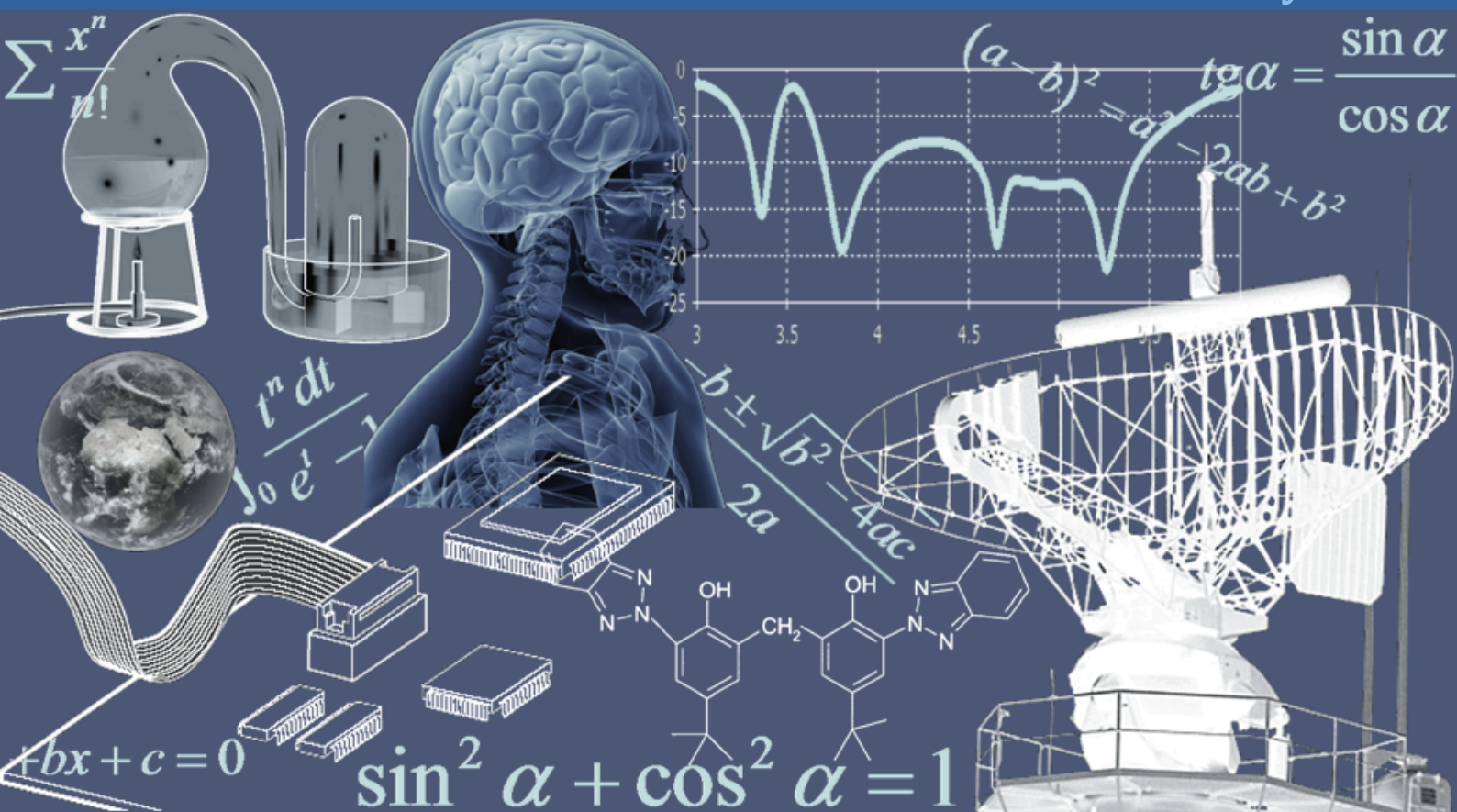


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 38 N. 4 February 2023



International Peer Reviewed Monthly Journal



International Journal of Innovation and Applied Studies

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

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

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

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

Editorial Advisory Board

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

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

Table of Contents

Investigation of a Cow Urine-Based Power Generation Technology model for a Cost-Effective and Sustainable Energy Source	779-793
<i><u>Md Wahidul Hasan, Khang Huynh, Tazkia Hassan Soha, Jamsheedul Alam Md Rubayet, and Sefatul Wasi</u></i>	
Étude diagnostique et évaluation des pertes post-récolte de quelques produits maraîchers dans les zones phares de production au Niger	794-805
<i><u>Mahamadou Elhadji Gounga, Rayanatonou Issa Ado, and Seyni Boureima</u></i>	
Valorisation technologique de la pulpe et de l'amande des fruits de <i>Sclerocarya birrea</i> (A. Rich.) Hochst. au Niger	806-818
<i><u>Moussa Arohassali Halidou, Mahamadou Elhadji Gounga, and Rayanatonou Issa Ado</u></i>	
Conséquences des pertes post-récolte des produits maraîchers et stratégies d'adaptation des producteurs ruraux au Niger	819-828
<i><u>Mahamadou Elhadji Gounga, Rayanatonou Issa Ado, and Habsatou Boukary</u></i>	
Soil characterization and potentiality to improve two Bambara groundnut varieties cropping under rock phosphate fertilization at sudano-sahelian climate of Burkina Faso	829-838
<i><u>Koulibi Fidèle Zongo, Hervé Nandkangre, Daouda Guebre, Abdramane Sanon, Diane Judicaëlle Kambou, Paligwendé Kabore, Adjima Ouoba, Edmond Hien, and Mahama Ouedraogo</u></i>	
Origines des Nitrates dans les Aquifères Discontinus du Socle du Damagaram Mounio, Est du Niger	839-846
<i><u>Abdou Hamidou, Ibrahim Adédé, and Issa Habou</u></i>	
Méthode de dimensionnement d'un système photovoltaïque comme source de secours pour l'alimentation d'un laboratoire informatique : Cas de laboratoire informatique de l'ISTA Lukula, Boma, RD Congo	847-859
