pour promouvoir l'utilisation rationnelle des sous-produits à grande échelle, il est nécessaire de vérifier non seulement leur disponibilité mais aussi leurs effets sur les productions animales. La présente étude portant sur le thème de la « *Disponibilité, valeurs alimentaires et utilisations des sous-produits agricoles et agro-industriels conventionnels et non dans les productions bovines et ovines au Burkina Faso: Revue de littérature* » vise à faire l'état des lieux de la valorisation des sous-produits agricoles (SPA) et sous-produits agro-industriels (SPAI) habituellement utilisés dans les productions de viande et de lait et particulièrement des sous-produits de deux sources alimentaires non conventionnelles que sont la mangue et le manioc au Burkina Faso. Le présent travail constituera la base de recherches sur la production et l'utilisation d'aliments à base de sous-produits de mangue et/ou de manioc dans le rationnement de bovins et ovins en embouche et de vache laitières, en l'occurrence en milieu paysan au Burkina Faso.

2 MÉTHODOLOGIE

La synthèse bibliographique sur la disponibilité, les valeurs alimentaires et l'utilisations des sous-produits agricoles et agro-industriels conventionnels et non dans les productions bovines et ovines au Burkina Faso a été faite en recourant à la documentation disponible sur la thématique. Pour cela, cent dix (240) documents traitants de la thématique des sous-produits agricoles et agroindustriels ont été téléchargés sur les moteurs de recherche googlescholar.com et google.com. Les documents ont classés par rubriques. La filtration nous a permis d'éliminer les autres pour ne retenir que quarante-cinq (49) jugés pertinents en rapport la thématique comme base de travail. Les mots clés basiques de recherche suivante ont été utilisés: "Sous-produits Ou agricoles OU élevage", "Sous-produits OU agroindustriels Ou élevage OU Insécurité OU pastoralisme OU sahel", "Sous-produits OU agricoles OU lait OU sahel", "Changement OU climat OU élevage OU sahel", "Sous-produits OU agroindustriels OU embouche OU ruminants OU sahel".

Par la suite, des mots clés de filtrage comme: "Lait OU vaches", "Ruminants OU embouche OU Burkina Faso", "Sous-produits OU mangue OU Burkina Faso", "Sous-produits OU manioc OU ruminants OU Burkina Faso" ont été ajoutés aux clés basiques pour filtrer les documents téléchargés. Après cette étape, les documents ont été classés en cinq (05) axes en fonction des objectifs visés à savoir:

- Axe1: "Sous-produits de la mangue",
- Axe2: "Sous-produits agroalimentaires",
- Axe3: "Sous-produits agricoles",
- Axe4: " Sous-produits Embouche ovine et bovine",
- Axes 5: "Sous-produits et Production laitière".

Selon chaque axe, les documents les plus pertinents ont été retenus selon la période spécifique de 2003 à 2023.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 DISPONIBILITÉ DES SOUS-PRODUITS AGRICOLES UTILISABLES DANS L'ALIMENTATION DES RUMINANTS AUX BURKINA FASO

Le Burkina Faso est un pays à vocation agricole. De grandes quantités de résidus de culture notamment les pailles de céréales sont disponibles après les récoltes. Les Sous-Produits Agricoles (SPA) désignent tout ce qui reste après la récupération par l'homme de la graine ou du fruit recherché par l'activité agricole [21]. Ils regroupent les pailles des céréales telles que le mil *(Pennisetum aucum),* le sorgho *(Sorghum bicolor),* le maïs *(Zea mays)* et le riz *(Oryza saliva)* et les fanes des légumineuses, à savoir le niébé *(Vigna unguiculata),* l'arachide *(Arachis hypogaea* et le voandzou *(Voandzeia subterranea).* Ils constituent une ressource fourragère importante pour l'élevage au Sahel par leurs disponibilités en début de saison sèche prenant le relais des parcours utilisés en saison des pluies. En effet, d'énormes quantités de SPA sont produites chaque année dans les différentes zones agro écologiques mais, ces quantités sont souvent mal gérées par les éleveurs [21].

Les résultats ci-dessous présentés dans le tableau 1 montrent le caractère disparate des informations sur la disponibilité des sous-produits agricoles et sous-produits agro industriels au Burkina Faso. Il existe peu /ou pas de données quantitatives sur les sous-produits agricoles dans la littérature au Burkina Faso. Toutefois, ces sous-produits sont disponibles dans la zone de production des cultures vivrières. Selon les statistiques rendues disponibles par la FAO en 2014 sur la disponibilité des résidus agricoles en 2010, la quantité de pailles de céréales a été estimée à près de 80.10^6 tonnes au total pour l'ensemble des pays de l'espace UEMOA. Les pays sahéliens (Niger, Burkina Faso, Mali et Sénégal) disposent de la plus grande part des résidus agricoles avec environ 90 % (72.10^6) des résidus de céréales de l'espace UEMOA sur la même période. Ces résultats montrent que les SPA sont disponibles en quantité dans les pays sahéliens en l'occurrence le Burkina Faso. Mais malheureusement ils ne sont pas utilisés de façon rationnelle par les éleveurs.

3.2 COMPOSITIONS CHIMIQUES DES DIFFÉRENTS SPA

Le tableau 2 présente les valeurs alimentaires des sous-produits agricoles (SPA) notamment les pailles de céréales utilisées dans l'alimentation des ruminants. Ces pailles sont pauvres en éléments nutritifs pour l'alimentation animale [22]. Les pailles se caractérisent par des teneurs élevées en parois et à l'inverse des teneurs en Matières Azotée Totale (MAT) et en énergie faibles. Les résultats de la composition chimique des SPA obtenus à partir de la littérature montrent d'une manière générale que la qualité nutritive des pailles est faible par rapport à celle des fanes des légumineuses. En effet, leurs teneurs moyennes en MAT sont nettement inférieures à celles des fanes des légumineuses, et en deçà du taux minimum de 6 à 8% recommandé pour le bon fonctionnement de la microflore du rumen comme le soulignent [23]. Selon les mêmes auteurs, il faut un minimum de teneur en MAT de 8% de MS pour assurer aux microorganismes du rumen un fonctionnement adéquat. Malgré leur faible teneur en matière azoté, les sous-produits agricoles constituent un appoint de grande importance dans la couverture des besoins du bétail dans les pays sahéliens pendant la saison sèche où les graminées fourragères et les autres herbacées deviennent très rares [24]. Les SPA associés aux SPAI peuvent constituer des rations intéressantes pouvant couvrir les besoins des animaux. Les SPAI permettent d'améliorer l'ingestion et la digestion des SPA [25]. Les sous-produits comme les fanes d'arachide, fanes de niébé et gousse de soja sont fortement utilisés pour répondre au double besoin en cellulose et protéines au regard de leur bonne teneur en matière azotée.

Tableau 1. Disponibilité quantitative et qualitative des sous-produits agricoles (SPA)

Sous-Produits	**Périodes concernées (années)**						**2025***	**Sources**
Agricoles (SPA)	**1999**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**		
Pailles céréales	6 675	5 092 265	12 900 106	11009742	14491442	11656402	7 286 813	[1], [26]
Fanes légumineuse	711	1 126 873	617969,17	629128,09	960758,57	896646,33	53 579,5	
Epluchures Manioc	-	-	-		-			
Mangue	-	-	-		-			

** Projection du disponible en SPA (FAO, 2014)*

Tableau 2. Valeurs alimentaires de quelques sous-produits agricoles (SPA) et agroindustriels (SPAI) disponibles au Burkina Faso

Ressources Alimentaires	**MS**	MAT	**CB**	**NDF**	**ADF**	**UFV (kg/MS)**	**Sources**
Résidus de récolte							
Pailles de céréales	93	5,37	40,06	80,11	62,93	-	[4]
Fanes de Niébé	92	17,29	14,87	76,96	53,64	0,63	[27]
Fanes d'arachide	93,24	11,36	26,965	57,765	40,58	0,73	[4]
Sous-produits des tubercules							
Epluchures manioc	93	5,26	9,96	60,89	49,36	0,89	[28]
Epluchures igname	89	7,99	4,44	75,31	66,19	1,07	
Epluchures patate	89	8,04	5,51	53,59	43,2	0,99	
Poudre de néré	89	4,49	10,82	33,8	24,31	1,11	[27]

***MS**= Matière Sèche, **MAT**=Matière Azotée Totale, **CB=** Cellulose Brute, **NDF**= Neutral Digestible Fiber;*
***ADF**= Acid Digestible Fiber; **UFV**: Unité fourragère lait et viande.*

3.3 DISPONIBILITÉ QUANTITATIVE (TONNES) DES SOUS-PRODUITS AGROINDUSTRIELS (SPAI) AU BURKINA FASO

Les Sous-Produits Agro-Industriels (SPAI), sont constitués des sous-produits de meunerie issus de la transformation artisanale constitués par les principales céréales locales (les sons de mil, de sorgho et de maïs) et ceux issus de la transformation industrielle (les tourteaux et les graines de coton, les tourteaux de soja et d'arachide, le son de blé et la mélasse) [1].

Au Burkina Faso, l'agriculture et l'industrie occupent une place importante car elles constituent les composantes déterminantes de l'économie Burkinabè. Le secteur agricole représente 40 % du PIB du Burkina Faso et emploie environ 86 % de la population active. Quant à l'industrie, constituée majoritairement d'agro-industries, elle occupe la seconde place dans l'économie Burkinabè [29]. Le caractère agricole du pays offre une diversité de produits qui sont par la suite transformés au sein des unités agro-industrielles qui génèrent une gamme variée de sous-produits utilisables comme ingrédients dans l'alimentation des animaux d'élevage [30]. Les céréales (mil, sorgho, maïs, riz, fonio) constituent les principales productions végétales au Burkina Faso. Des cultures de rente dont le coton, le sésame, l'arachide, le soja et certains oléagineux tels que le tournesol sont également cultivés [31]. Des produits et sous-produits issus de ces matières premières (tourteau de soja, de tournesol, d'arachide, de coton, de sésame et les sons de divers céréales tels que le riz, le maïs etc.) sont également disponibles au Burkina Faso et peuvent servir d'aliments pour les animaux d'élevage [30]. Les SPAI sont produits pour la plupart dans la région du centre qui est la moins arrosée et dans la zone sud-soudanienne la mieux arrogée (région des Hauts-Bassins, de la Boucle du Mouhoun, des Cascades) et acheminés ensuite dans le reste du pays [21]. Ces régions constituent de par leur vocation des zones de productions agricoles par excellence du pays. Les régions des Hauts-Bassins, du centre et des cascades sont les zones industrielles du pays où on trouve d'importantes unités agro-industrielles [30]. Ces unités agro-industrielles génèrent d'importes quantités de sous-produits utilisables dans l'alimentation des animaux d'élevage. Cependant, il existe peu /ou pas de données quantitatives sur les sous-produits de transformation artisanale de céréales (son de maïs et drêche de sorgho) et même des différents tourteaux produits. Toutefois, ces sous-produits sont disponibles dans les zones de production. En effet, l'évaluation des disponibilités et de l'évolution des sous-produits agroindustriels (SPAI) est délicate à établir car étant tributaires de la dynamique de croissance des filières agroindustrielles et de la concurrence entre les différentes utilisations des sous-produits [32]. Selon les statistiques de la FAO en 2014 sur la disponibilité des sous-produits agro-industriels (SPAI) en 2010, les quantités de SPAI étaient estimées à 46 887 tonnes de tourteaux de coton; 32 811 de tourteaux de soja et 52 105, tonnes de tourteaux d'arachide disponibles. Le tableau 3 présente la disponibilité quantitative des principaux sous-produits agroindustriels (SPAI) utilisés dans l'alimentation des ruminants.

Ces SPAI peuvent être regroupés en quatre catégories à savoir:

- Catégorie 1: les tourteaux (coton, soja, arachide),
- Catégorie 2: Les sons (maïs, riz et blé),
- Catégorie 3: les coques (coton, niébé),
- Catégorie 4: les drèches de brasseries industrielles et artisanales.

Selon les données de la littérature, la production nationale de tourteau varie entre 99 500 tonnes et 150 000 tonnes/an et les déchets et coques de graines sont estimés à 104 816 tonnes/an au Burkina Faso. Ces quantités sont très loin de couvrir les besoins du cheptel national en SPAI. En effet, selon le PRAPS [33], sur la base du cheptel bovin national estimé à 9 millions, les besoins en tourteaux en moyenne est de l'ordre de 15 750 tonnes/ jour soit 2,835 millions de tonnes pour couvrir les besoins en six mois des bovins alors que la production nationale de tourteau varie entre 99 500 tonnes et 150 000 tonnes/an. Ces résultats montrent que la production annuelle de tourteau et de coques de graines est loin de couvrir les seuls besoins en matière sèche des bovins en six (06) mois. Selon les résultats des différentes enquêtes nationales sur le Cheptel, l'évolution des effectifs du cheptel est continue pendant que la production des SPAI (tourteaux, coques) ne suit pas la même tendance. Au contraire la production SPAI ne varie pratiquement pas. Au regard de ces observations, il nécessaire de se penser sur d'autres ressources alimentaires pour la complémentation des rations des animaux d'élevage pendant la période soudure de l'année. Dans ce sens, la valorisation de certaines ressources alimentaires dites non conventionnels ou négligées par les éleveurs pourra combler le déficit en matière sèche des animaux d'élevage surtout les ruminants en saison sèche.

3.4 VALEURS ALIMENTAIRES DES SOUS-PRODUITS AGROINDUSTRIELS (SPAI) UTILISÉS DANS L'ALIMENTATION DES RUMINANTS

Le tableau 4 présent les valeurs alimentaires des sous-produits agroindustriels (SPAI) disponibles au Burkina Faso. Les SPAI constituent les compléments essentiels du pâturage, des résidus de récoltes (SPA) pauvre en MAT et la quasi-totalité des rations d'embouche. Les SPAI sont des aliments très riches en MAT avec des teneurs supérieures 8% requise pour le bon fonctionnement de la flore microbienne des ruminants et peuvent servir de compléments azotés des SPA pendant une période de la saison sèche. Les SPAI permettent d'améliorer l'ingestion et la digestion des aliments (SPA) pauvres en MAT [25]. La

composition des tourteaux montre qu'ils sont des sources principales de protéine utilisable en alimentation animale. Leur teneur élevée en MAT fait qu'ils sont proposés par beaucoup d'auteurs pour la complémentation des fourrages pauvres comme les pailles de céréales particulièrement en saison sèche.

Tableau 3. Disponibilité quantitative (tonnes) de sous-produits agroindustriels (SPAI) au Burkina Faso de 1985 à 2019

Ressources alimentaires	Périodes (années)								Sources
	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	
Tourteau de coton	13212	12120	24500	26560	37000	69704	111809	108500	[1]; [30]
Coques de coton	-	-	-	-		73189	140839	87011	[1]
Tourteau de soja	-	-	-	-	6500	15686			
Tourteau d'arachide	-	-	-	-	220525	330624			
Mélasse	-	9090	6000	12000	13500	13650		35000	
Sons de céréales	445390			321000				6318	
Drêche industrielle			36000	36900		1930		730	[30]
Aliment bétail	521	5639		39800					[1]

Tableau 4. Valeurs alimentaires de quelques sous-produits agroindustriels (SPAI) disponibles au Burkina Faso

Ressources alimentaires	MS	MAT	CB	NDF	ADF	UFV (kg/MS)	Sources
Tourteaux							
Tourteau coton	94,73	33,46	24,46	48,45	30,8	0,87	[34]
Tourteau soja	93,29	31,51	17,68	73,58	46,13	0,94	[30]; [34]
Tourteau arachide	90,97	54,28	16,5	39,67	17,91	1,12	[30]; [35]
Sous-produits de céréales							
Drèche brasseries	90,55	21,87	12,33	6,55	21,65		
Son maïs	92,13	12,34	10,83	42,88	24,82	0,91	[4]
Son de Blé	87,69	18,06	10,32	42,9	13,38		[30]; [35]
Son de riz	91,49	17,14	10,11	45,51	29,1	0,68	[30]

4 MARCHÉ DES SOUS-PRODUITS ET ÉVOLUTION DU COÛT DU KG DE TOURTEAU AU BURKINA FASO

De nos jours, les capacités de résilience des sociétés pastorales sont mises à l'épreuve non seulement par des chocs climatiques récurrents et leurs conséquences environnementales, économiques, sociales et politiques mais aussi par l'aggravation de la crise sécuritaire dans la région sahélienne et la dégradation des infrastructures d'hydraulique pastorale, désorganisant les stratégies de mobilité pastorale. Dans ce contexte, l'accès à l'aliment bétail est devenu un enjeu stratégique pour les pasteurs [36]. La croissance forte et régulière de la consommation des élevages "semi-intensifs" à cycles courts (volailles) et l'intensification des systèmes de production (lait, embouche ovine et bovine, porcs) créent également une demande dynamique. Il existe donc une demande non satisfaite. La forte demande du tourteau, résultant du potentiel de développement de l'élevage semi-intensif et intensif et constitue une opportunité d'investissement pour les industriels. En effet, de nombreux éleveurs recourent aux sous-produits (son de mil, de sorgho et de maïs) produits par les brasseries industrielles et tourteaux de graines de coton habituellement fournis par les industries textiles et agro-industriels (SOFITEX, SN-CITEC et les autres huileries) qu'ils valorisent dans l'alimentation de leurs animaux [36]. Habituellement les éleveurs n'ont pas accès au marché directs des tourteaux à la sortie des usines. Les usines vendent en priorité les tourteaux de coton à des commerçants grossistes officiellement agréés qui exportent une grande partie de ces matières et cèdent une partie aux unités de fabrication d'aliments pour animaux [37]. L'approvisionnement auprès de ces commerçants grossistes est cependant un long chemin pour les éleveurs parfois contraints de s'inscrire sur des listes d'attente. La fabrication et la distribution d'aliments pour bétails et volailles est devenue une activité hautement spéculative et une opportunité d'affaires pour les entreprises spécialisées dans la fourniture d'aliments pour animaux au Burkina Faso. Mais, malgré l'intérêt éprouvé par les éleveurs pour les SPAI, leur utilisation à grande échelle est confrontée à leur faible disponibilité et à leur prix de revient élevé, du fait de l'éloignement des zones de production des méthodes spéculatives de la part des commerçants [37]. La figure 1 montre l'évolution du coût du kg de tourteau de coton de 1995 à 2022. Les résultats montrent une évolution exponentielle du prix de

revient du SPAI (Tourteau de coton) de 1995 à 2022. En observant sur la figure, on remarque que le kg de tourteaux coûtait moins de 50 FCFA (35FCFA) en 1995 et en 2022 le kg de tourteau coût de plus de 200 FCFA. Malgré cette insuffisance, des quantités énormes de SPAI sont exportés. Selon les données statistiques sur le commerce extérieur produites par l'INSD en 2008 et 2009, le Burkina Faso exporte d'importantes quantités d'aliments destinés aux animaux d'élevage. En effet, le tourteau produit au Burkina Faso, coûte 3 à 4 fois plus cher à l'exportation que vendu localement. Ces exportations sont, outre les aliments déjà préparés pour animaux, les résidus et déchets des industries alimentaires destinés à la préparation d'aliments pour bétail et volaille.