<i><u>Ready Khiekie Ngembo, FITA LIBWA Justin, and PHONGO MAVUNGU Germain</u></i>	
Système de détection de la pneumonie dans les images radiographiques thoraciques	860-872
<i><u>ILUNGA MBUYAMBA Elisée and MUSENGA SHAMBUYI Plamedi</u></i>	
La coexistence de la microfinance formelle et informelle au Nord du territoire de Kabare, Sud-Kivu en RDC	873-881
<i><u>Mutaqoma Bizimana Charles</u></i>	
La gratuité de l'enseignement dans les écoles primaires de Goma, RDC: Effets, défis et perspectives	882-890
<i><u>Mutaqoma Bizimana Charles</u></i>	
Evaluation of groundwater mineralization processes in Moundou City (Southwestern Chad)	891-905
<i><u>Edith Kadjangaba, Antoinette Dénénodji, Djimako Bongo, Jean-Claude Doumnanguembaigane, and Mahmoud Yaya</u></i>	
Contribution of multicriteria analysis and GIS in the discrimination of flood risk areas on the Allada plateau in Southern Benin	906-924
<i><u>Kpofo Josiane Nadège, Akokponhoue Houngnigbo Bertrand, Orekan Vincent, and Yao Yao Muller</u></i>	
Le spectateur: Quel rôle et place occupe-t-il dans le procès théâtral ?	925-929
<i><u>Chouiba Manal</u></i>	
Tabagisme en milieu hospitalier: Connaissances des soignants sur les méfaits du tabac, actions à promouvoir pour un hôpital sans tabac	930-935
<i><u>Bocar Baïla Diédhiou, Armandine Eusebia Roseline Diatta, Marcel Kuire, and Mor Ndiaye</u></i>	
Activité antibactérienne in vitro de l'hémolymphe de deux espèces de Coléoptère (<i>Oryctes owariensis</i> et <i>Rhynchophorus phoenicis</i>) immunisées par des souches bactériennes	936-943
<i><u>Sansan KAMBOU, Adjoua Christiane Eunice BOKO, N'Goran Parfait N'Zi, and Angaman Djédoux Maxime</u></i>	
Preliminary Training Needs assessment for Residents in «Temporomandibular Dysfunctions» practicing within the Fixed Prosthodontic Department of CHU IBN ROCHD's Dental Consultation and Treatment Center	944-947
<i><u>Nadia El Meshahi, Souad Chaouir, El Mehdi Jouhadi, and Abderrahman Andoh</u></i>	
Valorisation énergétique des déchets issus de la transformation de l'ananas en jus à promo fruits Bénin: Etude de faisabilité et émergence de solution	948-969
<i><u>Romain AKPASSONOU, Thierry Godjo, Farid ADAMON, Honorat SATOGUINA, Clotilde Guidi, and Ioachim Gbenou</u></i>	
Le risque fiscal lié aux opérations de fusion: Cas du Maroc	970-978

El Mehdi Ajjig, Nouha El Abdelaoui, and Kaoutar El Menzhi

Inventaire préliminaire des Araignées (Arachnida, Cuvier 1812) dans la région de Kasugho, Nord-Kivu, République Démocratique du Congo 979-990

Kambere Vindu Jimmy, Kulethatha Sengemoja Emmanuel, Kakule Kambere Prosper, Mbusa Mapoli Joël, Musubaho Kako-Wanzalire Loving, Paluku Siwako Vyanesco, and Luakaly Mbumba Jean-Louis

Contribution au dépistage des kystes des protozoaires intestinaux: Etude comparative entre la coloration directe au LUGOL et la concentration de THEBAUT dans l'identification des protozoaires intestinaux (Amibes) 991-998

Paluku Kanyere Dieudonné

Etude géologique des formations situées entre les Villages Manterne et Luki (Province du Kongo Central, RD Congo) 999-1010

Serge Diemo, Patrick Mukonkole Mukonkole, Ndumba Don Raymond, Kazadi Mujinga Stella, Nsakala Tanda Reddy Andy, Kahindo Katoto Danielle, Kra Ange, and Ngumba Ngumba Victoire

Etude cartographique du massif kimberlitique 12 de Bakwanga (Kasaï oriental, RD Congo) 1011-1018

Serge Diemo, Ndumba Don Raymond, Kazadi Mujinga Stella, Nsakala Tanda Reddy Andy, Kahindo Katoto Danielle, Kra Ange, and Ngumba Ngumba Victoire

Etude environnementale des poubelles publiques: Stratégies de réparation du site (Cas du District du Mont-Amba, Ville-Province de Kinshasa) 1019-1028

Serge Diemo, Patrick Mukonkole Mukonkole, Arnold ONYA NGILA, Chamira FWANI PAMBU, Prisca KATSHUNGA AKAZIA, Joséphine NKIKU KUNGA, and Arielle MABAYA ARIELLE

Investigation of a Cow Urine-Based Power Generation Technology model for a Cost-Effective and Sustainable Energy Source

Md Wahidul Hasan¹, Khang Huynh², Tazkia Hassan Soha³, Jamshedul Alam Md Rubayet⁴, and Sefatul Wasi³

¹Department of Mechanical Engineering, South Dakota School of Mines and Technology, Rapid City, South Dakota, USA

²Department of Chemical and Biological Engineering, South Dakota School of Mines and Technology, Rapid City, South Dakota, USA

³Agency Lab, Independent University, Dhaka, Bangladesh

⁴Bangladesh Bank, Dhaka, Bangladesh

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 energy issue has two aspects: fossil fuels are depleting more quickly than ever before, while energy consumption is rising rapidly. Conventional sources like coal, oil, and natural gas used to satisfy the demand, while solar and wind energy are becoming more and more popular. Energy stored in biomass contributes to the production of renewable electricity and heat. Bio-energy can be a pivotal sustainable renewable energy option that can tackle numerous stumbling blocks in the energy section and contribute to developing rural areas with sustainable solutions. We have studied in case of the rural and undeveloped areas of Bangladesh for this research which can also be implied in the case of rural areas of other underdeveloped countries. Cow urine has been proposed to help meet some energy demand, especially in rural communities. This resource, abundant in rural cow farming, is generally considered waste and could be utilized to generate a substantial amount of electricity. Cow urine is an alkaline solution and serves as a source of electrolytes in the power cell. From urine collection to production, the whole model has been evaluated through Life Cycle Analysis (LCA) process to check the system feasibility. This article describes numerous surveys to find the different aspects and demand ratios of using inexpensive electricity from an end-user point of view. The proposed project works on an elementary basis of chemical reactions and, in turn, generates current flow. The main configuration uses an anode, cathode, alkaline electrolyte (fresh urine), and a connecting wire; the imbalance of the electron makes it possible for the current to start flowing to neutralize the imbalance. In this article, we propose a community-based tri-faceted community currency system with the aim that exchange held within the local economy results in additional economic benefits for that locality and promotes other green projects. Therefore, a hybrid approach of solar power, cow urine-based power, and IoT-based distribution systems are proposed, which will offer a significant advantage in renewable energy research and solve the scarcity of electricity to a greater extent. This proposed system will draw a line to meet the SDG 2030 goals.