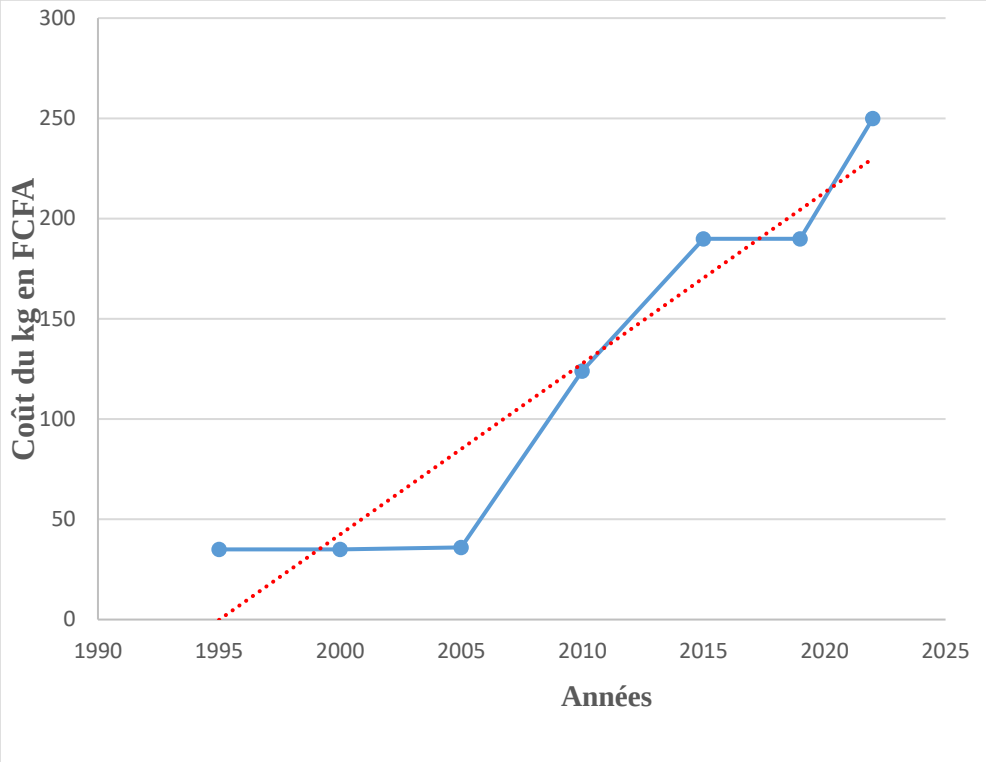


Fig. 1. ***Evolution du coût du kg de tourteau de coton au Burkina Faso***

Sources: *[38] et [30]*

5 ALTERNATIVEMENT D'AMÉLIORATION DE LA PRODUCTIVITÉ DES BOVINS ET OVINS PAR LE RECOURS AUX SOUS-PRODUITS DE LA MANGUE ET DU MANIOC

Face à la dégradation poussée des ressources pastorales ajoutée à l'inaccessibilité et à la hausse des prix des SPAI, certains auteurs [9], [39] ont conduit des recherches allant dans le sens de la valorisation des produits locaux au profit des animaux d'élevage. Ces aliments qualifiés de non classiques sont encouragés et utilisés en embouche surtout au sahel à cause de leur disponibilité et leur coût réduit. Il s'agit des gousses de *Piliostigma reticulatum,* de *Piliostigma thonningui,* de *Faidherbia albida, d'Acacia radiana,* etc. En plus cela, on note aussi l'utilisation des sous-produits agricoles et agroindustriels non conventionnels dans l'alimentation des animaux de façon courante, pour pallier certaines situations de carence alimentaire. Dans la périphérie de Bobo-Dioulasso, ville située à l'Ouest du Burkina Faso, les éleveurs de porcs font recours à une gamme variée d'aliments de bétail dont ceux non conventionnels comme les sous-produits de la mangue et les épluchures de manioc [40] - [41] - [31] pour l'alimentation des animaux.

5.1 DISPONIBILITÉ QUANTITATIVE DE SOUS-PRODUITS DE MANGUE AU BURKINA FASO

La mangue, constitue la principale culture fruitière du Burkina Faso aussi bien en superficie qu'en volume de produits récoltés [43]. La filière mangue occupe plus de 15 000 producteurs avec une production estimée à plus 300 000 tonnes par an [44]. La filière mangue occupe un très grand nombre d'acteurs qui sont: les producteurs, les transformateurs, les commerçants

et les exportateurs. Cependant seule une faible quantité de la mangue produite est transformée (séchage et production de jus) ou commercialisée à l'état frais pour le marché international. Avec le phénomène de la mouche des fruits, des quantités importantes de mangue pourrissent dans les vergers des principales zones de production du pays [44]. A ces pertes, s'ajoutent d'importantes quantités de mangues déclassées au niveau des unités de transformation pour cause d'avaries et des déchets (peau, noyau et pulpe) issus de la transformation. Cela constitue un véritable problème de nuisance et de gestion des déchets [15]. La mangue est essentiellement transformée en mangue séchée et les autres produits sont les jus/nectar, la confiture, vinaigre, la pulpe et le sirop [40]. Les sous-produits issus de ces transformations sont principalement les épluchures (peau), les noyaux et les mangues avariées. Ces derniers sont généralement laissés en tas dans la nature, ce qui constitue une source potentielle de pollution de l'environnement. D'énormes quantités de mangues infestées par les mouches des fruits sont toujours perdues dans les vergers, sur les lieux de transformation et dans les circuits de commercialisation. De plus, de grandes quantités (20-40% des volumes transformées) de déchets de transformation (peau, noyau et pulpe) rejetés dans la nature sont peu valorisées, en dehors des faibles prélèvements par les éleveurs et les animaux [40]. Selon les statistiques 2008 du ministère de l'agriculture, la filière a un potentiel de production de plus de 300 000 tonnes par an [45], [46] et représente également une source économique très importante pour le pays. Malgré cette importance économique, la production de mangue connaît d'énormes pertes post-récoltes qui sont évaluées à environ 30-50 % soit plus de 150 000 tonnes de mangue perdues annuellement [47]. Ces importantes pertes sont souvent dues à l'inégal répartition des réseaux de distribution de la mangue à travers le pays, aux attaques parasitaires et à l'absence/insuffisance de technologies post-récoltes adéquates de stabilisation du fruit soit à l'état frais, soit à l'état transformé [47]. A ces pertes post-récoltes s'ajoute les déchets générés par les unités de transformation (peau, noyau et pulpe). Ces pertes constituent un grand potentiel pour résorber le problème de l'alimentation animale si toute fois elles sont récupérées et revalorisées. Les mangues considérées comme pertes pour la consommation humaine peuvent être récupérées partiellement ou totalement et valoriser comme aliment pour animaux. Cela peut à la fois améliorer les performances zootechniques des animaux et réduire les coûts alimentaires [11]. Il existe peu/ou pas dans la littérature des données quantitatives précises sur les sous-produits issus des unités de transformation de la mangue et encore moins sur les quantités de mangues perdues dans les vergers. Cependant, certaines données de la littérature, estiment la production annuelle à environ 300 000 tonnes avec des pertes d'environ 150 000 tonnes.

5.2 VALORISATION DES PROVENDES DE MANGUE DANS L'ALIMENTATION ANIMALE

Dans les pays d'Afrique au Sud du Sahara, le déficit fourrager et nutritionnel de saison sèche, la mauvaise gestion des pâturages, le coût élevé et la faible disponibilité des sous-produits agricoles (SPA) et agro-industriels (SPAI) conventionnels, la faible valorisation des sous-produits agricoles non conventionnels et les mauvaises pratiques d'alimentation constituent des contraintes à la production animale [41]. Face à la dégradation poussée des ressources pastorales ajoutée à l'inaccessibilité et à la hausse des prix des SPAI, l´utilisation des aliments non conventionnels à savoir les résidus de ménage, certaines espèces fourragères, les résidus de cultures maraîchères et les fruits dont les mangues avariées est constatée au niveau des élevages urbains et périurbains du Burkina Faso [48]. Selon les statistiques 2008 du ministère de l'agriculture, 50% soit plus de 150 000 tonnes de mangues sont perdues. Ces dernières sont généralement laissées en tas dans la nature alors qu'ils constituent un grand potentiel pour résorber le problème de l'alimentation animale si toute fois ils sont récupérés et revalorisées (provende de mangue). Le tableau 5 présente la quantité estimative de matière sèche provende de mangue mobilisable selon le procédé de [41] à partie des 150000 tonnes de mangues perdues par an. La provende est un mélange de peau de mangue +absorbant; pulpes mangue +absorbant ou de peau +pulpe de mangue +absorbant. L'adjonction de l'absorbant (son de maïs, de blé ou de riz) permet d'augmenter les quantités de matière sèche et de réduire en conséquence la durée de séchage soleil selon un précédé de production de [42]. La valorisation des sous-produits locaux notamment les provendes de mangue comme ingrédients dans l'alimentation des ruminants par les éleveurs pourrait permettre d'augmenter leurs productions et de contribuer davantage à valoriser les produits agro-industriels.

5.3 VALEUR NUTRITIONNELLE DES PROVENDES DE MANGUE ET DES ÉPLUCHURES DE MANIOC DANS L'ALIMENTATION ANIMALE

Le tableau 6 ci-dessous présente les valeurs nutritionnelles des provendes de mangue et des épluchures de manioc. A partir des pertes annuelles de mangues estimées à environ 150000 tonnes et selon le procédé de [41], il est possible de produire 17 259 tonnes de matière sèche (provende de mangue) utilisables directement ou en complémentation pour les animaux. En plus de ces pertes poste-récoltes, des quantités énormes (mangues avariées) sont perdues au niveau des unités des transformations (séchage et production de nectar). La valorisation de ces toutes ces pertes permet d'augmenter la quantité de matière sèche (provende) qui peut être disponibiliser pour les animaux. sable er et de réduire en conséquence en provende Cette matière sèche pourrait servir à la fabrication de provendes en ajoutant de l'absorbant (son de maïs de blé ou de riz) selon un précédé de production de [42]. Les provendes ainsi obtenues, améliorent les teneurs en énergie des ingrédients ordinaires, et

permettent de couvrir les besoins énergétiques des animaux d'élevage [42]. La valorisation des mangues impropres à la consommation humaine et les sous-produits de transformation de la mangue pourrait contribuer à accroitre non seulement le disponible en aliments pour les animaux d'élevage mais aussi de réduire la concurrence entre l'homme et l'animal au niveau des céréales notamment le maïs [36]. Cette valorisation permet également de briser le cycle de vie des mouches de fruits qui sont à l'origine de la perte d'énormes quantités de mangue dans les vergers.

Tout comme les sous-produits de mangue, il existe peu/ou pas de données sur les quantités de sous-produits de transformation (épluchures) du manioc au Burkina Faso. Cependant, les épluchures de manioc constituent une ressource alimentaire importante pour les animaux herbivores d'élevage. Séchées, elles peuvent être incorporées dans les rations des ruminants [33]. Selon l'étude des mêmes auteurs, le séchage au soleil des épluchures de manioc permet d'éliminer l'acide cyanhydrique qui se trouve en quantité élevée dans le produit frais et qui est un produit toxique pour les animaux. Elles apportent aux ruminants à l'engraissement l'énergie nécessaire pour leur permettre de faire de bonnes performances pondérales. Selon les résultats de la bibliographie, la teneur en Energie brute des pulpes de mangue, des peaux de mangue et des épluchures de manioc (4179, 3998 et 4179 Kcal/kg/MS**)** est inférieure mais proche de celle du maïs qui est la principale source énergétique pour l'alimentation des animaux (tableau 4). Ces observations sont en adéquation avec ceux de l'INRA, (2004). Les pulpes de mangue, les peaux de mangue et des épluchures de manioc ont des teneurs MAT (2,19; 3,42 et 5,26) en dessous de 8%. Il faut un minimum de teneur en MAT de 8% de MS pour assurer aux microorganismes du rumen un fonctionnement adéquat [23]. Cette faible teneur en MAT est limitant pour le bon fonctionnement du rumen. Lorsqu'elles sont introduites en grande quantité dans l'alimentation de ces animaux, leur pauvreté en azote ne permet plus d'obtenir des gains de poids élevés. L'adjonction de sons aux sous-produits de la mangue et du manioc permet de relever les teneurs en énergie et surtout en protéine permettant leur utilisation rationnelle dans l'alimentation des animaux [49]. Il est aussi possible d'améliorer les teneurs (MAT) en associant aux sous-produits du fourrage des légumineuses, de graines de coton ou même en ajoutant de l'urée aux épluchures de manioc [24]. Au regard des valeurs nutritives, les sous-produits du manioc et de la mangue offrent des possibilités de choix de compléments alimentaires pour un engraissement des ruminants. Pendant la saison sèche où les graminées et les autres herbacées fourragères deviennent rares dans les parcours naturels, ils peuvent corriger le déséquilibre quantitatif et qualitatif des rations destinées aux ruminants [24].

Tableau 5. Estimation de la quantité de provende à partir de150 000 tonnes de mangues avariées

Mangues avariées (Tonnes)	Quantité (Tonne)		Estimation (Tonne)	Sources
	Eau	Noyau	Matière Sèche	[45], [24]
150000	123000	9750	17250	

Source: [46]

Tableau 6. Composition des provendes de mangue et des épluchures de manioc

Ressources alimentaires	MAT	NDF	ADF	CB	EB (Kcal/kg/MS)	Sources
Epluchure de manioc	5,26	60,89	49,36	9,96	4097	[27]
Pulpe de mangue	2,19	6,17	3,82	2,66	4179	[41]
Peau de mangue	3,42	44,77	17,08	8,33	3998	
PMS	10,61	37,57	15,01	9,35	4457	
PPS	8,72	26,46	14,35	8,59	4374	

***MS**= Matière Sèche, **MAT**=Matière Azotée Totale, **CB=** Cellulose Brute, **NDF**= Neutral Digestible Fiber;*
***ADF**= Acid Digestible Fiber. EB= Energie Brute, **PMS**= Peau de mangue + son; **PPS**= Pulpe et Peau de mangue +son.*

6 CONCLUSION

Divers documents tels que les articles scientifiques, les mémoires, les journaux, des annuaires, des rapports d'activité du Ministères de l'Elevage et des Ressources Animales et Halieutiques et du Ministère de l'Agriculture du Burkina Faso ont été consultés pour faire la synthèse des connaissances sur la disponibilité et de l'utilisation des sous-produits agro-industriels conventionnels et non conventionnels dans les productions laitière, bovines et ovines au Burkina Faso. Les résultats de la synthèse bibliographique révèlent que les sous-produits agro-industriels conventionnels constituent les principaux compléments alimentaires des animaux d'élevage surtout en période sèches où les parcours naturels ne contiennent quasiment rien en termes de ressources fourragères. Les SPAI les plus couramment utilisés dans les productions animales sont

ceux issus de la transformation artisanale des céréales locales (les sons de mil, de sorgho et de maïs) et ceux issus de la transformation industrielle (les tourteaux et les graines de coton, les tourteaux de soja et d'arachide, le son de blé, les drèches des brasseries et la mélasse). Malheureusement ces SPAI sont faiblement disponibles et à leur prix de revient élevé, du fait de l'éloignement des zones de production et des méthodes spéculatives de la part des commerçants agréés. Pour pallier à cette situation, une des alternatives est la valorisation des aliments dits non conventionnels à savoir les résidus de ménage, certaines espèces fourragères, les résidus de cultures maraîchères, des tubercules et des fruits dont les mangues avariées. Pour un pays à vocation agricole comme le Burkina Faso, la valorisation des sous-produits de transformation de la mangue et du manioc dans l'alimentation des ruminants serait un atout non négligeable pour rendre plus disponible des aliments da qualité à coûts réduits en vue d'améliorer les performances de production des animaux d'élevage, en particulier les bovins et ovins pour la production de viande et des vaches laitières.

REFERENCES

[1] FAO, « Résidus agricoles et sous-produits agro-industriels en Afrique de l'ouest - Etat des lieux et perspectives pour l'élevage », Rome; Italie, 2014. [En ligne]. Disponible sur: https://www.fao.org/3/i3562f/i3562f.pdf

[2] H. Konfé, « Etude spermiologique des bovins de races locales de l'Afrique de l'Ouest: cas du Borgou, du taurin Lagunaire, du taurin N'Dama et du Zébu Peulh », Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 2014. [En ligne]. Disponible sur: https://beep.ird.fr/collect/upb/index/assoc/IDR-2014-KON-ETU/IDR-2014-KON-ETU.pdf

[3] A. Mottet, « Le secteur de l'élevage dans les grandes régions du monde en lien avec les objectifs de développement durable des Nations Unies », *Rev. Sci. Viandes Prod. Carnés,* vol. VPC-2022, nº 3823, 2022, [En ligne]. Disponible sur: www.viandesetproduitscarnes.com

[4] A. Kiema, G. B. Tontibomma, et N. Zampaligré, « Transhumance et gestion des ressources naturelles au Sahel : contraintes et perspectives face aux mutations des systèmes de productions pastorales », *VertigO - Rev. Électronique En Sci. Environ.,* nº Volume 14 Numéro 3, Art. nº Volume 14 Numéro 3, janv. 2015, doi: 10.4000/vertigo.15404.

[5] D. OUEDRAOGO, « Thème: Perception et adaptation des éleveurs pasteurs au changement climatique en zones sahélienne, nord et sud soudaniennes du Burkina Faso. », Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 2010. [En ligne]. Disponible sur: https://beep.ird.fr/collect/upb/index/assoc/IDR-2010-OUE-PER/IDR-2010-OUE-PER.pdf

[6] L. Dambo, M. W. Mato, et E. M. Moutari, « Insécurité et crises politiques généralisées », *J. Alp. Res. Rev. Géographie Alp.,* nº 102-1, Art. nº 102-1, mars 2014, doi: 10.4000/rga.2341.

[7] I. Nassourou et M. M. Sani, « La Guerre De 2011 En Libye Et Les Migrants De Retour Dans La Région De Tahoua Au Niger : Entre Incertitude Sécuritaire Et Défis De Développement Local », *Eur. Sci. J. ESJ,* vol. 15, nº 35, déc. 2019, doi: 10.19044/esj.2019.v15n35p32.

[8] H. O. Sanon, A. Drabo, M. Sangare, T. Kiendrebeogo, et A. Gomgnibou, « Caractérisation des pratiques d'embouche bovine dans l'Ouest du Burkina Faso », *Int. J. Biol. Chem. Sci.,* vol. 8, nº 2, p. 536-550, 2014.

[9] S. KIéMA, K. Louis, S. OUéDRAOGO, et C. Y. KABOR, « Effet de l'utilisation des gousses de Faidherbia albida sur les performances de croissance des taurillons à l'Ouest du Burkina Faso », *Sci. Nat. Appliquées,* vol. 38, nº 2, 2019.

[10] V. Millogo, M. Sissao, A. G. Sidibe-Anago, T. O. Amoussou, et G. A. Ouedraogo, « Effet d'une complémentation valorisant les ressources localement disponibles sur les performances de production laitière des vaches en vue de réduire l'intervalle vêlage-vêlage en zone périurbaine de Bobo-Dioulasso au Burkina Faso », *J. Appl. Biosci.,* vol. 142, p. 14575-14586, 2019.

[11] CIRAD, « Drêche ensilée, tourteau de palmiste et coques de cacao », *Journal of Science, Food and Agriculture 66: 465-471.,* Yaoundé, Cameroun, 2016. Consulté le: 5 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: http://pigtrop.cirad.fr/sp/temas/nutricion_animal/dreche_ensilee_tourteau_de_palmiste_et_coques_de_cacao.

[12] K. Eugène KOUADIO, K. Kreman, K. Laciné BAMBA, et G. Severin KOUADJA, « Effet de la farine d'épluchures de manioc sur les performances zootechniques et économiques du poulet de chair au démarrage en Côte d'Ivoire », *J. Anim. Plant Sci.,* vol. 42.2, p. 7237-7244, nov. 2019, doi: 10.35759/JAnmPlSci.v42-2.5.

[13] T. Kiendrébéogo, N. Zampaligré, S. Ouédraoogo, Y. M. Logténé, et C. Y. Kaboré-Zoungrana, « Cassava By-Products as Feed for Pigs in Burkina Faso: Production Processes, Nutritive Values and Economic Costs », *OALib,* vol. 06, nº 09, p. 1-14, 2019, doi: 10.4236/oalib.1105711.

[14] K. Timbilfou, M. Youssouf, I. Georges, et K. Chantal-Yvette, « Procédés de production d'aliments non conventionnels pour porcs à base de déchets de mangues et détermination de leurs valeurs alimentaires au Burkina Faso », *J. Appl. Biosci.,* vol. 67, nº 0, p. 5261, oct. 2013, doi: 10.4314/jab.v67i0.95047.

[15] K. Timbilfou, M. L. Youssouf, I. Georges, et K.-Z. Chantal-Yvette, « Procédés de production d'aliments non conventionnels pour porcs à base de déchets de mangues et détermination de leurs valeurs alimentaires au Burkina Faso », *J. Appl. Biosci.,* vol. 67, p. 5261-5270, 2013.