KEYWORDS: Urine; Battery Storage; Off-grid electrification; Chemical Modeling; Internet of Things; LCA; CO₂ emissions; Renewable Energy.

1 INTRODUCTION

Around 65% of carbon emissions are caused by fossil fuel usage, and 25% of greenhouse gases are produced due to electricity generation and heating processes. Since 1900, the world's carbon emissions from fossil fuels have considerably risen. Nearly 80% of the entire increase in greenhouse gas emissions between 1970 and 2011 was caused by emissions from the burning of fossil fuels and industrial operations. Since 1970, CO₂ emissions have grown by about 90%. China accounted for 30% of global carbon dioxide (CO₂) emissions in 2014, followed by the United States (15%) and the European Union (9%) [1–3].

These statistics cover CO₂ emissions from cement production, gas flaring, and the burning of fossil fuels. It is well-known that the excess use of fossil fuel to generate electricity is a problem for the earth's environment. Although it can take million of years for biomass to get converted to fossil fuel, the current excessive usage greatly depleted this natural resource.

Crude oil reserves are expected to be eroding at a pace of 4 billion tons per year; if this trend continues without adjusting for our population growth or goals, our known oil reserves will last until 2052. By 2060, all of our oil reserves will be gone, and by 2088, all of our coal supplies will be used up [3,4]. Overusing fossil fuels to generate electricity is problematic as the resource is finite and finishes quickly. That was a generalized perspective of the world. The situation is even more complicated for countries like Bangladesh. In rural and underdeveloped areas, people live where there is no proper electrified society or cannot connect due to insufficient money; however, the situation is complicated for countries like Bangladesh. Moreover, here in Bangladesh, about 65% of the population lives in the countryside, and of which many lives in remote locations and have limited or no access to electricity. Over the past few decades, the demand for energy and the global crisis for energy has increased in parallel.

Not only fossil fuel reservoirs are perishing at an exceptionally high rate, but they also cause enormous damage to the environment, such as 'Global Warming.' Therefore, meeting the ever-growing demand for energy and keeping the environment safe, finding an alternative energy source is a great challenge. However, we can efficiently utilize materials generally considered waste to generate electricity. For example, cow urine, a yellowish alkaline solution, could be a source of electrolyte for electric cells [5–8]. Though only 2.5% are electrolytes present in cow urine and 95% of the water, that amount is sufficient for generating enough power for a small firm by its urine supply [9–11]. According to a research conducted in 2016, 87% of the world population already had access to electricity. However, the electricity demand has been steadily increasing by at least 10% per year [12]. Although presently we have the generation capacity to meet the demands, a significant portion remains untapped due to deficiency of gas or coal, unreliable old powerplants, and lack of development of the electricity grid infrastructure [13]. Therefore, we need alternative sustainable and renewable sources of electricity to meet the people's demands, particularly in the rural areas of Bangladesh with a lower income bracket. About 64.96 % of the total population of Bangladesh lives in rural areas. A solvent rural family owning a pair of cows or buffaloes is a typical scenario there. The small farms have 12-15 cows on average; thus, urine generation is quite significant in scale. There are around 0.5 million dairy farms in Bangladesh, and 50 million people rely on the dairy industry for a living, both directly and indirectly. A prototype was tested using containers with 3 to 6 slots and 1/2 liter to 6 liters of cow urine to confirm the suggested procedure. The small farms have 12-15 cows on average; thus, the amount of urine generation is quite significant in scale. These farm owners can easily install this project inside their compound and have their power plant, potentially empowering the whole farm without any external power supply. Since the proposed project has a simple structure with a straightforward operation system, this project is viable to make space in people's lives.