[16] D. Barry, T. Kiendrebeogo, M. Sere, A. Combari, Y. Mopaté Logténé, et C. Y. Kaboré-Zoungrana, « Effects of Mango Wastes-Based Diets on the Growing Parameters of Laying Hens and Biometric Parameters of the Eggs », *Open Access Libr. J.,* vol. 06, n° 11, p. 1-13, 2019, doi: 10.4236/oalib.1105868.

[17] I. Z. Ouédraogo, T. Kiendrébéogo, D. X. Millogo, D. P. Sawadogo, H. Koara, et V. M. C. Bougouma-Yamoégo, « Influence de rations incorporant des provendes de mangues et un concentré d'asticots en remplacement au maïs et à la farine de poisson sur les performances de croissance et la qualité des carcasses de poulets de chair «Poulet du Faso» », *Rev Ivoir Sci Technol httpwwwrevistci,* vol. 39 (2022), p. 147-166, 2022.

[18] X. D. Milogo, T. Kiendrebeogo, I. Z. Ouedraogo, H. Koara, D. P. Sawadogo, et V. M. Bougouma-Yameogo, « Influence of Mango Feed-Based Diets on the Production and Economic Profitability of Montbeliarde Cows' Milk at the End of Lactation in Burkina Faso », *Open J. Anim. Sci.,* vol. 12, n° 2, p. 239-250, 2022.

[19] M. Montcho, S. Babatounde, B. A. Aboh, et V. Bougouma, « Utilisation des sous-produits agricoles et agro-industriels dans l'alimentation des ovins Djallonké au Bénin : perception des éleveurs, préférences et performances de croissance », 2017.

[20] M. Houndonougbo, C. Chrysostome, et V. Houndonougbo, « Performances bioéconomiques des poulettes alimentées avec des rations à base de feuilles séchées de manioc (Manihot esculenta) », *Int. J. Biol. Chem. Sci.,* vol. 6, n° 2, p. 670-676, août 2012, doi: 10.4314/ijbcs.v6i2.11.

[21] K. A. Ouattara, « Inventaire et caractérisation des ressources alimentaires du bétail dans la zone de Bobo-Dioulasso et production des cultures fourragères ». Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 2014. Consulté le: 5 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://www.google.com/search?q=DR-2014-OUA-.

[22] S. L. Nanéma, « Optimisation de l'utilisation des résidus de culture associés aux sous-produits agro-industriels dans l'alimentation des ruminants ». Burkina Faso, 1998. [En ligne]. Disponible sur: https://beep.ird.fr/collect/upb/index/assoc/IDR-1998-NAN-OPT/IDR-1998-NAN-OPT.pdf

[23] S. W. Coleman, S. P. Hart, et T. Sahlu, « Relationships among forage chemistry, rumination and retention time with intake and digestibility of hay by goats », *Small Rumin. Res.,* vol. 50, n° 1-2, p. 129-140, oct. 2003, doi: 10.1016/S0921-4488 (03) 00116-0.

[24] Montcho M., Babatoundé S., Aboh B. A., Bahini M. J. D., Chrysostome A. A. M. C., et Mensah G. A., « Disponibilite, Valeurs Marchande Et Nutritionnelle Des Sous-Produits Agricoles Et Agroindustriels Utilises Dans L'alimentation Des Ruminants Au Benin », *Eur. Sci. J. ESJ,* vol. 12, n° 33, p. 422, nov. 2016, doi: 10.19044/esj.2016.v12n33p422.

[25] C. Kabore/Zoungrana, S. Kiema, et A. J. Nianogo, « Valeur nutritive des sous-produits agricoles et sous-produits agro-industriels du Burkina Faso: Nutritive value of agro-industrial and agricuttural by-products of Burkina Faso », *Sci. Nat. Appliquées,* vol. 22, n° 2, Art. n° 2, 1997, Consulté le: 30 mai 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://revuesciences-techniquesburkina.org/index.php/sciences_naturelles_et_appliquee/article/view/790.

[26] M. Savadogo, G. Zemmelink, H. Van Keulen, et A.J. Nianogo, « Contribution of crop residues to ruminant feeding in different agroecological zones of Burkina Faso », *Revue Élev. Méd. vét. Pays trop., 52 (3-4) : 255-26,* Burkina Faso, 1999. Consulté le: 6 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://revues.cirad.fr/index.php/REMVT/article/download/9672/9666/9673.

[27] Montcho M., Babatoundé S., Aboh B. A., Bahini M. J. D., Chrysostome A. A. M. C., et Mensah G. A., « Disponibilite, Valeurs Marchande Et Nutritionnelle Des Sous-Produits Agricoles Et Agroindustriels Utilises Dans L'alimentation Des Ruminants Au Benin », *Eur. Sci. J. ESJ,* vol. 12, n° 33, p. 422, nov. 2016, doi: 10.19044/esj.2016.v12n33p422.

[28] M. MONTCHO, S. BABATOUNDE, B. A. ABOH, V. BOUGOUMAYAMEOGO, C. A. CHRYSOSTOME, et G. A. MENSAH, « Utilisation des sous-produits agricoles et agro-industriels dans l'alimentation des ovins Djallonké au Bénin: perception des éleveurs, préférences et performances de croissance », *Afr. Sci.,* vol. 13, n° 5, p. 174-187, 2017.

[29] MINISTERE DE L'AGRICULTURE DE L'HYDRAULIQUE ET DES RESSOURCES HALIEUTIQUES, « Cadre d'action pour l'investissement agricole au Burkina Faso », OECD, Burkina Faso, 2011. doi: 10.1787/9789264169098-fr.

[30] A. Sourabié, « Valorisation des sous-produits agro-industriels du Burkina Faso dans l'alimentation du poisson-chat africain Clarias gariepinus et impacts sur la nutrition protéique et lipidique », Universit de Namur, 2019. Consulté le: 5 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://agenda.unamur.be/upevent.2019-02-26.2384488006/view.

[31] MAAH, « Tableau de bord statistique de l'agriculture 2018 », Ouagadougou, Burkina Faso, 2020. Consulté le: 5 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: http://cns.bf/IMG/pdf/maah_tableau_de_bord_statistique_agriculture_2018.pdf

[32] L. D. Tamini, M. L. Fadiga, et Z. Sorgho, « Chaines de valeur des petits ruminants au Burkina Faso : Analyse de situation », 2014. Consulté le: 5 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/66361/PR_SA_Burkinafaso_web.pdf

[33] PROJET REGIONAL D'APPUI AU PASTORALISME AU SAHEL (PRAPS), « CADRE DE GESTION ENVIRONNEMENTALE ET SOCIALE (CGES) », Nouakchott, Mauritanie, 2015. [En ligne]. Disponible sur: http://portails.cilss.bf/IMG/pdf/CGES_PRAPS_Rapport__Regional_-_FINAL18032015red.pdf

[34] V. Millogo, M. Sissao, A. G. Sidibe-Anago, T. O. Amoussou, et G. A. Ouedraogo, « Effet d'une complémentation valorisant les ressources localement disponibles sur les performances de production laitière des vaches en vue de réduire l'intervalle vêlage-vêlage en zone périurbaine de Bobo-Dioulasso au Burkina Faso », *J. Appl. Biosci.,* vol. 142, p. 14575-14586, 2019.

[35] M. Montcho, B. Severin, B. Aboh, M. Bahini, A. Chrysostome, et G. Mensah, « Disponibilite, Valeurs Marchande Et Nutritionnelle Des Sous-Produits Agricoles Et Agroindustriels Utilises Dans L'alimentation Des Ruminants Au Benin », *Eur. Sci. J.,* vol. 12, nov. 2016, doi: 10.19044/esj.2016.v12n33p422.

[36] ORGANISATION MONDIALE, « CADRE CONSULTATIF DU DIRECTEUR GÉNÉRAL: AIDE AU DÉVELOPPEMENT POUR LE COTON », Burkina Faso, 2008. Consulté le: 6 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://docs.wto.org/dol2fe/Pages/SS/directdoc.aspx?filename=R: /WT/CFMC/8.pdf&Open=True.

[37] B. I. Gnanda, « Importance socio-économique de la chèvre du Sahel burkinabè et amélioration de sa productivité par l'alimentation », Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso (UPB), Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 2008. [En ligne]. Disponible sur: https://beep.ird.fr/collect/upb/index/assoc/IDR-2008-GNA-IMP/IDR-2008-GNA-IMP.pdf

[38] J. Baffes, « Marchés des sous-produits du coton : Tendances mondiales et implications pour les producteurs Africains de coton ». 2010. [En ligne]. Disponible sur: https://documents.worldbank.org/curated/en/409051468235448994/pdf/WPS5355.pdf

[39] H. O. Sanon, A. B. Kanwe, A. Millogo, et I. Ledin, « Chemical composition, digestibility, and voluntary feed intake of mango residues by sheep », *Trop. Anim. Health Prod.,* vol. 45, n° 2, p. 665-669, févr. 2013, doi: 10.1007/s11250-012-0275-1.

[40] H. Kante-Traore, H. Sawadogo-Lingani, I. Seogo, D. Kabore, et M. H. Dicko, « Procédés de transformation de la mangue et niveau de connaissance des normes de qualité par les unités de production au Burkina Faso », *Int. J. Biol. Chem. Sci.,* vol. 11, n° 1, p. 195-207, 2017.

[41] K. Timbilfou, M. L. Youssouf, I. Georges, et K.-Z. Chantal-Yvette, « Procédés de production d'aliments non conventionnels pour porcs à base de déchets de mangues et détermination de leurs valeurs alimentaires au Burkina Faso », *J. Appl. Biosci.,* vol. 67, p. 5261-5270, 2013.

[42] T. Kiendrebeogo, Y. M. Logténé, et C.-Y. Kaboré-Zoungrana, « Effets de rations à base de déchets de mangue sur les performances pondérales et la qualité de la carcasse de porcs Korhogo en croissance au Burkina Faso », *J. Appl. Biosci.,* vol. 129, n° 1, p. 13039, janv. 2019, doi: 10.4314/jab.v129i1.7.

[43] K. H. Somé, « Evaluation de l'efficacité de formulations biologiques dans une approche Attract & Kill contre les mouches de fruits au Burkina Faso » », Université de liège, Belgique, Burkina Faso, 2022. Consulté le: 5 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://www.google.com/search?q=H.+Kpierenouor.

[44] S. G. Ouattara, « Analyse socio-économique et institutionnelle de l'adoption des technologies d'amélioration de la productivité des manguiers à l'ouest du Burkina Faso ». » Burkina Faso, 2009. Consulté le: 5 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://beep.ird.fr/collect/upb/index/assoc/IDR-2009-OUA-ANA/IDR-2009-OUA-ANA.pdf

[45] Centre d'Etude, de Formation et de Conseil en Développement (CEFCOD), « SITUATION DE REFERENCE DES PRINCIPALES FILIERES AGRICOLES AU BURKINA FASO », MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE LA SECURITE ALIMENTAIRE, Burkina Faso, 2013. Consulté le: 5 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://docplayer.fr/18247447-Situation-de-reference-des-principales-filieres-agricoles-au-burkina-faso.html.

[46] AGRODEV, « RAPPORT DE L'ETUDE SUR LA FILIERE MANGUE DANS LES REGIONS DES HAUTS – BASSINS, DES CASCADES ET DU CENTRE », Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 2020. Consulté le: 5 juillet 2023. [En ligne]. Disponible sur: https://www.bing.com/search.

[47] K.-T. Hyacinthe, « Titre VALORISATION DES VARIÉTÉS DE MANGUE PRODUITES AU BURKINA FASO : ASPECTS BIOCHIMIQUES, BIOTECHNOLOGIQUES ET NUTRITIONNELS », 2020. doi: 10.13140/RG.2.2.27000.06407.

[48] L. Y. Mopate, C. Y. Kabore-Zoungrana, et B. Facho, « Structure des troupeaux et performances des élevages porcins de la zone de N'Djaména au Tchad », *Int. J. Biol. Chem. Sci.,* vol. 5, n° 1, 2011.

[49] T. Kiendrebeogo, Y. M. Logtene, S. R. Kondombo, et C. Y. Kabore-Zoungrana, « Characterization and importance of pig breeds in the pork industry of the zone of Bobo-Dioulasso (Burkina Faso, West Africa) », *Int. J. Biol. Chem. Sci.,* vol. 6, n° 4, Art. n° 4, déc. 2012, doi: 10.4314/ijbcs.v6i4.13.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1501-1508
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Commercialisation et niveau de consommation des poissons pêchés au lac de Songori (Région du Gontougo, Nord-Est de la Côte d'Ivoire)

[Marketing and level of consumption of fish caught in Lake Songori (Gontougo Region, North-East of Côte d'Ivoire)]

Kouamé Marcel N'DRI[1], Aka Jean-Paul AGNISSAN[2], Djakaria OUATTARA[3], and Guéhi Jonas IBO[4]

[1]Institut de Gestion Agropastorale, Université Peleforo GON COULIBALY, Korhogo, Côte d'Ivoire

[2]UFR des Sciences Biologiques, Université Peleforo GON COULIBALY, Korhogo, Côte d'Ivoire

[3]Direction Régionale du Ministère des Ressources Animales et Halieutiques, Bondoukou, Côte d'Ivoire

[4]UFR Sciences et Gestion de l'Environnement, Université NANGUI Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 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 made it possible to analyze the marketing and consumption of catches from Lake Songori in the Gontougo Region. To do this, a survey was conducted among 8 wholesalers working on this dam and 101 consumers drawn at random from June to August 2014. The results show that the commercial activity is practiced by nationals who have no training in management. of business. The transport and trade of fish takes place in a completely unhygienic environment with rudimentary means of preservation. However, with Oreochromis niloticus as an economically more important species, wholesalers achieve a turnover greater than or equal to 50% compared to fishermen. The local population, for its part, hardly benefits from the catches made, most of the production (75% to 100%) being sold in urban areas. Thus, irregular consumers (46.5%) remain the most numerous. Faced with this situation, the customary authorities should really get involved in the management of this body of water to enable local residents to benefit from it and fight against food insecurity in rural areas. The development of this activity seems logically inevitable to help meet the challenge of self-sufficiency in animal protein at the local level.

KEYWORDS: Catch, Fishmonger, Consumer, Songori Lake, Ivory Coast.

RESUME: Cette étude a permis d'analyser la commercialisation et la consommation des captures issues du lac de Songori dans la Région du Gontougo. Pour ce faire, une enquête a été menée auprès des 8 mareyeurs exerçant sur ce barrage et de 101 consommateurs choisis de façon aléatoire de juin à août 2014. Les résultats montrent que l'activité commerciale est pratiquée par des nationaux qui n'ont aucune formation en gestion commerciale. Le transport et le commerce du poisson se réalisent dans un environnement qui manque totalement d'hygiène avec des moyens rudimentaires pour la conservation. Cependant, avec *Oreochromis niloticus* comme espèce économiquement plus importante, les mareyeuses réalisent un chiffre d'affaires supérieur ou égal à 50% par rapport aux pêcheurs. La population riveraine, quant à elle, ne bénéficie presque pas des prises réalisées, la plus grande partie des productions (75% à 100%) étant vendue en milieu urbain. Ainsi, les consommateurs irréguliers (46,5%) demeurent les plus nombreux. Face à cette situation, les autorités coutumières devraient véritablement s'impliquer dans la gestion de ce plan d'eau pour permettre aux riverains d'en bénéficier et lutter contre l'insécurité alimentaire en milieu rural. Le développement de cette activité semble logiquement incontournable pour contribuer à relever le défi de l'autosuffisance en protéines animales au niveau local.

MOTS-CLEFS: Capture, Mareyeuse, Consommateur, Lac de Songori, Côte d'Ivoire.

Corresponding Author: Kouamé Marcel N'DRI

1 INTRODUCTION

De nos jours, le poisson fait vivre en Afrique plusieurs millions de personnes dont les pêcheurs, les pisciculteurs, les transformateurs, les transporteurs et les commerçants **[1].** Pour **[2],** la pêche est une activité qui contribue aux moyens de subsistance de nombreuses personnes. Elle leur assure un revenu et permet de satisfaire aux besoins nutritionnels essentiels. Selon **[3],** la quantité de poisson destinée à la consommation humaine est de 20,2 kg par habitant par an.

En Côte d'Ivoire, l'économie, essentiellement basée sur l'agriculture avec des performances remarquables en production végétale (cacao, café, ananas, bananes, anacarde, coton, sucre, cultures vivrières, etc.), présente des déficits chroniques en matière de disponibilité en protéines animale et halieutique. En conséquence, l'on assiste à des importations régulières de viandes et abats, de poissons, de lait et produits laitiers, et de produits d'origine animale et halieutique, sources d'importantes sorties de devises évaluées à plus de 400 milliards de FCFA par an **[4].** Concernant le secteur halieutique, il tient une place de choix dans le domaine économique, social et nutritionnel. Le poisson est la première source de protéine animale et sa consommation annuelle est supérieure à 20 kg par habitant depuis 2016, en dépit de la faiblesse de la production nationale qui est généralement comprise entre 70 000 et 100 000 tonnes par an et l'importation de 583 946 tonnes de poissons en 2020 **[4].** La référence **[5]** montre que la production nationale en poisson, de l'ordre de 116 028 tonnes, reste largement inférieure à la demande intérieure estimée à plus de 618 182 tonnes. Le déficit est alors comblé grâce aux importations de poissons sous forme congelée. Pour contribuer à la réduction des importations massives de poissons et à l'insécurité alimentaire, les plans d'eau continentales jouent tant bien que mal leur contribution. C'est par exemple le cas du lac de barrage de Songori où les productions annuelles étaient de 13,33 tonnes en 2013 et de 13,51 tonnes 2014 **[6].** Nonobstant, le circuit de commercialisation et l'impact alimentaire du poisson sur les populations riveraines ne sont pas maitrisés.

Ce travail vise à faire l'état des lieux de l'activité commerciale et du niveau de consommation des poissons issus du lac de barrage de Songori.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 ZONE D'ETUDE

Ce travail a été réalisé sur le lac de barrage de Songori, situé dans la région du Gontougo, au Nord-Est de la Côte d'Ivoire. Cette région est localisée entre 7°10 - 8°75 de latitude Nord et 2°5 - 4° de longitude Ouest. Sa végétation est savanicole avec une transition climatique de type soudanoguinéen. Elle est caractérisée par une température qui oscille entre 16° et 37°C et une pluviométrie moyenne annuelle d'environ 1197,7 mm **[7].**

2.2 COLLECTE DES DONNEES

Pour la réalisation de cette étude, une enquête a été menée auprès des 8 mareyeurs exerçant sur ce barrage et de 101 personnes du village de Songori appelées « consommateurs", choisis de façon aléatoire. Cette étude s'est déroulée de juin à août 2014. Pour ce qui est des mareyeurs, il était question de rechercher leurs caractéristiques sociométriques, les espèces de poissons commercialisés, les principaux clients et les prix de vente pratiqués ainsi que la rentabilité de l'activité. Relativement aux consommateurs riverains, l'entretien a concerné leurs caractéristiques sociodémographiques, leurs connaissances sur les espèces de poissons d'eau douce, leurs fréquences de consommation, l'état physique (frais ou fumé) des poissons consommés, les raisons qui les incitent à consommer ce type de poisson et les prix d'achat du poisson. Avant les enquêtes proprement dites, une rencontre pour expliquer les objectifs du travail a été faite avec les populations grâce à l'appui technique de la chefferie traditionnelle et des services vétérinaires de Bondoukou. La classification des consommateurs selon la fréquence de consommation du poisson est inspirée de celle de **[8].**

2.3 TRAITEMENT DES DONNEES

Le logiciel MICROSOFT OFFICE EXCEL 2007 a servi à faire des calculs quantitatifs et à confectionner les graphiques après le dépouillement des fiches d'enquête.

3 RESULTATS

3.1 COMMERCIALISATION DU POISSON

3.1.1 ASPECTS SOCIOMETRIQUES DES COMMERÇANTS

Les données d'enquête ont montré qu'il était possible d'identifier un seul type d'opérateurs dans le commerce du poisson. Il s'agissait des commerçantes ambulantes qui disposaient de moyens plus ou moins rudimentaires pour la réalisation de cette activité. Caractérisés par leur grande mobilité, ces actrices étaient constituées uniquement que de femmes ivoiriennes (100%) et autochtones (87,5%). Elles n'avaient aucune formation en gestion commerciale et étaient majoritairement non scolarisées (75%). Les caractéristiques socio-économiques des mareyeuses sont consignées dans le tableau 1.

3.1.2 MOYENS DE TRAVAIL

Les mareyeuses ne disposaient ni de moyens techniques (balances pour des pesées), ni de moyens humains (aides commerçants). Par ailleurs, nos enquêtes ont montré que ces actrices se déplaçaient à pied (Figure 1). Rarement, elles empruntaient le transport en commun (taxi-brousse) pour se rendre en ville (Bondoukou), principal point de vente. Les observations de terrain ont permis de constater que certains maris pêcheurs aidaient souvent leurs femmes à transporter le poisson à vélo en cas de disponibilité.

Tableau 1. Caractéristiques socio-économiques des mareyeuses

Paramètres	Caractéristiques	Proportions (%)
Sexe	Femmes	100
Age	Moins de 30 ans De 30 à 45 ans	50 50
Niveau d'étude	Non scolarisé Primaire	75 25
Situation matrimoniale	Célibataires Mariées	75 25
Personnes en charge	Moins de 5 5 et plus	37,5 62,5
Nationalité	Ivoirienne	100
Groupe ethnique	Abron Koulango Agni	50 37,5 12,5
Religion	Chrétienne Musulmane	87,5 12,5
Activité principale	Cultivatrice Autres	75 25
Formation en gestion commerciale	Pas de formation	100
Année d'expérience	Moins de 5 ans 5 ans et plus	50 50
Raison d'adoption de ce métier	Economique Mari pêcheur	62,5 37,5

Fig. 1. Une mareyeuse transportant du poisson à pied

Le constat est que le transport et la vente du poisson se réalisaient dans un environnement qui manquait totalement d'hygiène avec des moyens rudimentaires pour la conservation. En effet, le transport du poisson était fait dans des bassines à moitié couverte avec un simple sac. L'utilisation de la glacière et de la glace pour une bonne conservation des produits de pêche n'étaient pas de règle chez les mareyeuses de cette localité. Aussi, la vente se faisait-elle de façon ambulante.

3.1.3 ORGANISATION DU MARCHE

Les résultats ont indiqué que les débarcadères servaient de point de vente des captures aux mareyeuses. En fonction des modalités de vente du poisson, 70% des pêcheurs vendaient leurs prises à crédit, sans fixer de taux d'intérêt, ni de véritable délai de paiement. Les mareyeuses sincères payaient le crédit dans les délais d'un à trois jours. Le reste (30%) constituait le groupe de pêcheurs qui livraient uniquement au comptant leurs captures.

3.1.4 DESTINATION DU POISSON

Guidés par le souci de maximiser leurs bénéfices, les poissonniers s'orientaient vers la ville de Bondoukou avec 75% à 100% des productions, dominées par l'espèce *Oreochromis niloticus*. Ces poissons étaient vendus auprès des restaurants, fonctionnaires et particuliers. Outre cette destination, une partie du poisson (maximum 25% des productions) était parfois acheminée vers le village de Songori et les villages voisins. Le circuit de commercialisation du poisson est représenté par la figure 2.

3.1.5 PRIX DU POISSON

Les poissons pêchés étaient entièrement conservés et vendus frais par les acteurs.

Sur le marché de production (bord champ), le prix variait de 1 000 à 2 000 FCFA et plus par tas. Les tas étaient constitués soit de 4 poissons de 150 à 250 g environ chacun ou de 3 à 5 poissons de 400 à 500 g environ chacun. Aussi, certains pêcheurs utilisaient-ils de temps à autre le peson des agents des services vétérinaires pour peser le poisson vendu. Dans ce cas, le poisson était vendu à 1 000 FCFA le kg sans tenir compte de la taille ni de l'espèce de poisson. Nos observations directes de terrain ont permis de savoir que les poissons de petite taille, appartenant le plus souvent aux familles des Cichlidae et Characidae étaient livrés à un prix allant de 100 et 500 FCFA/tas.

Sur le marché de consommation, le constat est que les poissons achetés aux pêcheurs étaient revendus aux consommateurs par les mareyeurs au prix de 500 à 3 000 FCFA et plus par tas. En effet, la commerçante reconstituait le tas en enlevant un ou deux poisson (s) sur le tas initial, puis, le revendait au même prix que celui du marché de production. Dans ce cas, le poisson soustrait constitue sa marge brute. Parfois, elle laissait intact le tas initial ou ajoute un à deux poisson (s) pour le revendre à la hausse.

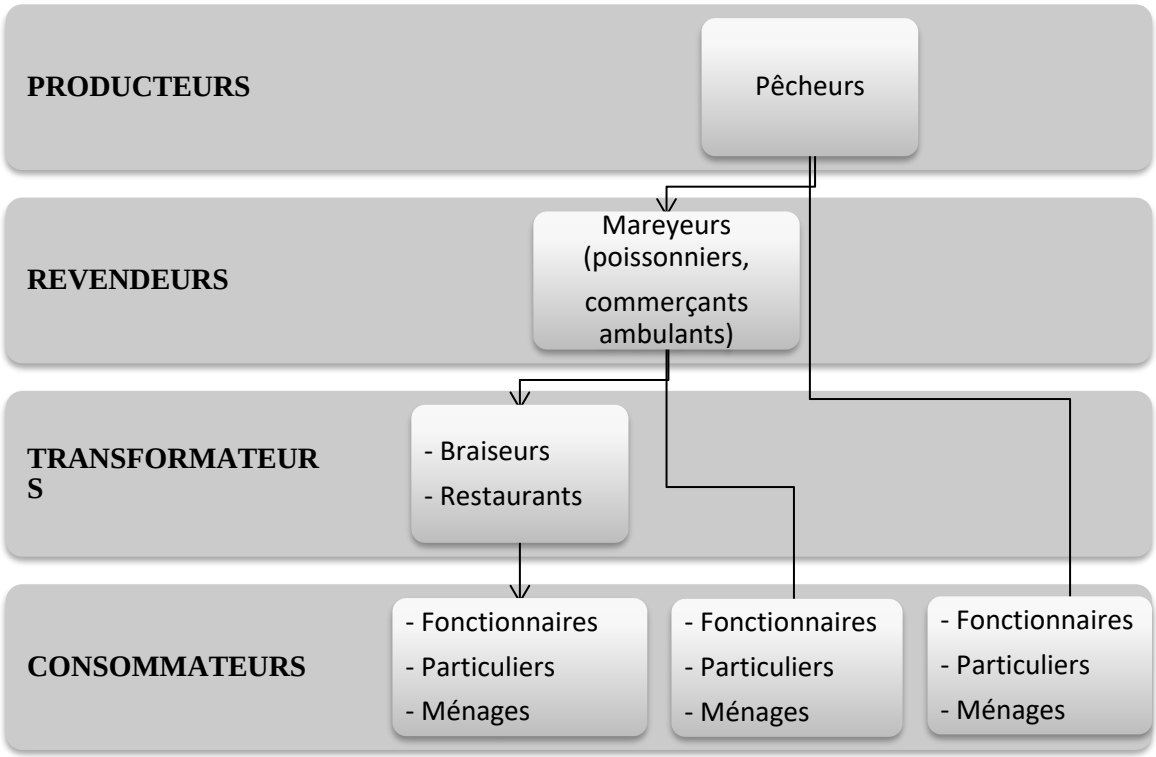


Fig. 2. Circuit de commercialisation du poisson issu du lac de Songori

3.1.6 RENTABILITÉ

En se référant au prix du poisson sur le marché de production et de consommation, l'analyse de nos données a indiqué que les mareyeurs réalisaient un chiffre d'affaires supérieur ou égal à 50% par rapport aux pêcheurs. Les pêcheurs considèrent les mareyeurs comme un groupe d'opérateurs économiques qui tire le plus de bénéfice de la pêche. En effet, la participation des mareyeurs au financement de la pêche (achat de filets par exemple) conduit les pêcheurs à leur livrer le poisson à un prix relativement bas. L'espèce de poisson qui contribue de manière significative à l'augmentation de la marge bénéficiaire des commerçantes était le tilapia *Oreochromis niloticus*.

3.2 CONSOMMATION DU POISSON

3.2.1 CARACTÉRISTIQUES SOCIODÉMOGRAPHIQUES DES CONSOMMATEURS

Le tableau 2 présente les caractéristiques sociodémographiques des consommateurs.

Tableau 2. Caractéristiques sociodémographiques des consommateurs de poissons

Paramètres	Caractéristiques	Pourcentage
Nationalité	Ivoirienne	96
	Burkinabé	4
Sexe	Masculin	59,4
	Féminin	40,6
Age	Moins de 30 ans	29,7
	De 30 à 45 ans	49,5
	45 ans et plus	20,8
Niveau d'étude	Non scolarisés	44,6
	Primaire	20,8
	Secondaire	26,7
	Supérieur	7,9
Situation matrimoniale	Célibataires	29,7
	Mariés	67,3
	Veufs	3
Personnes en charge	Moins de 5	33,7
	De 5 à 10	44,5
	Plus de 10	21,8
Activité principale	Agriculteur	78,2
	Autres	21,8
Revenu du ménage	0 à 100 000 F	34,7
	De 100 à 300 000F	33,6
	Plus de 300 000 F	34,7

3.2.2 CONNAISSANCE DU POISSON

Pour ce qui est du nom des espèces de poissons, les résultats obtenus ont montré que le tilapia (56,3%), le mâchoiron (15,8%), le silure (12,9%) et le « poisson cameroun » (11%) étaient les espèces les plus connues et les plus citées spontanément dans la zone de Songori.

3.2.3 RAISONS DE LA CONSOMMATION DU POISSON LOCALEMENT PÊCHÉ

Les raisons d'achat et de consommation du poisson issu des pêches sont diverses.

Le goût agréable du poisson a été la raison principale citée par les riverains (87,13%). La seconde raison évoquée était le facteur prix du poisson jugé abordable pour une proportion de 30,69%. Enfin, d'autres raisons de moindres importances telles que le fait d'avoir le poisson gratuitement, la proximité du point de vente et l'habitude de consommation ont été signalées.

3.2.4 CONSOMMATION PROPREMENT DITE DU POISSON

Nos enquêtes ont montré que 85 consommateurs soit 84,16% préféraient les poissons pêchés dans les plans d'eau naturelle. Les poissons congelés et ceux des fermes piscicoles ont été faiblement cités avec des proportions respectives de 11,88% et 2,97%.

La fréquence de consommation du poisson issu du lac de Songori était très variable. Les consommateurs enquêtés ont été subdivisés en quatre catégories. Il s'agissait:

- Des consommateurs réguliers (17,8%) dont la fréquence de consommation était quotidienne ou de quelques jours par semaine.
- Des consommateurs modérés (11,9%) qui consommaient le poisson quelques fois par mois.
- Des occasionnels (23,8%) avec une fréquence de consommation d'une fois/mois.
- Des consommateurs irréguliers (46,5%) qui consommaient rarement ce type de poisson.

Le constat est que les consommateurs irréguliers étaient les plus nombreux. Les captures dudit lac étaient donc moins consommées par les populations riveraines.

4 DISCUSSION

Les commerçantes enquêtées sont toutes des Ivoiriennes. Cette situation pourrait s'expliquer par le fait que les nationaux et plus particulièrement les femmes manifestent un engouement pour ce secteur d'activité. Ces emplois sont donc occupés par des personnes qui connaissent probablement mieux cette profession et entretiennent des réseaux et des relations privilégiés avec leurs fournisseurs et leurs clients.

Les mareyeuses n'avaient aucune formation en gestion commerciale et étaient majoritairement illettrées (75%). Cela se justifierait par leur faible niveau d'étude, mais également par le fait que la majorité d'entre elles ne fait pas de ce secteur, une activité principale et professionnelle.

Le principal moyen de transport des commerçantes était le déplacement à pied (la marche). Ce résultat est contraire à celui de **[9]** au lac de Bolondo. Cet auteur a indiqué que les acteurs utilisaient des camionnettes et des motocyclettes comme moyens de transport qui étaient loués par les commerçants. La nécessité d'utiliser la marche comme moyen de transport chez les mareyeuses de Songori pourrait être due au fait que ce lac n'est pas trop éloigné de la ville de Bondoukou (environ 7 km). Une autre raison qui pourrait justifier ce fait est que les acteurs ne disposent pas d'assez de moyens financiers pour se procurer des engins roulants.

Concernant l'organisation du marché, 70% des pêcheurs vendaient leurs prises à crédit, sans fixer de taux d'intérêt, ni de véritable délai de paiement. Cette situation se justifierait par le fait que cette forme de régulation du marché est très bénéfique pour les deux groupes d'acteurs. En effet, les mareyeuses ne sont pas obligées d'avoir de la liquidité sur elles avant d'avoir du poisson. Les pêcheurs, quant à eux, estiment que cette stratégie leur permet d'éviter les pertes (putréfaction des poissons) et donc de faire des économies. Ce résultat est contraire à celui de **[9],** où seulement 15,38% des pêcheurs vendaient à crédit leurs captures. La plus grande partie des prises (75% à 100%) était vendue dans la ville de Bondoukou avec des prix assez variables. L'explication de cet état de fait pourrait venir du haut pouvoir d'achat des populations vivant en ville. En plus, la variation du prix serait liée à la période, à l'espèce et surtout à la taille du poisson.

Les poissons pêchés étaient entièrement conservés et vendus frais par les acteurs. Cette situation serait due au fait que la production est peu importante. En plus, les mareyeuses parviennent à vendre en général la totalité du poisson le même jour. Au lac de Bolondo, en revanche, ce mode de conditionnement est quelquefois associé au fumage **[9].** Les résultats de **[10],** au niveau du lac de Buyo, ont également indiqué qu'il existe deux principaux modes de conservation du poisson: frais (65%) et fumage (35%).

Relativement à la fréquence de consommation, les irréguliers étaient les plus nombreux (46,5%). Les captures dudit lac étaient donc moins consommées par les riverains. Ce résultat n'est pas conforme à celui de **[9]** qui a montré que les consommateurs réguliers sont les plus nombreux avec une proportion de 54,6% de l'échantillon et qu'aucun consommateur irrégulier n'a été enregistré à Bolondo.

La proportion élevée des consommateurs irréguliers pourrait s'expliquer par le fait que les consommateurs n'avaient pas très souvent accès aux poissons du lac. Une autre raison justifiant ce fait est que ce type de poisson serait vendu cher par les pêcheurs. Ce qui obligeait les consommateurs à se référer à d'autres sources de poisson plus disponibles et qui coûteraient relativement moins cher. C'est le cas du poisson sec communément appelé « mangne » ou « pouror hilègor en Koulango ». Pour les pêcheurs, la réalité est que les villageois avaient un faible pouvoir d'achat. En effet, le poisson qui était vendu par exemple à 2 000 FCFA aux mareyeurs ou à toute autre personne étrangère couterait 1 000 FCFA lorsqu'il est vendu aux villageois. Or, chaque pêcheur payait, aux autorités coutumières (se réclamant propriétaire du lac), une taxe oscillante entre 500 et 1 500 FCFA par jour de pêche et en fonction de la période. Cette taxe était chaque fois rediscutée entre pêcheurs et hommes coutumiers selon que la saison de pêche est bonne ou mauvaise. Donc, les pêcheurs préféraient vendre leurs productions aux mareyeurs (en priorité) ou aux particuliers (venant de la ville) qui avaient un pouvoir d'achat élevé. Ce qui leur permettait de mieux rentabiliser leurs activités et payer les taxes qui était obligatoires. Même si les arguments avancés par les pêcheurs paraissaient fondés, ils ne pourraient à eux seuls justifier leur refus de vendre le poisson aux riverains. La faible

productivité du lac y serait vraisemblablement pour beaucoup dans cette situation. Nos observations sont comparables à celles de **[11].** Cet auteur a montré, chez les populations rurales et urbaines du Ghana, que l'achat et la consommation de poisson dépendent non seulement de son prix et des autres sources de protéine animale, mais aussi de sa disponibilité qui influe la préférence et le comportement du consommateur.

5 CONCLUSION

Au lac de Songori, l'activité commerciale des captures de la pêche est essentiellement tenue par des mareyeuses qui sont toutes des nationaux. L'analyse de la commercialisation montre la dimension de l'emploi et de la richesse créée par ce secteur. Elle constitue l'un des moyens de subsistance pour une frange de la population et contribue à la promotion socio-économique des acteurs. Cependant, la population riveraine ne bénéficie presque pas de prises réalisées.

Face à cette situation, les autorités coutumières devraient véritablement s'impliquer dans la gestion de ce plan d'eau afin de permettre aux riverains d'en tirer profit et de lutter contre l'insécurité alimentaire en milieu rural. Le développement de cette pêcherie apparaît logiquement inéluctable pour aider à relever le défi de l'autosuffisance en protéine animale sur le plan local.

REFERENCES

[1] FAO, La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture, résumé FAO, CA0191FR/1/07.18. 32p, 2018.
[2] Ekouala L., Le développement durable et le secteur des pêches et de l'aquaculture au Gabon : une étude de la gestion durable des ressources halieutiques et de leur écosystème dans les provinces de l'Estuaire et de l'Ogooué Maritime. Thèse en Géographie, Université du Littoral Côte d'Opale, Ecole doctorale SESAM (E.D n°73). 410p, 2013.
[3] FAO, La Situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2022. Vers une transformation bleue. Rome, FAO. https://doi.org/10.4060/cc0461fr. 294p, 2022.
[4] MIRAH, Politique Nationale de Développement de l'Elevage, de la pêche et de l'Aquaculture (PONADEPA 2022-2026), Rapport final. 178p, 2022.
[5] Yayo N'cho, A.J., Aka K.S. et Tano K. Faible niveau de production halieutique nationale face à la demande croissante de la population en Côte d'Ivoire. Fiche technique et Document de Vulgarisation. n°1, pp. 24 - 29, 2020.
[6] K.M. N'dri, M. Diaby, K Yao et G.J. Ibo, "La pêche continentale au lac de Songori (région du Gontougo ; nord-est de la Côte d'Ivoire) : facteurs de production et niveau d'exploitation halieutique," Agronomie Africaine, vol. 32, n°3, pp. 353 - 363, 2020.
[7] MIPARH, Rapport annuel d'activites. Direction Régionale de la Production Animale et des Ressources Halieutiques de Bondoukou. 36p, 2008.
[8] Mtimet N., Analyse socio-economique de la filiere de la pisciculture continentale au Nord-Ouest de la Tunisie. Projet « Sauvegarde et valorisation socio-economique des ressources environnementales de la région Nord-Ouest de la Tunisie ». COSPE/GIPP. 150p, 2010.
[9] N'dri K.M., Gestion de la pêche et de la pisciculture en milieu continental ivoirien : état des lieux et aspects socio-économiques. Thèse de Doctorat Unique, Sciences et Gestion de l'Environnement, Université de Nangui Abrogoua (Côte d'Ivoire), 155p, 2018.
[10] Vanga A.F., Conséquences socio-economiques de la gestion des ressources naturelles : cas des pecheries dans les lacs d'Ayamé et de Buyo (Cote d'Ivoire). Thèse de Doctorat Unique, Sciences et Gestion de l'Environnement, Université d'Abobo-Adjamé, Cote d'Ivoire. 210p, 2001.
[11] Heinbuch U., Sources de proteines animales pour les populations rurales et urbaines du Ghana. Rapport Technique n°58. 49p, 1994.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1509-1514
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Individual gears fishing in Aby lagoon (Adiaké, Côte d'Ivoire): Stakeholders, fishing gear, catches and constraints

Kouamé Marcel N'DRI[1], Moustapha DIABY[1], Koudou Lobel Henri Michel ADJI[2], and Dramane DIOMANDE[3]

[1]Institute of Agropastoral Management, Peleforo GON COULIBALY University, Korhogo, Côte d'Ivoire

[2]Departmental Directorate of the Ministry of Animal and Fishery Resources, Adiaké, Côte d'Ivoire

[3]UFR Sciences and Environmental Management, NANGUI Abrogoua University, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2023 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 lagoon waters of Côte d'Ivoire contribute to the country's self-sufficiency in fish products, in the face of ever-increasing needs. This study examines the current state of exploitation of the Aby lagoon by individual fishermen. It is the result of three months of surveys, from April to June 2022, with fishermen and the fisheries administration of Adiaké. The results show that fishing is in the hands of nationals. Mostly uneducated (50%), those traditional fishermen use as dominant gears: small-mesh nets (75.20%) and nailed plank pirogues (61.91%). The most important species in catches are *Ethmalosa fimbriata* and *Sarotherodon melanotheron* with proportions of 34.78% and 30.43% respectively. The annual biomass is estimated at around 275.73 tons. There is a poor cooperation between fishermen and the administration, which impacts negatively the statistical data. The use of non-selective gears remains one the major constraints against the preservation of aquatic biodiversity. Therefore, management programs and research projects have to be implemented for avoiding an eventual collapse of stocks. A study on the spatio-temporal distribution of species with high aquaculture potential could be considered.