It is widely perceived that one of the most challenging issues in the energy sector [9,14]. For green future economic growth, clean energy sources have become mandatory nowadays. Hence, what could be a better source of energy generation than cattle waste? There are approximately 0.5 million dairy farms in Bangladesh, and around 50 million people in Bangladesh, directly and indirectly, depend on the dairy business for livelihood. A prototype has been tested with 1/2 litres to 6 litres of cow urine and containers having 3 to 6 slots to validate the proposed method.

The Sustainable Development Goals, or SDGs, aim to create a more peaceful and prosperous world. The agenda of the goals focus on a wide variety of goals, including eradicating poverty and hunger and ensuring access to excellent education, gender equality, clean energy, responsible consumption, economic growth, sustainable communities, and many other goals. Seventeen sustainable development goals are intended to achieve the targets by 2030 and build a perfect world for everyone. Here we will be focusing on how our model and further developments in this type of solution can contribute to Sustainable Development Goals [15].

2 PROJECT GENRE

This is a relatively new and highly potent source of electricity. Electricity can be harnessed from bovine urine through electrolytic conduction [11]. The alkaline characteristic of uncured and unprocessed cow urine is a potent electrolyte liquid. Cow urine is an abundant resource that remains otherwise unused. The project model is distributed in several categories. Fig.1 Shows how it will work to integrate a community.

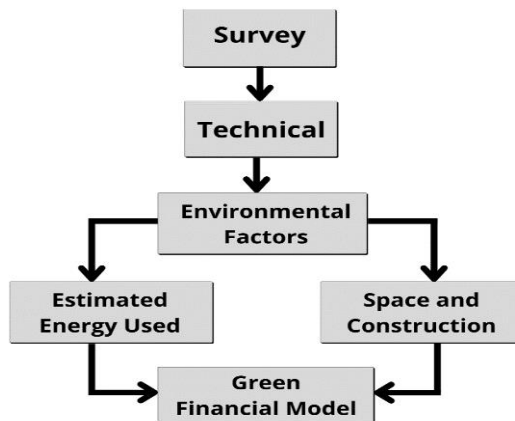


Fig. 1. Flow-Chart of the green modelling system

3 METHODOLOGY

3.1 SURVEY

A study of more than 200 people was undertaken to determine the demand for energy among those with low incomes or other disadvantages. We visited local businesses and rickshaw garages to gather information from them and ask the residents few questions about their lives, such as their names, the size of their family, whether they have a cow, what their paramount need for electricity is, and whether they have a roof over their heads to let in sunlight and so on. They also shared their issues. Some of them mentioned they paid much more, especially in the summer. Table 1 shows the primary energy demand per household, given the survey questions and a few sample answers. The data also implied that they are interested in having their own electricity facility.

Table 1. Survey questionnaire about the primary demands for electricity

For what do they need electricity mainly?	Minimum duration for which they need electricity everyday	Do they Already have an electricity?	From whom they connected the electricity line	How much do they pay for it?	Do they own cows?	Do they have a roof to exposed to sufficient sunlight?
Charge Vehicle and Basic need	20 hours	Yes	PDB	800 Tk/Month	No	No
Children’s Study and Basic need	20 hours	Yes	Solar Power And PDB	700 Tk/Month	No	Yes
Basic need	16 hours	Yes	PDB	600 Tk/Month	Yes	No
Children’s Study and Basic need	14 hours	Yes	PDB	500 Tk/Month	No	No
Basic need	16 hours	Yes	PDB	600 Tk/Month	No	No

3.1.1 GRAPHICAL REPRESENTATION OF SURVEY DATA

The data suggests that the people interviewed have demands or more suitably electricity needs that are not being met from the minimal access they have. They need electricity to alleviate themselves from poverty and improve their living standards. Cow urine and the solar-based hybrid system can facilitate their activities to a greater extent. The demand chart is depicted in Fig.2, while the daily load profile is listed in Table 2.