KEYWORDS: Aby Lagoon, Catches, Côte d'Ivoire, Fishing gears, Individuals fishermen.

1 INTRODUCTION

Fish resources represent the main animal proteins accessible to many people. Worldwide, in 2017, average per capita fish consumption was estimated at around 20.5 kg. Today, fish provides a livelihood for several millions of people in Africa, including fishermen, fish farmers, processors, transporters and traders **[1].** Fishing thus contributes to the livelihood of many people around the world. It is a source of income and it contributes to the satisfaction of their essential nutritional needs **[2].**

Côte d'Ivoire has an extensive hydrographic system, with over 550 km of seafront, four rivers, lakes and three lagoon complexes (Ebrié, Aby and Grand Lahou) in the south **[3].** Despite this fishing potential, national fish production of the order 116.028 tons, remains largely below domestic needs, estimated at over 618.182 tons. The deficit is therefore made up by imports of frozen fish **[4].** Nevertheless, lagoon fishing is playing its part in order to reduce these imports, which represent a considerable outflow of currency. Fishing in the Aby lagoon is no less important.

The Aby lagoon offers an exploitable surface area of 425 km^2. Previous studies on fishing, carried out by **[5], [6], [7], [8], [9] and [10],** testify the interest shown in this activity. According to **[9],** this has led administrative authorities, fishing industry players and researchers to become aware of the vitality of the sector in recent years. However, problems of exploitation linked to the influx of local and foreign communities, on the one hand, and to the strong pressure of fishing activity on the other hand, contribute to making it vulnerable.

This study was initiated to assess the state of individual gear fishing in this fishery. It describes fishing techniques, the level of biomass exploited and the constraints involved. The results obtained could be used for any policy to improve local fishing.

Corresponding Author: Kouamé Marcel N'DRI

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 STUDY AREA

This study was carried out in the Aby-Tendo-Ehy lagoon complex, covering an area of 425 km^{2,} precisely in the Aby part (Figure 1). The site concerned is covered by the department of Adiaké. It lies between latitude 5°30' N and longitude 3°15' W **[11].**

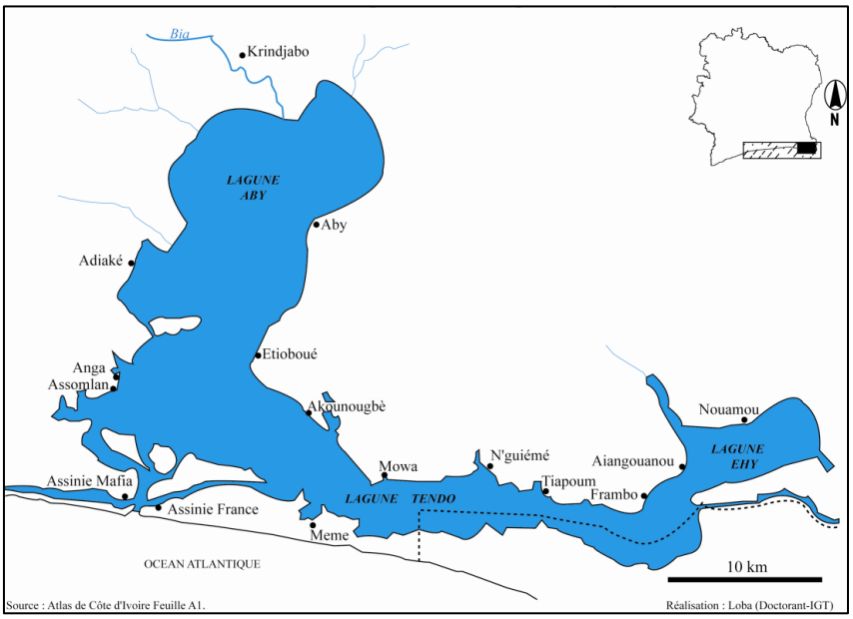


Fig. 1. Study area

2.2 DATA COLLECTION

Three methodological approaches were used from April to June 2022 to collect data. The first involved administrating a questionnaire to 70 fishermen operating at the sites of Eplemlan, Erokouan, Mauricekro and Akpagne. Secondly, an interview was conducted with agents of the Ministry of Animal Resources and Fisheries responsible for the monitoring and the statistic on fisheries production. Finally, visits were made to landing stages to examine the fishing equipment utilized, using tape measure and decameter. Information were sought on the type of fishermen, the fishing gears used, the species of fishes caught, the level of fishing exploitation and the difficulties encountered.

The age distribution of fishermen is inspired by that of **[12].** The guide in **[13]** was used to identify fishing gears. Gillnets were characterized by measuring the total stretched length and the meshes side in millimeters. The keys of **[14]** and **[15]** were used to identify fish species and families. For estimated production, daily weightings of catches were carried out using balance after the identification of the various fish species.

3 RESULTS

3.1 TYPES OF FISHERMEN

The fishermen surveyed were all Ivorian, indigenous and of Agni ethnicity. In addition, they were mostly without alternative activities (90% of stakeholders).

In socio-professional plan, 60% of those stakeholders were professional fishermen. Semi-professional (30%) and occasional fishermen (10%) were less numerous. However, 80% of all fishermen considered themselves to be traditional. In terms of years of experience, 60% had more than 10 years' experience. Those with between 5 and 10 years' experience accounted for 40%.

The fishermen surveyed did not belong to any cooperative society or formal organization. They refused to be identified and to submit their catches to veterinary controls. As a result, they carried out this activity without a fishing license or identification card. They were therefore considered as illegal fishermen.

In terms of level of education, half of the fishermen were illiterate (50%). In the category of school-educated fishermen, 30% had the level of primary school education, while those with secondary and higher education level each accounted for 10%.

Finally, in the terms of age, 80% of the surveyed fishermen were each above 45 years old (old age class). The others were in the 30-40 age group (20%). Young people (under 30) were therefore absent from this activity.

3.2 FISHING GEARS

3.2.1 BOATS

The survey identified 147 pirogues, the majority of those pirogues were pirogues with ribs (91 pirogues or 61.91%), one model of which is shown in figure 2A. The others were monoxyl pirogues (56 or 38.09%). Each fisherman owned between one and four pirogues, with 60% owning at least two. The maximum number of men was 4 (80%) of pirogues).

3.2.2 CAPTURE GEARS

Two types of fishing gears were identified. These were gillnets (Figure 2B) and hawks nets, numbering 242 and 7 respectively.

Gillnets accounted for 97.19% of fishing gears. They were divided into small-mesh nets (≤ 25 mm side mesh) for a total of 182 nets (75.20%) and medium-mesh nets (between 25 and 35 mm side mesh) for the remainder (24.80%). Their length varied from 75 m to 100m. The number of hawk nets per fishermen ranged from 1 to 3, with an average of 2 nets.

The majority of fishermen owned their fishing gears (90%). The others (10%) rented the gears for 1500 FCFA / net / fishing. Concerning the period of activity, 70% of those surveyed fished both day and night, 20% at night and only 10% during the day. Moreover, fishing was a year-rounded activity in this locality.

A: Pirogue with ribs *B: Gillnet*

Fig. 2. Some of the fishing gears found on the landing stages

3.3 FISH SPECIES CAUGHT

Six fish species were identified in the catches. These were *Ethmalosa fimbriata, Sarotherodon melanotheron, Mugil curena, Elops lacerta, Lichia glauca* and *Chrysichthys sp*. Their distribution is shown in the figure 3. The species *Ethmalosa fimbriata* (Clupeidae) and *Sarotherodon melanotheron (*Cichlidae) were in the majority, with proportions of 34.78% and 30.43% respectively. The least common was *Mugil curena* (Mugilidae) with 4.44% of productions.

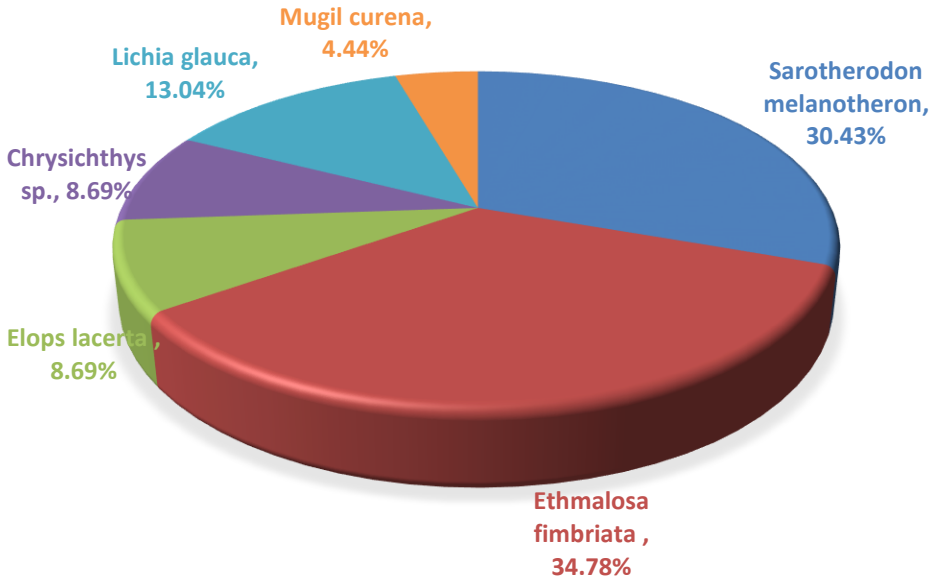


Fig. 3. Fish species caught in Aby lagoon by individual fishermen

3.4 FISH PRODUCTION EXPLOITED

Total annual biomass was estimated at around 275.73 tons, with each fisherman producing an average of 3.93 tons/year. High catches were achieved in June, July, August and September, when fishermen recorded between 30 and 150 kg of fish per fishing trip. Conversely, low production was recorded in January, February, November and December, with catches generally below 25 kg/day/fisherman.

3.5 REGISTERED CONSTRAINTS

Many difficulties exist in the collaboration between fishermen and the public administration in charge of controlling fishing on this stretch of water. According to these public officials (Veterinary Services), individual fishermen remain hostile towards them. Among other difficulties, no formal organization exist among the fishing communities. However, there is an informal association of individual fishermen, which operates as well as it can. Also, in relation to the census of catch levels, fishermen were not at all cooperative at this level, for fear of being regularly required to pay taxes. Only catches declared by fishmongers are therefore taken into account. Individual fishermen therefore reigned supreme on this stretch of water.

4 DISCUSSION

The indigenous nationals have exclusively control over the fishery studied. Most are traditional fishermen, and most have no alternative activities. This situation may be explained by the fact that fishing is their main source of employment, income and means of fighting against food insecurity. In addition, **[10]** notes that in the Aby lagoon, the reasons for banning foreign fishermen from working there were linked to their habit of abusive fishing, including the use of illegal gears and toxic products. This ban, confirmed by **[9],** is still the rule on this stretch of water. However, it does not seem to be applied to other lagoon water stretch in Côte d'Ivoire. Indeed, the authors **[16]** recorded 34.76% of foreign fishermen as Ghanaians, Malians, Togolese and Senegalese on the Grand-lahou lagoon. Furthermore, **[17]** reveals that on the lagoon water of Côte d'Ivoire, indigenous fishermen have gradually abandoned fishing in favor of new speculations (rubber farming, for example) deemed more economically profitable.

With regard to educational level, it was noted that fishermen were more likely to be illiterate (50%) and to have primary school education level (30%). Similar observations were made by **[16],** where 63.10% of the fishermen surveyed were illiterate, 24.60% of primary level and 12.30% of secondary level. This result is justified by the fact that they are traditional fishermen. As fishermen themselves, their parents gave almost no priority to sending their children to school.

With regard to fishing gears, individual fishermen prefer gillnets (97.19%) to hawk nets. Reference **[9]** mentions, in addition to these two fishing gears, the use of creels in Aby lagoon. Observations in this work are similar to those made by **[16]** where

fishermen use the same gears (79.68% gillnets and 20.32% hawk nets). The preference for these fishing gears by individual fishermen could be explained by their ease of handling and relatively low acquisition cost.

In addition, small-mesh gillnets (≤ 25 mm side mesh) with a proportion of 75.20% were the most used by fishermen. It should be noted that Ivorian administration does not authorize the use of side meshes smaller than 35 mm for this type of gear in continental fishing, according to public administration officials. As result, abusive fishing is practised there. According to **[10],** the reason for this is the search for more catches in order to improve profitability in a competitive environment with the collective of fishermen, whom they accuse of excessive fishing. Furthermore, **[18]** notes that the use of unconventional gears in Lake Bolondo in the Bagoué region could be explained by the lack of training and insufficient supervision of those involved in the industry.

Annual production was estimated at 275.73 tons, with each fisherman producing an average of 3.93 tons/year. Furthermore, catches are dominated by the species *Ethmalosa fimbriata* (34.78%) and *Sarotherodon melanotheron* (30.43%). The dominance of these species is in line with the findings of **[10],** which showed that *Ethmalosa fimbriata* was in the first place with a proportion of 60% followed by *Sarotherodon melanotheron,* which accounted for 20% of catches provided by the individual and collective gear pair. However, the biomass obtained remains lower than the actual quantity. Not all individual fishermen were surveyed. Also, as indicated in the results, the catches of these individual fishermen are not taken into account by agents responsible for collecting the statistics. Another reason for this underestimation is that collecting statistics remains a difficult activity.

5 CONCLUSION

In the Aby lagoon, individual fishermen are Ivorian. They are more illiterate and have a primary school education level. Fishing is mostly carried out with non-regulation gillnets. Catches are dominated by the species *Ethmalosa fimbriata* and *Sarotherodon melanotheron*. Poor cooperation between fishermen and the public administration has a negative impact on data collection and the organization of fishing activities. In order to avoid a possible collapse of stocks, development programs and research projects must be implemented to restore the lagoon and its resources.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that they have no competing interests.

AUTHORS' CONTRIBUTIONS

Kouamé Marcel N'DRI and Koudou Lobel Henri Michel ADJI collected data from fishermen and the fisheries administration. Kouamé Marcel N'DRI and DIABY Moustapha took part in drafting the document. Dramane DIOMANDE supervised the work.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank the Adiaké Departmental Director of Animal and Fisheries Resources, his technical staff and the fishermen for their cooperation and help in the field.

REFERENCES

[1] FAO, La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture, résumé FAO, CA0191FR/1/07.18, 32p, 2018.

[2] Ekouala L., Le développement durable et le secteur des pêches et de l'aquaculture au Gabon : une étude de la gestion durable des ressources halieutiques et de leur écosystème dans les provinces de l'Estuaire et de l'Ogooué Maritime. Thèse en Géographie, Université du Littoral Côte d'Opale, Ecole doctorale SESAM (E.D n°73), 410p, 2013.

[3] MIRAH, Plan stratégique pour le développement de l'élevage, la pêche et de l'aquaculture en côte d'ivoire (PSDEPA 2014-2020), tome 1, Abidjan côte d'ivoire, 102p, 2014.

[4] Yayo N'cho, A.J., Aka, K. S. et Tano, K., Faible niveau de production halieutique nationale face à la demande croissante de la population en Côte d'Ivoire, Fiche technique et Document de Vulgarisation, 1, pp. 24-29, 2020.

[5] C. H. Perrot, "Le système de gestion de la pêche en lagune Aby au XIXème siècle (Côte d'Ivoire)", Cahier des sciences humaines, pp. 159-176, 1989.

[6] Y. N. N'goran, "Statistiques de pêche en lagune Aby (côte d'Ivoire) : évolution de l'effort et des captures de 1979 à 1990", Jour. Ivoir. Océanol., 3(1), pp. 25-37, 1998.

[7] Koulaï E., La pêche dans la sous-préfecture d'Adiaké : le cas des villages d'Assomlan et d'Eplemlan, mémoire de maîtrise, université de cocody, Abidjan, IGT, 138p, 2005.

[8] Koulaï E., Exploitation des eaux et développement durable des pêches en lagune Aby (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat de l'université Félix Houphouët Boigny, 312p, 2012.

[9] E. Koulaï, "Situation actuelle de la pêche en lagune Aby 30 ans après l'effondrement des stocks de 1980-1981 (Côte d'Ivoire)". Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement, 1, 2014.

[10] Kouamé Marcel N'DRI, Koffi Dongo KOUASSI, Gboko Konan Gatien BROU, Kouakou YAO, "Fishing methods, catches composition and exploited biomass in the Aby lagoon (Adiaké, Côte d'Ivoire)", Int. J. Biol. Chem. Sci. 17(2), pp. 316-324, 2023.

[11] MIRAH, Rapport annuel d'activités. Direction des pêches d'Adiaké, 8p, 2019.

[12] L. Tah, K. S. Da Costa, J. N. Kouassi, J. Moreau, "Effort de pêche et production piscicole au lac d'Ayamé I (Bassin de la Bia; Côte d'Ivoire) après le départ des pêcheurs «Bozos»", Agronomie Africaine, 21(1), pp. 103-115, 2009.

[13] Douguet L., Guide de reconnaissance des engins et filets de pêche artisanale utilisés dans les Aires Marines Protégées d'Afrique de l'ouest, 36p, 2009.

[14] Lévêque, C., Paugy, D., Teugels, G. G., Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres d'Afrique de l'Ouest, Tome 1, 386p, 1990.

[15] Lévêque, C., Paugy, D., Teugels, G. G., Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres d'Afrique de l'Ouest, Tome 2, 521p. 1992.

[16] M. Diaby, K. N'Da, K. S. Konan, "La pêche des poissons Mugilidae dans la lagune de Grand-Lahou (Côte d'ivoire) analyse de l'organisation de la pêche, des captures et de l'effort de pêche", Tropicultura, 30(3), pp. 173-179, 2012.

[17] K. P. Anoh, "Stratégies comparées de l'exploitation des plans d'eau lagunaire de Côte d'Ivoire", Les Cahiers d'Outre-Mer, 251, pp. 347-363, 2010.

[18] K. M. N'dri, "Typologie de la pêche et niveau de biomasse exploitée au lac de Bolondo (région de la bagoué; nord de la Côte d'Ivoire)", Agronomie Africaine, 31(1), pp. 1-9, 2019.

International Journal of Innovation and Applied Studies
ISSN 2028-9324 Vol. 40 No. 4 Oct. 2023, pp. 1515-1530
© 2023 Innovative Space of Scientific Research Journals
http://www.ijias.issr-journals.org/

Modélisation à 3D des effets des pertes d'électrons à la jonction d'une cellule PV au silicium polycristallin sur ses performances

[3D modelling of the effects of electrons losses at the junction of a polycrystalline silicon PV cell on its performance]

Ramatou Saré[1], Mamoudou Saria[1], Dioari Ulrich Combari[2], Idrissa Sourabié[3], Vinci De Dieu Bokoyo Barandja[4], Martial Zoungrana[1], and Issa Zerbo[1]

[1]Laboratoire d'Energies Thermiques REnouvelables (L.E.T.RE), Ecole Doctorale Sciences et Technologies, Université Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou, Burkina Faso

[2]Ecole Polytechnique de Ouagadougou, Ouagadougou, Burkina Faso

[3]Laboratoire de Chimie Analytique, de Physique Spatiale et Énergétique (L@CAPSE), Ecole Doctorale Sciences et Technologies, Université Norbert ZONGO, Koudougou, Burkina Faso

[4]Département de Physique, Université de Bangui, Bangui, Central African Republic

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This work investigated, using a 3-D modelling, the influence of electrons losses on the performance of a polycrystalline silicon PV cell.
The electrons transport equations have been solved by taking into account the rate of electrons lost at the junction (Sf_0) to find the expression of the electrons' density which allowed to derive the expressions of the electrical parameters ($J_{ph,}$ $V_{ph,}$ P) then those of the performance parameters (η, R_{sh}) of the PV cell grain. Then we analyzed, from a numerical simulation, the effects of the rate of electrons lost at the junction (Sf_0) on the performance parameters (η, R_{sh}) found from the curves of output power (P_T) -diffusion velocity (Sf_j).
Results of simulation showed that, in open circuit, there is a leakage current at the junction of the PV cell grain whose density increases from 0 $mA.cm^{-2}$ à 58.80 $mA.cm^{-2}$ resulting in a drastic drop in the shunt resistance from infinity to 4.273 $\Omega.cm^2$ and a drop in the conversion efficiency of 34.376%. Considering the manufacturers' standards, 20% drop in efficiency, so for $Sf_0 = 1{,}790\times10^4$ $cm.s^{-1}$ the PV cell is degraded.