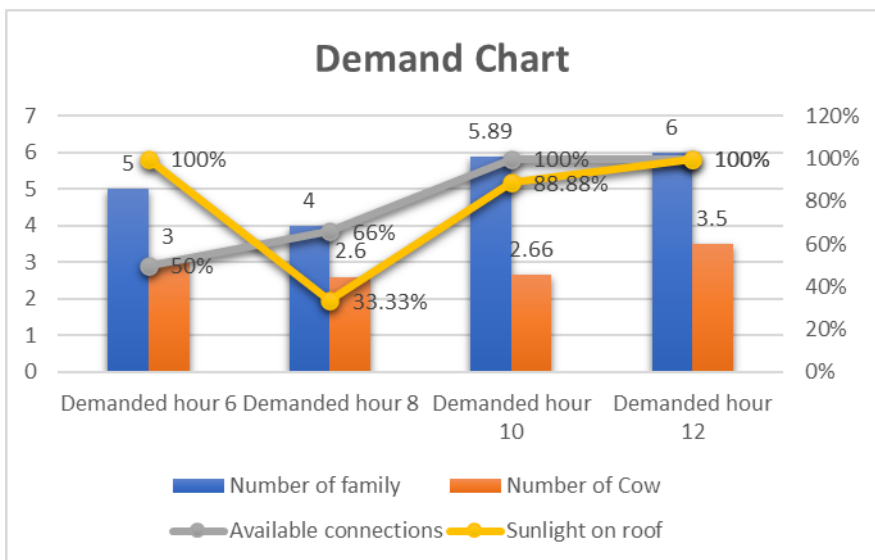


Fig. 2. Survey Data

Table 2. Daily load profile survey

Daily Load Profile					
Appliance	Type	Unit	Watt	Hours of Operation	Appliance
LED	DC	2	6	8	24
FAN	DC	2	20	14	20

3.2 SURVEY RESULTS

According to table 1, most people use electricity 24 hrs/day. People who mainly share their rooms use less electricity (14 to 18 hrs./day) than others. A family with children needs more electricity for their children’s study purposes. Other shops and tea stalls use electricity all day long. People who have many family members also use more electricity for various purposes. Rickshaw pullers are mainly used electricity at night to recharge their vehicles. The data suggests that the people interviewed have demands or more suitably electricity needs that are not being met from the minimal access they do have. They need electricity to alleviate themselves from poverty and improve their living standards.

4 TECHNICAL

4.1 THEORY OF ELECTRICITY DERIVED FROM COW URINE

This cow urine-based electricity generation technology employs the same principles of simple Voltaic Cells.



Cathode Reaction:



Essential half reaction copper and zinc electrodes are submerged in solutions of copper (II) sulfate and zinc sulfate, respectively, since uric acid is employed as a solution and electrons can flow from zinc plate to copper plate [11]. Zinc is oxidized at the anode following the following half reaction:



Copper is reduced at the cathode following the following reaction:



The total reaction resulting:



In a typical electrolytic chamber, uric acid from cow urine reacts with the cathode (here Cu plates) that forms a copper-urate $\text{Cu.C}_5\text{H}_2\text{N}_4\text{O}_3$ complex [11]. The transfer of electrons from the anode (here Zn Plates) to the cathode through a wire creates a smooth flow of electricity.

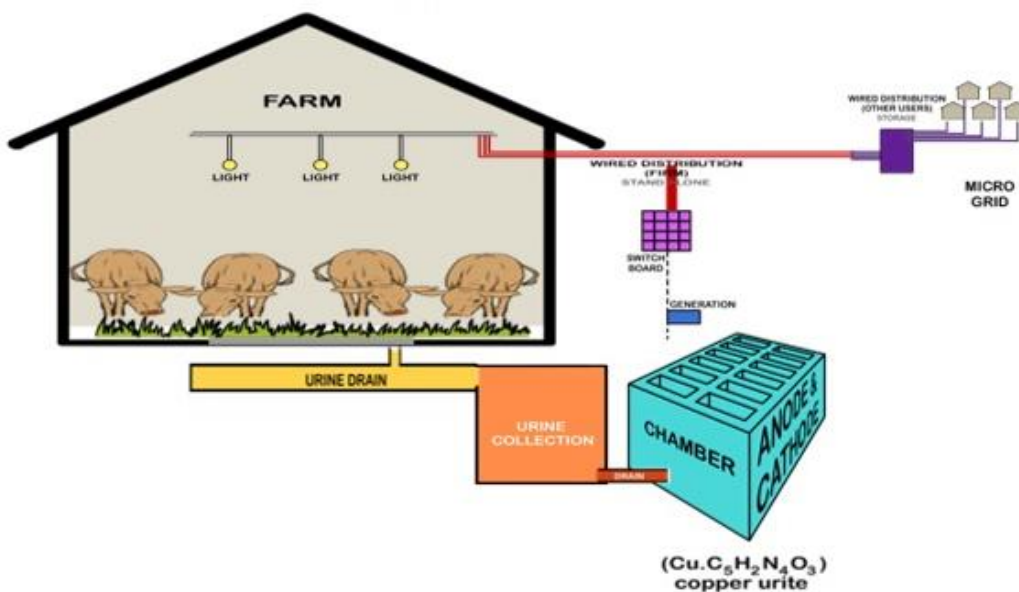


Fig. 3. Shows the process of generating electricity for distribution

4.2 IOT IN ENERGY MONITORING

The proposed electricity generation system will also be defined as the integrated technology system to monitor demand-based energy distribution. For example, energy will be distributed by a micro-scale system so that every household in this community may get equal energy. The system will be working in the following methodology.

1. After generating electricity, it will store in a central system
2. There will be an Energy monitoring device on the plant side that will indicate how much energy has been stored in the storage
3. GSM-based wireless communication tools will be integrated with the primary control system to transfer data to the central server, which may or may not be located inside the plant area. The following flowchart shows how the monitoring system will be distributed from the main supply to the end-user

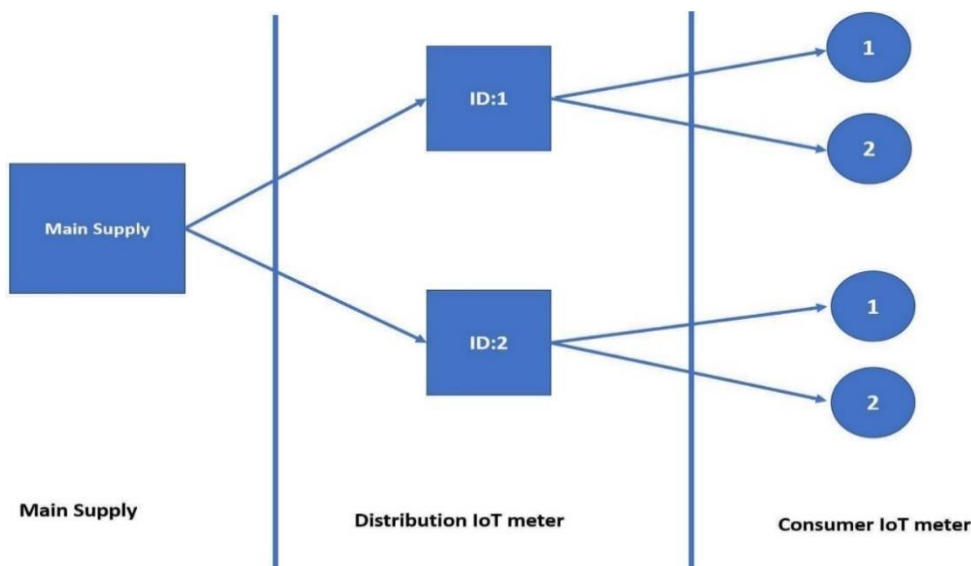


Fig. 4. Distribution Unit flow-chart

The central supply is responsible for providing the distribution meter’s exact generation rating through the integration unit. This system is designed for single-unit community plants where one or two farms or households can be connected. Figure 4 shows that the distribution channels are divided into two parts, *ID: 1* and *ID: 2*, respectively. Here, ID denotes the distribution identity channel, and it has not limited to only ID: 1 or 2. It could be in more channels to facilitate more community. Distribution units are responsible for sending the data to consumer IoT meters so that individual consumers can see the exact uses. The working principle of this system is mainly run by an IoT mechanism to process and monitor the exact demand for electricity. All data (generation, distribution, and consumption) will be stored in a cloud-based central server so that systems can measure the ratio of the assigned sector. Figure 5 shows the IoT unit configuration.