KEYWORDS: PV cell, degradation, leakage current, loss of electrons, performance.

RESUME: L'objectif de ce travail est d'étudier, à 3-D, l'influence des pertes d'électrons sur les performances d'une cellule PV au silicium polycristallin.
Les équations de transport des électrons ont été résolu en prenant en compte le taux d'électrons perdus à la jonction (Sf_0) afin d'obtenir l'expression de la densité des électrons qui a conduit à la détermination des expressions des paramètres électriques ($J_{ph,}$ $V_{ph,}$ P) puis celles des paramètres de performance (η, R_{sh}) du grain de cellule PV. Ensuite nous avons analysé, à partir d'une simulation numérique, les effets du taux d'électrons perdus à la jonction (Sf_0) sur les paramètres de performance (η, R_{sh}) obtenus à partir des courbes de puissance électrique transmise en fonction de la vitesse de diffusion P_T (Sf_j).
Les résultats des simulations ont montré qu'en circuit ouvert on a une fuite de courant à la jonction du grain de cellule PV dont la densité croit de 0 $mA.cm^{-2}$ à 58,80 $mA.cm^{-2}$ entrainant une chute drastique de la résistance shunt de l'infini à 4,273 $\Omega.cm^2$

Corresponding Author: Ramatou Saré

et une baisse du rendement de conversion de 34,376%. En considérant les normes des fabricants, 20% de baisse du rendement, alors pour $Sf_0 = 1{,}790\times10^4$ cm.s^{-1} la cellule PV est dégradée.

MOTS-CLEFS: Cellule PV, degradation, courant de fuite, perte d'électrons, performance.

1 INTRODUCTION

La problématique de l'énergie est au centre de l'actualité mondiale. Avec une consommation et une demande croissantes liées au développement industriel, la production de l'énergie est une question centrale de notre société avec des implications économiques, géopolitiques, environnementales et sociales.

La production mondiale d'énergie est largement dominée par les énergies fossiles non renouvelables et responsables de la majorité des émissions de gaz à effet de serre avec pour conséquence le réchauffement climatique. Ainsi, pour réduire la part des énergies fossiles dans le mix énergétique afin de lutter contre le dérèglement climatique, il est nécessaire d'aller vers une transition énergétique soutenable avec une part croissante de l'électricité produite à partir des énergies non carbonées au rang desquelles l'énergie solaire PV.

La majorité des recherches du secteur photovoltaïque se focalise sur l'amélioration du rendement d'une façon optimale en se basant sur la réduction maximale des différentes pertes. Car tout au long de leur durée de vie et en fonction de leur localisation, les modules/cellules PV sont exposés à différentes conditions météorologiques telles que le rayonnement solaire, l'humidité, la température, la chaleur, le vent, les fortes pluies, la neige, la grêle..., qui accentuent à moyen ou à long terme leur vieillissement et/ou dégradation entraînant donc une baisse de leurs performances [1]. Les fabricants considèrent qu'un module photovoltaïque est dégradé lorsque sa puissance de sortie atteint un niveau inférieur à 80 % de sa valeur initiale [2,3].

Si la chaleur peut diminuer la puissance d'un module/cellule PV conventionnel, la corrosion due à l'humidité peut aussi le dégrader et le rendre inefficace car elle provoque une augmentation des courants de fuite et une perte de performance de la cellule PV.

Plusieurs chercheurs se sont intéressés à l'étude du vieillissement et/ou dégradation des cellules/modules PV.

Alves dos Santos et al. [4] ont montré dans leurs travaux que le vieillissement et la dégradation de modules/ cellules PV, qui dépendent du type de technologie, ont un impact négatif sur le rendement de conversion et les résistances parasites (R_s, R_{sh}). Les auteurs ont expliqué que la baisse de la résistance shunt (R_{sh}) était due à l'existence de chemins parallèles à travers la jonction et qui sont la cause d'importantes pertes de porteurs donnant naissance à un courant shunt ou courant de fuite. Polverini et al. [5] ont étudié le vieillissement de modules/cellules PV et ses effets sur leur performance. Ils ont mesuré les paramètres électriques des modules/cellules PV et ont montré que le vieillissement de modules PV au silicium polycristallin, fonctionnant sur site réel pendant vingt (20) ans, a entrainé une baisse de la puissance électrique maximale P_{max}. Quant à Doumane et al. [6], ils ont simulé l'évolution des paramètres électriques d'un module PV au silicium monocristallin en fonction du vieillissement (temps) en utilisant le modèle de circuit équivalent à une diode. Les résultats de simulation, réalisées dans les conditions STC et sur 25 ans de fonctionnement du système, ont montré une dégradation de la résistance shunt (R_{sh}) due à l'altération des propriétés électriques de la jonction p-n du silicium et des électrodes.

L'ensemble des travaux cités ont montré que le vieillissement et/ou la dégradation des cellules/modules PV entraine une baisse du rendement de conversion et de la résistance shunt. La baisse de la résistance shunt est due à l'altération des propriétés électriques de la jonction p-n du silicium ce qui donne lieu à l'existence de chemins parallèles à travers cette jonction occasionnant d'importantes pertes de porteurs ou encore de courant de fuite ou courant shunt. Aussi, la plupart des travaux de modélisation du phénomène de vieillissement et/ou dégradation des cellules/modules PV ont été effectués en considérant soit le circuit équivalent du modèle à une diode d'une cellule PV soit celui à deux diodes. Or ces modèles précédemment cités ne permettent pas d'étudier l'impact des pertes de porteurs à la jonction de cellules PV alors que nous l'avons déjà fait dans une approche à une dimension (1D) [7]. Compte tenu des limites de la modélisation à une dimension (1D), la présente étude est menée à trois dimensions (3D) afin d'étudier l'influence des pertes d'électrons sur les performances d'une cellule PV au silicium polycristallin.

Dans un premier temps, nous avons résolu les équations de transport (équation de densité des courants et équation de continuité) qui ont conduit à la détermination des expressions des paramètres électriques (J_{ph}, V_{ph}, P) et celles des paramètres de performance (η, R_{sh}) du grain de cellule PV en fonction du taux d'électrons perdus à la jonction Sf_0.

Ensuite, nous avons analysé à partir d'une simulation numérique les effets du taux d'électrons perdus à la jonction (Sf_0) sur les paramètres de performance (η, R_{sh}) obtenus à partir des courbes de puissance électrique en fonction de la vitesse de diffusion P (Sf_j).

2 ETUDE THÉORIQUE

Cette étude est menée dans la base d'un grain de cellule PV au silicium polycristallin de type n^+-p-p^+.

Les solides polycristallins, comme le silicium polycristallin, sont constitués par l'association de morceaux de monocristaux de très petites tailles (typiquement de dimensions micrométriques). Ces monocristaux sont séparés par des zones de transition qui sont les joints de grains. Les joints de grain sont de grands centres de recombinaison des porteurs de charge, qui influencent les paramètres macroscopiques et microscopiques de la cellule PV [8]. Ainsi, le silicium polycristallin qui a une forme particulière et une structure désordonnée est constitué de grains de tailles et de formes diverses. La réalité physique de cette structure étant différente de sa réalité géométrique et même analytique [8] alors pour les besoins de la modélisation nous avons considéré des grains de forme parallélépipédique bien qu'il existe des grains de forme cubique et cylindrique.

Alors, la cellule PV au silicium polycristallin est modélisée comme un arrangement régulier de grains de forme parallélépipédique connectés entre eux en parallèle [9]. Ainsi, les grains sont arrangés de manière régulière de sorte que le grain soit considéré comme une structure élémentaire de la cellule PV. Le grain ayant les mêmes caractéristiques électroniques et électriques que la cellule PV [9, 10] alors l'étude est menée sur un grain et les résultats seront extrapolés à la cellule PV au silicium polycristallin.

La figure 1 présente les différentes étapes qui permettent d'extraire un grain de la cellule PV polycristalline en passant du modèle réel au modèle idéal.

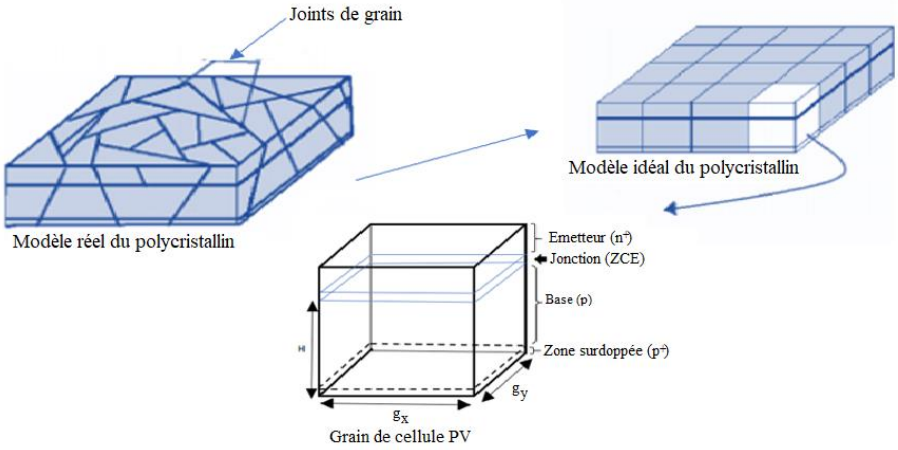


Fig. 1. Modélisation d'une cellule PV polycristalline

L'étude est menée dans la base du grain de la cellule PV en considérant les mêmes hypothèses suivantes:

- Les recombinaisons aux faces latérales du grain de la cellule PV sont caractérisées par les vitesses de recombinaisons aux joints de grain ($S_{gb)}$) constantes et indépendantes de l'éclairement [10].
- La base faiblement dopée par rapport à l'émetteur est quasi-neutre, ainsi le champ cristallin dans la base du grain de cellule PV sera négligé [11].
- La concentration des électrons photogénérés dans la base de type p est très faible par rapport au taux de dopage de cette base. Par conséquent le niveau d'injection est faible.
- La génération et la distribution des électrons dans la base sont uniformes suivants les axes (Ox) et (Oy).
- L'épaisseur de la base est H = 0,03 cm et les valeurs des paramètres électroniques sont:

  $Sb = 10^4$ cm.s^{-1}, $Sgb = 10^3$ cm.s^{-1}, L_n = 0,015 cm, D_n = 26 cm^2.s^{-1}, $g_x = g_y = 1{,}5\times10^{-2}$ cm

2.1 EQUATION DE DENSITÉ DE COURANT DES ELECTRONS

Le grain d'une cellule PV au silicium polycristallin soumis à un éclairement constant est représenté à la Figure 2.

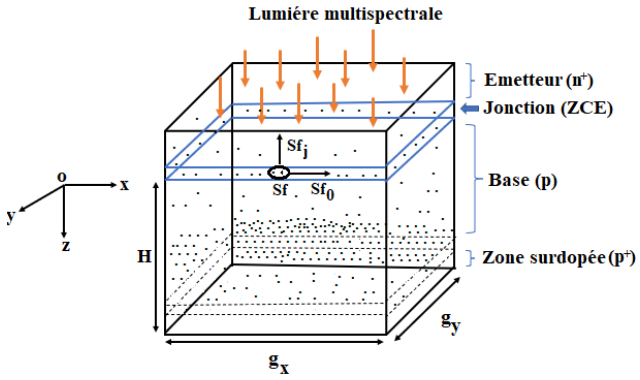


Fig. 2. Grain de cellule PV au silicium polycristallin sous éclairement solaire constant

Lorsque le grain de la cellule PV au silicium polycristallin est éclairé par une lumière solaire, les photons d'énergie suffisante (0,4 µm < λ < 1,1 µm) sont absorbés. En supposant que le rendement quantique interne est égal à l'unité (IQE = 1), chaque photon absorbé génère une paire électron-trou dans la base de type p. La génération des électrons en excès est non uniforme dans la base, le long de l'axe Oz, avec un maximum d'électrons crées loin de la jonction ce qui entraine l'existence d'un gradient de concentration des électrons. En supposant que la génération des électrons excédentaires est uniforme dans le plan (xOy), le gradient positif de concentration des électrons donne lieu à une diffusion de ces électrons des régions de forte concentration vers celles de faible concentration le long de l'axe Oz. Ainsi, les électrons diffusent vers la jonction (z = 0) où leur gradient de concentration est positif. Ceux qui atteignent la jonction y sont collectés et le paramètre électronique (Sf) qui représente la vitesse dynamique à la jonction, est le taux d'électrons collectés à la jonction. Quant aux électrons qui diffusent vers les bords du grain ($x = g_x/2$; $y = g_y/2$) et ceux générés près des bords du grain, ils y sont recombinés avec un taux de recombinaison appelé vitesse de recombinaison aux joints de grain (S_{gb}). Les électrons générés près de la face arrière du grain de la cellule PV au silicium polycristallin (z = H), où leur gradient de concentration est négatif, y sont également recombinés et leur taux de recombinaison est appelé vitesse de recombinaison à la face arrière (Sb). Lors de leur diffusion, une partie des électrons en excès est recombinée dans le volume de la base et ces recombinaisons sont prises en compte par la longueur de diffusion (L_n) ou la durée de vie (τ_n). Aussi, la diffusion des électrons en excès dans la base de type p du grain de la cellule PV crée un courant de diffusion.

Tous les électrons collectés à la jonction la traverseront s'il n'y a pas de pertes d'électrons à cette jonction; c'est le cas d'une cellule PV idéale. Par contre, pour une cellule PV non idéale, certains électrons collectés à la jonction y seront perdus, donnant naissance à un courant shunt ou un courant de fuite et les autres électrons traverseront la jonction. Le paramètre électronique (Sf_0) est utilisé pour quantifier la perte d'électrons à la jonction du grain de la cellule PV. Ainsi, Sf_0 est la vitesse de recombinaison intrinsèque à la jonction, c'est aussi le taux d'électrons perdus à la jonction p-n. La fuite d'électrons à la jonction p-n donne naissance à un courant shunt ou courant de fuite. Ce courant de fuite entre les deux matériaux p et n du grain de la cellule PV est pris en compte dans le modèle de circuit à une diode de la cellule PV par une résistance shunt. Ainsi, la vitesse de recombinaison intrinsèque à la jonction est liée à la qualité de la jonction p-n. Quant au taux d'électrons qui traversent la jonction et diffusent à travers la charge externe, il est caractérisé par le paramètre (Sf_j) appelé vitesse de diffusion. La vitesse de diffusion (Sf_j) est liée au point de fonctionnement du grain de la cellule PV. Ainsi, le taux d'électrons collectés à la jonction p-n, vitesse dynamique à la jonction (Sf), est la somme des électrons qui traverseront la jonction et ceux qui seront perdus à cette même jonction comme l'indique la Figure 2.

L'Equation (1) donne l'expression du taux d'électrons collectés à la jonction p-n:

$$Sf = Sf_j + Sf_0 \tag{1}$$

Le mouvement des électrons excédentaires observé dans la base du grain de cellule PV donne naissance à un courant de diffusion. L'Equation (2) donne l'expression du courant de diffusion par unité de surface ou densité de courant de diffusion:

$$\vec{j}_n = eD_n\vec{\nabla}\delta(x,y,z) \tag{2}$$

Dans l'équation (2), est le vecteur densité de courant de diffusion des électrons; δ (x; y; z) est la densité des électrons; D_n est le coefficient de diffusion des électrons et e est la charge élémentaire de l'électron.

Les composantes du vecteur densité de courant suivant les différents axes du repère sont:

$$\vec{j}_n = eD_n\vec{\nabla}\delta(x,y,z) \tag{3}$$

Les composantes du vecteur densité de courant obtenu à l'Equation (3), nous permettront d'établir l'équation de l'évolution dans le temps et dans l'espace des électrons excédentaires générés dans la base du grain de cellule PV appelée équation de continuité.

2.2 EQUATION DE CONTINUITÉ DES ÉLECTRONS

L'équation de continuité des électrons est une équation qui régit les variations de la concentration des électrons et permet d'analyser ainsi le mouvement de ces électrons. En régime statique, la variation temporelle de la concentration des électrons étant nulle alors l'équation de continuité des électrons générés dans la base p du grain de cellule PV est donnée par l'Equation (4):

$$\frac{1}{e}\vec{\nabla}\cdot\vec{j}_n + G_n(z) - \frac{\delta(x,y,z)}{\tau_n} = 0 \tag{4}$$

La grandeur physique $G_n(z)$ représente le taux de génération des paires électrons-trous suivant l'axe (Oz) croissant. Dans le cas d'un éclairement multispectral, $G_n(z)$ est donnée par l'Equation (5):

$$G_n(z) = \sum_{i=1}^{3} a_i \exp(-b_i z) \tag{5}$$

Avec a_i et b_i des constantes obtenues à partir des valeurs tabulées du rayonnement solaire et de la dépendance du coefficient d'absorption du silicium avec la longueur d'onde dans les conditions standards Air Mass 1,5.

En remplaçant le vecteur densité de courant par les expressions de ses différentes composantes, Equation (3) dans l'Equation (4) et en effectuant les différentes dérivées partielles, nous obtenons l'équation de continuité donnée par l'Equation (6):

$$\frac{\partial^2\delta(x,y,z)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\delta(x,y,z)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\delta(x,y,z)}{\partial z^2} - \frac{\delta(x,y,z)}{L_n^2} = -\frac{G_n(z)}{D_n} \tag{6}$$

L'Equation (6) est une équation aux dérivées partielles du second ordre avec second membre dont la solution générale est donnée par l'Equation (7):

$$\delta(x,y,z,Sf_j,Sf_0) = \sum_{j=0}^{\infty}\sum_{k=0}^{\infty}\left[A_{jk}\cosh\left(\frac{z}{L_{j,k}}\right) + B_{jk}\sinh\left(\frac{z}{L_{j,k}}\right) - \sum_{i=1}^{3} K_{j,k}\exp(-b_i z)\right]\cos(C_{jx}x)\cos(C_{ky}y) \tag{7}$$

Avec:

$$K_{jk} = \frac{a_i L_{jk}}{D_{jk}\left[\left(b_i L_{jk}\right)^2 - 1\right]},\quad L_{jk} = \left(C_{jx}^2 + C_{ky}^2 + \frac{1}{L_n^2}\right)^{-1/2},\quad D_{jk} = \left[\frac{16\sin\left(\frac{C_{xj}g_x}{2}\right)\sin\left(\frac{C_{yk}g_y}{2}\right)}{D_n\left[\left(C_{xj}g_x + \sin(C_{xj}g_x)\right)\left(C_{yk}g_y + \sin(C_{yk}g_y)\right)\right]}\right]^{-1}$$

Les valeurs des constantes C_{xj} et C_{yk} sont obtenues en résolvant les équations relatives aux conditions aux limites aux joints de grain.

Dans le paragraphe (2.1), l'analyse du mouvement des électrons dans la base du grain de cellule PV a montré que les électrons diffusent vers les bords du grain de la cellule PV respectivement en x = +g_x/2 et x =- g_x/2 d'une part et d'autre part en y = +g_y/2 et y =- g_y/2. Ainsi, nous obtenons deux courants respectivement suivant l'axe (Ox) et suivant l'axe (Oy) dont les expressions sont données par les Equations (8.1) et (8.2):

$$2D_n\left[\frac{\partial\delta(x,y,z)}{\partial x}\right]_{x=\pm\frac{g_x}{2}} = \mp S_{gb}\delta\left(\pm\frac{g_x}{2};y;z\right) \tag{8.1}$$

$$2D_n\left[\frac{\partial\delta(x,y,z)}{\partial y}\right]_{y=\pm\frac{g_y}{2}} = \mp S_{gb}\delta\left(x;\pm\frac{g_y}{2};z\right) \tag{8.2}$$

Les équations précédentes peuvent se mettre sous la forme des Equations (9.1) et (9.2):

$$\left[\frac{\partial\delta(x,y,z)}{\partial x}\right]_{x=\pm\frac{g_x}{2}} = \mp\frac{S_{gb}}{2D_n}\delta\left(\pm\frac{g_x}{2};y;z\right) \tag{9.1}$$

$$\left[\frac{\partial\delta(x,y,z)}{\partial y}\right]_{y=\pm\frac{g_y}{2}} = \mp\frac{S_{gb}}{2D_n}\delta\left(x;\pm\frac{g_y}{2};z\right) \tag{9.2}$$

Les Equations (9.1) et (9.2) montrent que le gradient de concentration des électrons est positif en bordure de grain aux positions x = - g_x/2 et y =- g_y/2 tandis qu'il est négatif aux positions x = +g_x/2 et y = +g_y/2.

Le coefficient deux (2) qui se trouve dans les équations précédentes prend en compte la diffusion des électrons des deux côtés du grain le long de chaque axe (Ox) et (Oy) car la recombinaison des électrons se fait vers les bordures du grain de le cellule PV [10].

La résolution des équations (9.1) et (9.2) permet d'obtenir les équations transcendantes (10.1) et (10.2):

$$C_{xj}\tan\left(C_{xj}.\frac{g_x}{2}\right) = \frac{S_{gb}}{2D_n} \tag{10.1}$$

$$C_{yk}\tan\left(C_{yk}.\frac{g_y}{2}\right) = \frac{S_{gb}}{2D_n} \tag{10.2}$$

La détermination des coefficients C_{xj} et C_{yk} se fait graphiquement à partir des Equations (10.1) et (10.2).

Quant aux constantes A_{jk} et B_{jk} de l'Equation (7), elles sont obtenues en résolvant les équations relatives aux conditions aux limites à la jonction émetteur-base (z = 0) et à la face arrière (z = H) de la base du grain de cellule PV. En effet, le mouvement des électrons dans la base le long de l'axe Oz a montré que le gradient de concentration des électrons est positif à la jonction (z=0) et négatif à la face arrière de la base (z=H).

A LA JONCTION ÉMETTEUR-BASE (Z=0)

$$\left.\frac{\partial\delta(x,y,z)}{\partial z}\right|_{z=0} = \frac{\left(Sf_0+Sf_j\right)}{D_n}\delta(x,y,0) \tag{11.1}$$

A LA FACE ARRIÈRE DE LA BASE (Z=H):

$$\left.\frac{\partial\delta(x,y,z)}{\partial z}\right|_{z=H} = -\frac{S_b}{D_n}\delta(x,y,H) \tag{11.2}$$

Les expressions des constantes A_{jk} et B_{jk} sont données par les Equations (12.1) et (12.2):

$$A_{j,k}\left(Sf_j, Sf_0\right) = \sum_{i=1}^{3} K_i \frac{\frac{1}{L_{jk}}\left(\frac{S_b}{D_n} - b_i\right)e^{-b_i H} + \beta_{jk}\left(\frac{\left(Sf_0 + Sf_j\right)}{D_n} + b_i\right)}{\frac{1}{L_{jk}}\alpha_{jk} + \frac{\left(Sf_0 + Sf_j\right)}{D_n}\beta_{jk}} \tag{12.1}$$

$$B_{j,k}\left(Sf_j, Sf_0\right) = \sum_{i=1}^{3} K_i \frac{\frac{\left(Sf_0 + Sf_j\right)}{D_n}\left(\frac{S_b}{D_n} - b_i\right)e^{-b_i H} - \alpha_{jk}\left(\frac{\left(Sf_0 + Sf_j\right)}{D_n} + b_i\right)}{\frac{1}{L_{jk}}\alpha_{jk} + \frac{\left(Sf_0 + Sf_j\right)}{D_n}\beta_{jk}} \tag{12.2}$$

Quant aux expressions des constantes α_{jk} et $\beta_{jk,}$ elles sont données par les Equations (12.3) et (12.4):

$$\alpha_{jk} = \frac{1}{L_{j,k}}\sinh\left(\frac{H}{L_{j,k}}\right) + \frac{S_b}{D_n}\cosh\left(\frac{H}{L_{j,k}}\right) \tag{12.3}$$

$$\beta_{jk} = \frac{1}{L_{j,k}}\cosh\left(\frac{H}{L_{j,k}}\right) + \frac{S_b}{D_n}\sinh\left(\frac{H}{L_{j,k}}\right) \tag{12.4}$$

La détermination de la solution de l'équation aux dérivées partielles, Equation (6), qui satisfait aux conditions aux limites nous permettra de déterminer les paramètres électriques tels que la densité de photocourant et la phototension.

2.3 DENSITÉ DE PHOTOCOURANT

En appliquant la loi de Fick à la jonction du grain de cellule PV, nous obtenons l'expression de la densité de photocourant donnée par l'Equation (13.1):

$$J_{ph}(Sf_j, Sf_0) = \frac{eD_{jk}}{g_x g_y}\int_{-\frac{g_x}{2}}^{\frac{g_x}{2}}\int_{-\frac{g_y}{2}}^{\frac{g_y}{2}}\left(\frac{\partial\delta(x,y,z,Sf_j,Sf_0)}{\partial z}\right)_{z=0} dxdy \tag{13.1}$$

Avec g_x et g_y, les dimensions du grain de cellule PV au silicium polycristallin respectivement suivant les axes (Ox) et (Oy).

La résolution de l'équation (13.1) permet d'obtenir l'Équation (13.2) :

$$J_{ph}\left(Sf_j, Sf_0\right) = eD_{jk}\sum_j\sum_k R_{j,k}\left[\frac{B_{j,k}\left(Sf_j, Sf_0\right)}{L_{jk}} + \sum_{i=1}^{3} K_i b_i\right] \tag{13.2}$$

Avec: $R_{jk} = \dfrac{4\sin\left(\frac{C_{xj}g_x}{2}\right)\sin\left(\frac{C_{yk}g_y}{2}\right)}{g_x g_y C_{xj} C_{yk}}$

En remplaçant l'Equation (11.1) dans l'Équation (13.1), la densité de photocourant s'écrit :

$$J_{ph}(Sf_j, Sf_0) = J_{ph}(Sf_j, Sf_0)_T + J_{ph}(Sf_j, Sf_0)_F \tag{13.3}$$

Ainsi, la densité de photocourant de fuite à la jonction du grain de cellule PV est donnée par l'Équation (13.4) :

$$J_{ph}\left(Sf_j, Sf_0\right)_F = \frac{eD_{jk}Sf_0}{D_n}\sum_j\sum_k R_{j,k}\left[A_{j,k}\left(Sf_j, Sf_0\right) - \sum_{i=1}^{3} K_i\right] \tag{13.4}$$

Quant à la densité de photocourant transmis à une charge extérieure, elle est donnée par l'Équation (13.5) :

$$J_{ph}\left(Sf_j, Sf_0\right)_T = \frac{eD_{jk}Sf_j}{D_n}\sum_j\sum_k R_{j,k}\left[A_{j,k}\left(Sf_j, Sf_0\right) - \sum_{i=1}^{3} K_i\right] \tag{13.5}$$

La densité de courant de court-circuit est donnée par l'Equation (13.6) :

$$J_{cc} = \lim_{Sf_j \to +\infty} J_{ph}\left(Sf_j, Sf_0\right) = eD_{jk}\sum_j\sum_k \frac{R_{jk}}{L_{jk}}\sum_{i=1}^{3} K_i\left[\frac{\left(S_b - D_n b_i\right)e^{-b_i H}}{D_n\beta_{jk}} - \frac{\alpha_{jk}}{\beta_{jk}} + b_i L_{jk}\right] \tag{13.6}$$

L'Equation (13.6) montre que la densité de courant de court-circuit ne dépend ni de Sf_j ni de Sf_0 donc c'est une constante.

La densité de courant en circuit ouvert est donnée par l'Equation (13.7) :

$$J_{co}\left(Sf_0\right) = \lim_{Sf_j \to 0} J_{ph}\left(Sf_j, Sf_0\right) = eD_{jk}\sum_j\sum_k \frac{R_{jk}}{L_{jk}}\sum_{i=1}^{3} K_i\left[\frac{\frac{Sf_0}{D_n}\left(\frac{S_b}{D_n} - b_i\right)e^{-b_i H} - \alpha_{jk}\left(\frac{S_b}{D_n} - b_i\right)}{\frac{1}{L_{jk}}\alpha_{jk} + \frac{Sf_0}{D_n}\beta_{jk}} + b_i L_{jk}\right] \tag{13.7}$$

L'Equation (13.7) montre que la densité de courant en circuit ouvert est une fonction de Sf_0.

2.4 PHOTOTENSION

L'expression de la phototension, Equation (14.1), est obtenue en appliquant la loi de Boltzmann.

$$V_{ph}(Sf_j, Sf_0) = V_T \ln\left(1 + \frac{N_B}{n_i^2}\int_{-\frac{g_x}{2}}^{\frac{g_x}{2}}\int_{-\frac{g_y}{2}}^{\frac{g_y}{2}} \delta(x, y, z, Sf_j, Sf_0)_{z=0}\, dxdy\right) \tag{14.1}$$

avec V_T la tension thermique (V_T = 26mV à T = 300K), N_B le taux de dopage en atomes accepteurs dans la base ($N_B = 10^{16}$ cm^{-3}) et n_i la concentration des porteurs intrinsèques à l'équilibre thermodynamique ($n_i = 10^{10}$ cm^{-3}).

La phototension de circuit ouvert est donnée par l'Equation (14.2) :

$$V_{co}\left(Sf_0\right) = \lim_{Sf_j \to 0} V_{ph}\left(Sf_j, Sf\right) = V_T \ln\left[1 + \frac{1}{n_0}\sum_j\sum_k R'_{jk}\sum_{i=1}^{3} K_i\left[\frac{\frac{1}{L_{jk}}\left(\frac{S_b}{D_n} - b_i\right)e^{-b_i H} + \beta_{jk}\left(\frac{Sf_0}{D_n} + b_i\right)}{\frac{1}{L_{jk}}\alpha_{jk} + \frac{Sf_0}{D_n}\beta_{jk}}\right] - 1\right] \tag{14.2}$$

Avec: $R'_{jk} = \dfrac{4\sin\left(\dfrac{C_{xj}g_x}{2}\right)\sin\left(\dfrac{C_{yk}g_y}{2}\right)}{C_{xj}C_{yk}}$

L'Equation (14.2) montre que la tension de circuit ouvert est une fonction de Sf_0.

2.5 PUISSANCE ÉLECTRIQUE

Généralement, une cellule PV éclairée est considérée comme un générateur de courant qui débite un courant continu J_{ph} [12] avec une tension V_{ph} à ses bornes. Ainsi, la puissance électrique P_{ph} produite par une cellule PV est le produit du photocourant et de la phototension. Son expression est par l'équation (15.1) :

$$P_{ph}\left(Sf_j, Sf_0\right) = J_{ph}\left(Sf_j, Sf_0\right).V_{ph}\left(Sf_j, Sf_0\right) \tag{15.1}$$

En utilisant l'Equation (13.3), on montre que la puissance électrique s'écrit sous la forme suivante :

$$P_{ph}\left(Sf_j, Sf_0\right) = P_{ph}(Sf_j, Sf_0)_T + P_{ph}(Sf_j, Sf_0)_F \tag{15.2}$$

avec $P_{ph}(Sf_j, Sf_0)_T$ la puissance électrique transmise à une charge extérieure et $P_{ph}(Sf_j, Sf_0)_F$ la puissance électrique perdue à la jonction.

2.6 DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES DE PERFORMANCE

Les paramètres de performance (rendement de conversion et résistance shunt) sont des paramètres électriques qui permettent d'évaluer les performances d'une cellule PV.

L'expression du rendement de conversion est donnée par l'Equation (16.1) en considérant une puissance lumineuse incidente de 100 mW/cm^2 dans les conditions standards AM 1,5.

$$\eta\left(Sf_0\right) = \frac{P_{\max}\left(Sf_0\right)}{100 mW.cm^{-2}} \tag{16.1}$$

P_{max} est la puissance électrique maximale obtenue à partir des courbes de puissance électrique transmise en fonction de la vitesse de diffusion $P_T(Sf_j)$.

Quant à l'expression de la résistance shunt, elle est donnée par l'Equation (16.2) :

$$R_{sh}\left(Sf_0\right) = \frac{P_{co}\left(Sf_0\right)}{J_{co}^2\left(Sf_0\right)} = \frac{J_{co}\left(Sf_0\right).V_{co}\left(Sf_0\right)}{J_{co}^2\left(Sf_0\right)} = \frac{V_{co}\left(Sf_0\right)}{J_{co}\left(Sf_0\right)} \tag{16.2}$$

P_{co} et J_{co} sont respectivement la puissance électrique et la densité de courant perdues à la jonction alors que V_{co} est la tension de circuit ouvert.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

A partir des expressions des paramètres électriques (densité de photocourant, phototension et puissance électrique) obtenues, au paragraphe précédent, après la résolution des équations de transport à 3 D, nous effectuerons une simulation afin d'analyser l'impact des pertes d'électrons à la jonction du grain de cellule PV sur ses performances.

3.1 EFFET DES PERTES D'ÉLECTRONS SUR LA DENSITÉ DES ÉLECTRONS

Dans ce point, nous étudierons successivement la densité des électrons en circuit ouvert puis en court-circuit.

3.1.1 DENSITÉ DES ÉLECTRONS EN CIRCUIT OUVERT

Nous présentons à la Figure 3 la densité des électrons en excès dans la base du grain de cellule PV en fonction de la profondeur de cette base et pour différentes valeurs de Sf_0.

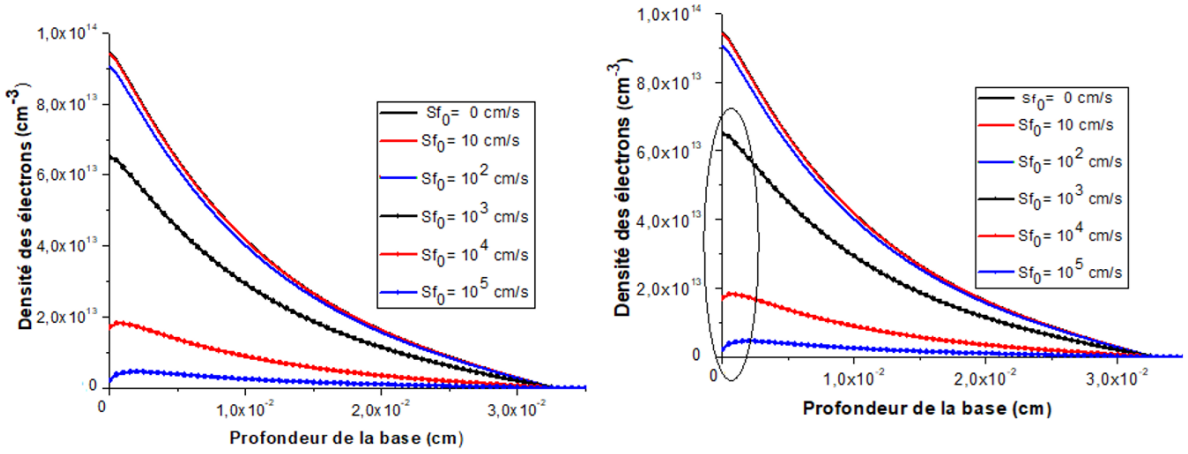


Fig. 3.a. *Fig. 3.b.*

Fig. 3. Densité des électrons en fonction de la profondeur de la base pour différentes valeurs de Sf_0 (Sf_j = 0 cm.s^{-1})

Pour Sf_0 variant de 0 à 10 cm.s^{-1}, les courbes sont confondues et présentent la même allure avec un gradient de densité des électrons négatif à la jonction. Par contre, pour $Sf_0 \geq 10^3$ cm.s^{-1}, les différentes courbes présentent également la même allure (partie encerclée de la Figure 3.b) avec un gradient de densité des électrons positif à la jonction suivi d'un gradient nul et d'un gradient négatif.

Seul le gradient des électrons positif près de la jonction permet aux électrons situés dans cette zone de traverser la jonction et donner naissance à un courant de circuit ouvert appelé courant de fuite. Ce courant de fuite est d'autant plus important que le gradient positif des électrons l'est également. Ainsi, pour Sf_0 variant de 10^3 à 10^5 cm.s^{-1}, on observe un gradient positif des électrons au voisinage de la jonction de plus en plus important indiquant que le courant de fuite sera de plus en plus important. La fuite de courant en circuit ouvert à travers la jonction a pour conséquence la diminution de la densité des électrons stockés à la jonction ce qui entrainera une baisse de la tension de circuit ouvert avec l'augmentation des pertes d'électrons à la jonctions (Sf_0).

3.1.2 DENSITÉ DES ÉLECTRONS EN COURT-CIRCUIT

La Figure 4 présente la densité des électrons en excès dans la base du grain de cellule PV en fonction de la profondeur de cette base et pour différentes valeurs de Sf_0.

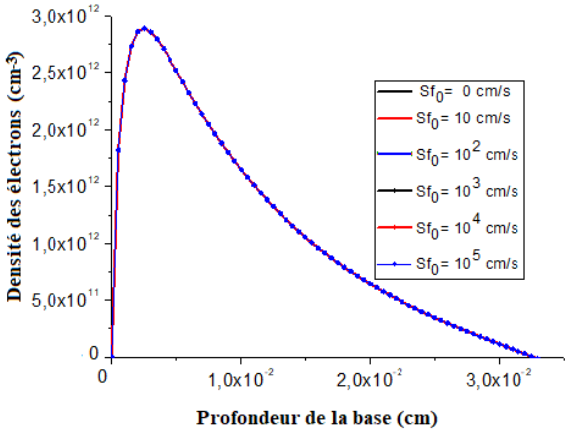


Fig. 4. Densité des électrons en fonction de la profondeur de la base pour différentes valeurs de Sf_0 ($Sf_j = 8\times10^8$ cm. s^{-1})

On remarque que, quel que soit la valeur de Sf_0, les courbes de la Figure 4 sont confondues et par conséquent la densité de courant de court-circuit sera identique. En effet, en fonctionnement en court-circuit, la résistance de charge tend vers zéro ($R_{ch} \rightarrow 0$) et par conséquent le flux d'électrons qui la traverse est maximal et tend vers l'infini ($Sf_j \rightarrow +\infty$). Ainsi, les pertes à la jonction sont masquées par l'important flux d'électrons qui traversent la jonction du grain de cellule PV pour donner naissance au courant ($Sf_j >> Sf_0$).

Les courbes de densité d'électrons, toutes confondues, présentent trois zones: une première zone à gradient d'électrons positif au voisinage de la jonction, une deuxième zone à gradient nul à une certaine profondeur dans la base puis une troisième zone à gradient négatif qui s'étend jusqu'à la face arrière de la base. Au voisinage de la jonction où le gradient des électrons est positif, les électrons situés dans cette zone traversent la jonction et sont collectés par le circuit extérieur alors que dans la zone à gradient négatif, les électrons sont recombinés soit en volume soit à la face arrière de la base.

3.2 EFFET DES PERTES D'ÉLECTRONS SUR LA DENSITÉ DE COURANT

L'Equations (13.2) permet de tracer en fonction de la vitesse de diffusion les courbes de densité de photocourant total alors que l'Equation (13.7) permet de tracer la courbe de densité de photocourant de fuite en fonction de la vitesse de recombinaison intrinsèque à la jonction.

L'allure des différentes courbes de densité de photocourant est présentée à la Figure 5.

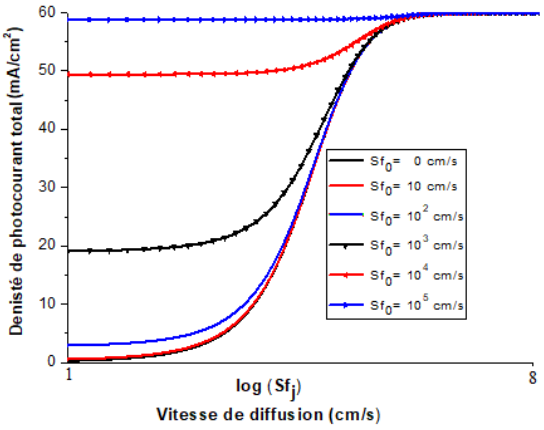


Fig. 5. a. Densité de courant total en fonction de la vitesse de diffusion

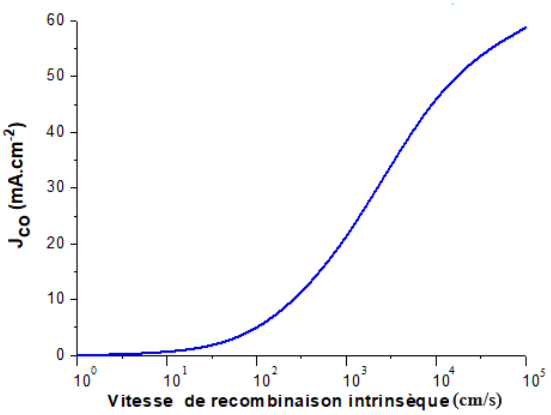


Fig. 5. b. J_{co} en fonction de Sf_0

Les courbes de la Figure 5.a ont la même allure que celles de l'étude à une dimension [7].

En circuit ouvert ($Sf_j \leq 10^2$ cm.s^{-1}) et pour $Sf_0 \leq 10$ cm.s$^{-1,}$ les courbes des Figures 5.a et 5.b montrent que la densité de courant est pratiquement nulle alors que pour des valeurs de la vitesse de recombinaison intrinsèque telles que (10^2 cm.s$^{-1} \leq Sf_0 \leq 10^5$ cm.s^{-1}) la densité de courant augmente pour avoisiner la valeur de la densité de courant de court-circuit. Ainsi, la densité de courant de fuite (J_{co}) augmente de 0 mA.cm^{-2} à 58,80 mA.cm^{-2} avec la variation de Sf_0 de 0 à 10^5 cm.s^{-1} (Figure 5.b).

En court-circuit ($Sf_j \geq 10^6$ cm s^{-1}), quelle que soit la valeur de la vitesse de recombinaison intrinsèque, les courbes de la Figures 5.a montrent que la densité de courant est constante et indépendante des variations de Sf_0 comme cela avait été annoncé lors de l'étude des courbes de densité d'électrons en court-circuit (Figure 4). Ce résultat est également confirmé par le calcul de $J_{cc,}$ Equation (13.6).

En effet, en circuit ouvert, la résistance de charge étant considérée infinie ($R_{ch} \rightarrow +\infty$), alors le flux d'électrons qui la traverse est nul ($Sf_j \approx 0$). Par conséquent, les électrons collectés à la jonction qui ne peuvent pas la traverser, passent dans la résistance shunt ($Sf \approx Sf_0$). Par contre, en court-circuit, la résistance de charge est très faible ($R_{ch} \rightarrow 0$) si bien que le flux d'électrons qui la traverse est très élevé ($Sf_j \rightarrow +\infty$). Dans ce cas, le taux d'électrons perdus à la jonction est négligeable par rapport au taux d'électrons qui traversent la résistance de charge ($Sf \approx Sf_j$).

En circuit ouvert, la densité de courant de fuite, provoquée par la perte d'électrons à travers la jonction, entraine une baisse du nombre d'électrons stockés à la jonction p-n [7, 13, 14, 15] et donc une réduction de la tension de circuit ouvert.

3.3 EFFET DES PERTES D'ÉLECTRONS SUR LA TENSION

Les courbes de phototension et de la tension de circuit ouvert sont tracées en utilisant respectivement les Equations (14.1) et (14.2).

Dans ce paragraphe, nous analyserons l'effet des pertes d'électrons à la jonction du grain du cellule PV sur la tension de circuit ouvert particulièrement.

La Figure 6.a donne l'allure de la phototension en fonction de la vitesse de diffusion tandis que la Figure 6.b donne l'allure de la tension de circuit ouvert en fonction de la vitesse de recombinaison intrinsèque à la jonction.

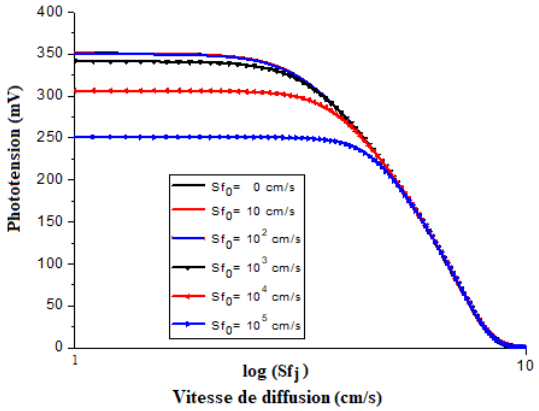


Fig. 6. a. Phototension en fonction de la vitesse de diffusion

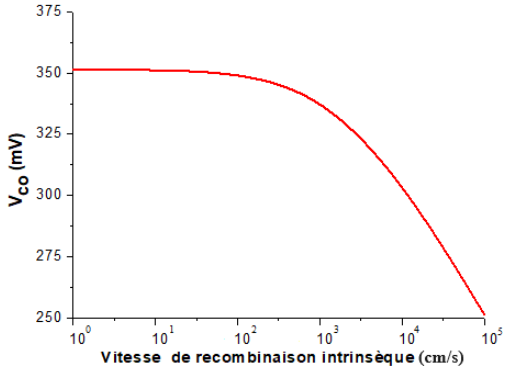


Fig. 6. b. V_{co} en fonction de Sf_0

Les courbes de la Figure 6.a et celles de l'étude à 1D [7] ont les mêmes allures.

Aux faibles valeurs de la vitesse de diffusion, les courbes présentent des plateaux horizontaux. En effet pour $Sf_j \leq 10^2$ cm.s$^{-1,}$ le grain de cellule PV fonctionne en circuit ouvert et ce point de fonctionnement est celui pour lequel la tension est la plus élevée quelle que soit la valeur de Sf_0. Ensuite pour $Sf_0 \leq 10^2$ cm.s$^{-1,}$ les courbes de tension de circuit ouvert sont pratiquement confondues alors qu'elles diminuent, pour $Sf_0 > 10^2$ cm.s$^{-1,}$ en raison de la perte d'électrons à travers la jonction p-n. Ainsi, la tension de circuit ouvert $V_{co,}$ Figure 6.b, passe de 350,98mV à 251,13 mV lorsque Sf_0 varie de 0 à 10^5 cm.s^{-1} soit une diminution de 28,45%. Cette diminution de la tension de circuit ouvert est liée à la diminution de la densité d'électrons à la jonction comme indiqué précédemment lors de l'étude de la densité des électrons en circuit ouvert.

3.4 EFFET DES PERTES D'ÉLECTRONS SUR LES PARAMÈTRES DE PERFORMANCE

L'allure des différentes courbes de la puissance électrique totale et de la puissance électrique perdue est présentée respectivement aux Figures 7.a et 7.b.

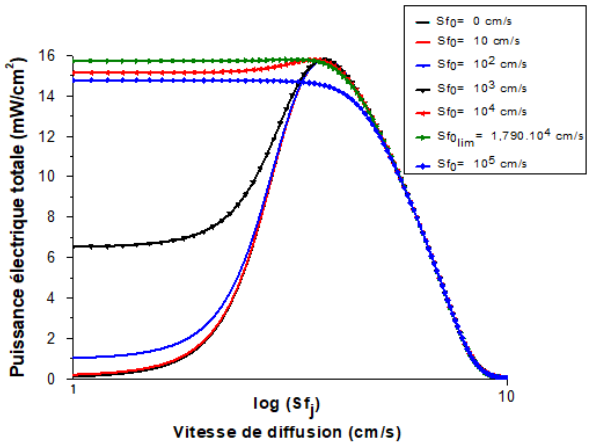


Fig. 7. a. Puissance électrique totale en fonction de Sf_j

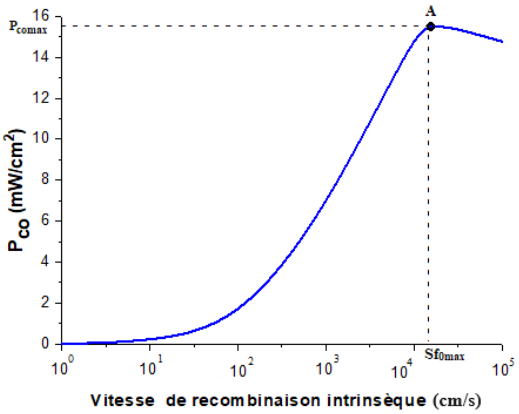


Fig. 7. b. Puissance perdue P_{co} (Sf_0)

La Figure 7.c permet de visualiser l'allure des courbes de la puissance électrique transmise.

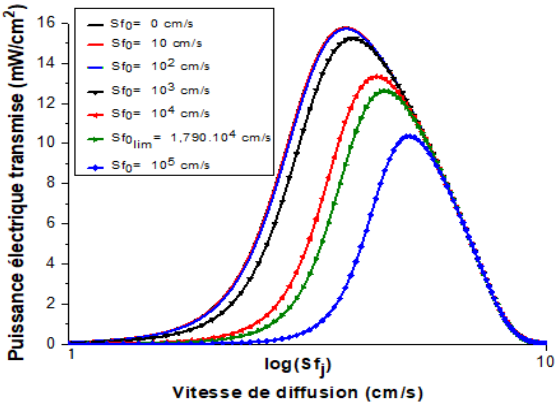


Fig. 7. c. Puissance électrique transmise en fonction de Sf_j

Les courbes de la Figure 7.a ont la même allure que celles de l'étude à une dimension [7].

En circuit ouvert ($Sf_j \leq 10^2$ cm.s^{-1}) et pour $Sf_0 \leq 10$ cm.s$^{-1,}$ les courbes des Figures 5.a et 5.b montrent que la puissance électrique est pratiquement nulle alors que pour des valeurs de la vitesse de recombinaison intrinsèque telles que (10^2 cm.s^{-1} $\leq Sf_0 \leq 10^5$ cm.s^{-1}) la puissance électrique augmente pour avoisiner la valeur de la puissance électrique maximale.

La courbe de la Figure 7.b montre que la puissance électrique de circuit ouvert (P_{co}) croit de 0 mW.cm^{-2} jusqu'à une valeur maximale égale à 15,773 mW.cm^{-2} pour Sf_{0max} = 1,790×10^4 cm.s^{-1} avant de décroitre jusqu'à 14,774 mW.cm^{-2} avec la variation de Sf_0 de 0 à 10^5 cm.s^{-1}. Cette augmentation de la puissance électrique de circuit ouvert est la conséquence de la fuite de courant à la jonction. Cette puissance électrique de circuit ouvert (P_{co}) représente la puissance perdue à la jonction du grain de cellule PV et elle dépend de Sf_0 comme l'ont montré les Equations (13.7) et (14.2).

Au voisinage du court-circuit ($Sf_j \geq 10^{10}$ cm.s^{-1}), la puissance électrique totale délivrée par la base du grain de cellule PV est nulle.

La Figure 7.c représente les courbes de puissance électrique transmise à une charge extérieure. Ces courbes montrent que la puissance électrique, nulle en circuit ouvert, croit jusqu'à la puissance électrique maximale avant de décroitre jusqu'à s'annuler en court-circuit. Pour $Sf_0 \leq 10^2$ cm.s$^{-1,}$ les puissances électriques maximales sont confondues alors qu'elles diminuent pour $Sf_0 > 10^2$ cm.s^{-1}. En outre, on observe également un déplacement de la puissance électrique maximale vers les grandes valeurs de la vitesse de diffusion lorsque les pertes d'électrons (Sf_0) augmentent.

A partir de la Figure 7.c nous déterminons, en fonction de $Sf_{0,}$ les valeurs de la puissance électrique maximale délivrée par le grain de cellule PV à une charge extérieure afin de calculer à l'aide de l'Equation (16.1) le rendement de conversion. Quant à la résistance shunt, ses valeurs sont calculées en utilisant l'Equation (16.2).

Les résultats sont consignés dans le Tableau 1.

Tableau 1. Valeur des paramètres de performance du grain de cellule PV

Sf_0 (cm.s^{-1})	0	10	10^2	10^3	10^4	1,790×10^4	10^5
η (%)	15,796	15,789	15,731	15,248	13,339	12,636	10,366
Δη/η (%)	0	0,044	0,411	3,469	15,555	20,00	34,376
P_S/ $P_{Sinitiale}$ (%)	100	99,956	99,589	96,531	84,445	80	65,624
R_{sh} (Ω. cm^2)	+∞	1257,292	132,032	17,998	6,208	5,478	4,273

Les résultats du Tableau 1 montrent que pour $Sf_0 \leq 1{,}790\times10^4$ cm.s^{-1} le rendement de conversion soit la puissance de sortie du grain de cellule PV est supérieure ou égale à 80 % de sa valeur initiale. Par contre, pour $Sf_0 \geq 1{,}790\times10^4$ cm.s$^{-1,}$ la puissance de sortie atteint un niveau inférieur à 80 % de sa valeur initiale avec pour conséquence une dégradation drastique des performances (rendement et résistance shunt) du grain de cellule PV.

Quant à la résistance shunt, elle est très sensible à la variation du taux d'électrons perdus à la jonction (Sf_0). En effet, pour $Sf_0 \leq 1{,}790\times10^4$ cm.s^{-1} la résistance shunt passe d'une valeur infiniment grande à 5,478 Ω. cm^2 soit une fuite de courant à la jonction, en circuit ouvert, dont la densité varie de 0 mA.cm^{-2} à 53,591 mA.cm^{-2}.

4 CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons étudié l'influence des pertes d'électrons sur les performances d'une cellule PV au silicium polycristallin dans une analyse à 3 D.

Les résultats des simulations ont montré qu'en circuit ouvert on a une fuite de courant à la jonction du grain de cellule PV dont la densité croit de 0 mA.cm^{-2} à 58,80 mA.cm^{-2} lorsque le taux d'électrons perdus à la même jonction (Sf_0) varie de 0 à 10^5 cm.s^{-1}. Cette variation de la densité de courant de fuite à la jonction a pour conséquence une baisse de la tension de circuit ouvert de 350,98mV à 251,13 mV soit une diminution de 28,45%.

Les résultats ont également montré que la baisse de la tension de circuit ouvert et l'importante hausse de la densité de courant de fuite ont pour conséquence une chute drastique de la résistance shunt de l'infini à 4,273 Ω. cm^2. La baisse de la résistance shunt s'accompagne également d'une baisse du rendement de conversion de

34,376% ce qui signifie que la cellule PV délivre une puissance de sortie égale à 65,624 % de sa valeur initiale.

Les causes de la baisse de la résistance shunt sont essentiellement dues au vieillissement et/ou à la dégradation de la cellule PV. Ainsi, en prenant en compte le fait que les fabricants considèrent qu'un module/cellule PV est dégradé lorsque sa puissance de sortie atteint un niveau inférieur à 80 % de sa valeur initiale [2, 3] alors une cellule PV est dégradée lorsque $Sf_0 \geq 1{,}790\times10^4$ cm.s^{-1}. Dans ce cas, la résistance shunt est inférieure ou égale à 5,478 Ω. cm^2 entrainant une fuite de courant, en circuit ouvert, à la jonction de la cellule PV dont la densité est supérieure ou égale à 53,591 mA.cm^{-2}.

La méthode P (Sf_j), utilisée dans cette étude, bien qu'elle permette de mettre en évidence les phénomènes qui ont lieu à la jonction à travers l'évaluation du courant et de la puissance perdus (J_{co}, P_{co}) et par conséquent de la résistance shunt, n'est pas exploitable dans le cas d'une étude expérimentale. Ainsi, dans le cas d'une étude expérimentale il serait judicieux d'utiliser la méthode (J-V/P-V) qui est la réponse de la cellule PV à une charge extérieure.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier International Science Program (ISP) qui, à travers le projet BUF 01, soutient leurs travaux de recherche.

REFERENCES

[1] C. Huang and L. Wang, «Simulation study on the degradation process of photovoltaic modules,» *Energy conversion and management,* vol. 165, pp. 236–243, 2018.

[2] A. Ndiaye, A. Charki, A. Kobi, C. M. F. Kébé, P. A. Ndiaye, and V. Sambou, «*Degradations of silicon photovoltaic modules: A literature review*,» *Solar Energy,* vol. 96, pp. 140–151, 2013.

[3] J. H. Wohlgemuth, D. W. Cunningham, A. M. Nguyen and J. Miller, «Long term reliability of PV modules,» In: *Proceeding of the 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference,* Barcelona, Spain, pp. 1942-1946, 2005.

[4] S. A. Alves dos Santos, J. P. N. Torres, C.A.F. Fernandes, and R. A. Marques Lameirinhas, «The impact of aging of solar cells on the performance of photovoltaic panels,» *Energy Conversion and Management: X,* vol. 10, 100082, 2021.

[5] D. Polverini, M. Field, E. Dunlop, and W. Zaaiman, «Polycrystalline silicon PV modules performance and degradation over 20 years», *Progress in Photovoltaics: Research and Applications,* 2012.

[6] R. Doumanei, M. Balistrou, P. O. Logerais, O. Riou, J. F. Durastanti, and A. Charki, «A Circuit-Based Approach to Simulate the Characteristics of a Silicon Photovoltaic Module With Aging», *Journal of Solar Energy Engineering,* vol. 137, 021020, 2015.

[7] I. Zerbo, M. Zoungrana, A. Ouedraogo, and D. J. Bathiebo, «Effect of junction quality on the performance of a silicon solar cell», *Journal of Fundamental and Applied Sciences,* vol. 9, no. 2, pp. 1012-1026, 2017.

[8] L Priester, «Approche géométrique des joints de grains. Intérêt et limite.», Revue de physique appliquée, vol. 15, no. 4, pp. 789-830, 1980.

[9] B. Ba and M. Kane, «Open circuit voltage decay in polycrystalline silicon solar cells,» *Solar Energy Materials and Solar Cells,* vol. 37, no. 3-4, pp. 259–271, 1995.

[10] J. Dugas, «3 D modelling of a reverse cell made with improved multicrystalline silicon wafers,» *Solar Energy Materials and Solar Cells,* vol. 32, no. 1, pp. 71–88, 1994.

[11] K. Misiakos, C. H. Wang, A. Neugroschel, and F. A. Lindholm, «Simultaneous Extraction of Minority Carrier Parameters in Crystalline Semiconductors by Lateral Photocurrent,» *Journal of Applied Physics,* vol. 67, no. 1, pp. 321–333, 1990.

[12] M. A. S. Alshushan and I.M. Saleh, «Power degradation and performance evaluation of PV modules after 31 years of work,» In: *2013 IEEE 39th photovoltaic specialists conference (PVSC),* Tampa, Florida, USA, pp. 2977-2982, 2013.

[13] I. Zerbo, M. Zoungrana, A. Ouedraogo, B. Korgo, B. Zouma and D. J. Bathiebo, «Influence of electromagnetic waves produced by an amplitude modulation radio antenna on the electric power delivered by a silicon solar cell,» *Global Journal of Pure and Applied Sciences,* vol. 20, no. 2, pp. 139–148, 2014.

[14] I. Zerbo, M. Zoungrana, A. D. Seré, and F. Zougmoré, «Silicon solar cell under electromagnetic wave in steady state: effect of the telecommunication source's power of radiation,» *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering,* 29, 012019, 2012.

[15] V. d. D. B. Barandja, B. M. Pakouzou, E. W. Ramdé, J. M'boliguipa, M. Saria, M. Zoungrana, and I. Zerbo, «Modelling the response of an Illuminated Polysilicon Solar Cell under the influence of Radio Waves, a 3D approach,» *Energy Reports,* vol. 7, pp. 2094–2100, 2021.