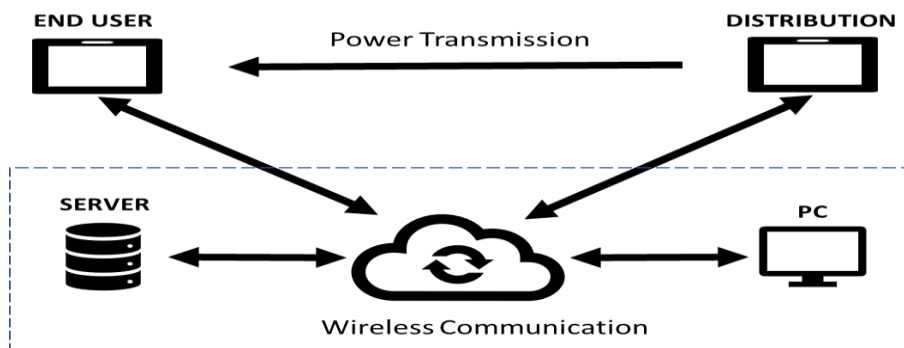


Fig. 5. IoT unit configuration for energy supply and monitoring

4.3 PROPOSED HYBRID SYSTEM

Here we propose a new technology to store electricity from urine and solar power and an IoT-based distribution method to solve the scarcity of electricity in rural Bangladesh (figure 6). In this method, power from both sources will be stored, and IoT will control the distribution based on need, reducing energy loss and ensuring efficient utilization.

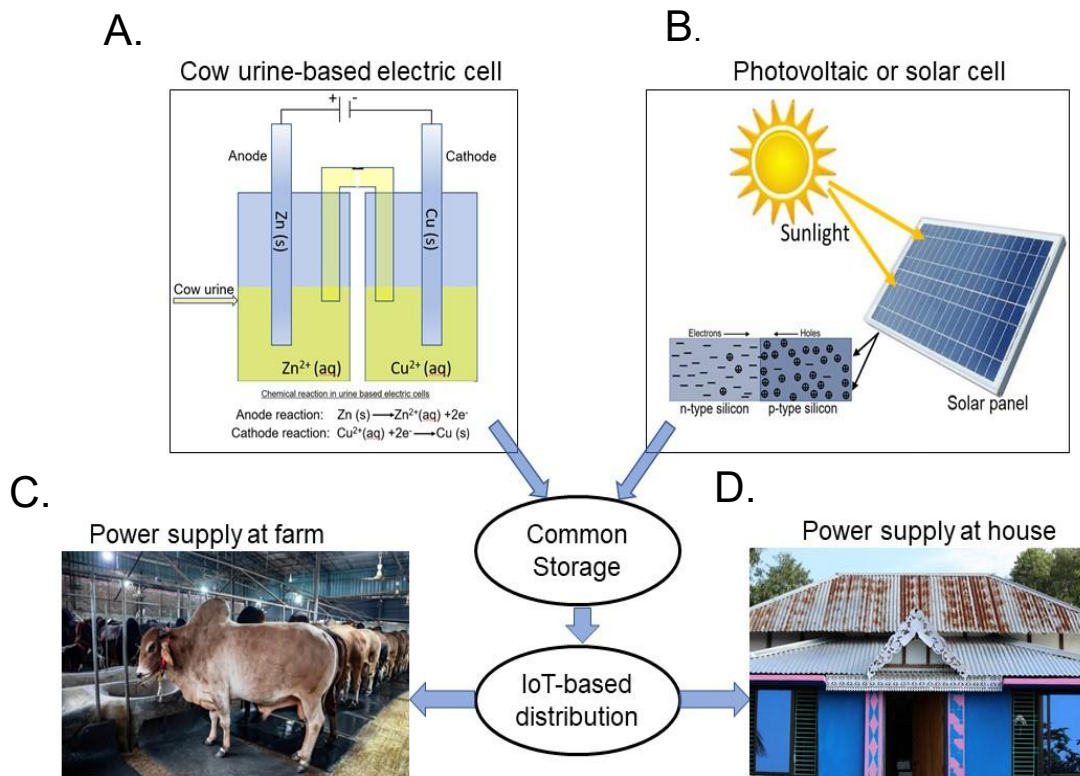


Fig. 6. (A, B, C, D). Unified renewable energy distribution

The top left, and correct figures depict cow urine-based electricity generation technology’s schematic diagrams and sunlight conversion into electricity. Energy from these two sources will be stored in a unified storage system, and later, it will be distributed to either farm or house as per need using an IoT-based distribution technology.

4.4 PHYSICAL DATA COLLECTION

As depicted in figures 7 (3D design of the chamber) and 8 (physical module of the pilot plant), a small-scale prototype power plant based on cow urine is created on a dairy farm in a suburb of Dhaka city in Bangladesh to verify the practicality of the suggested urine-based power plant.

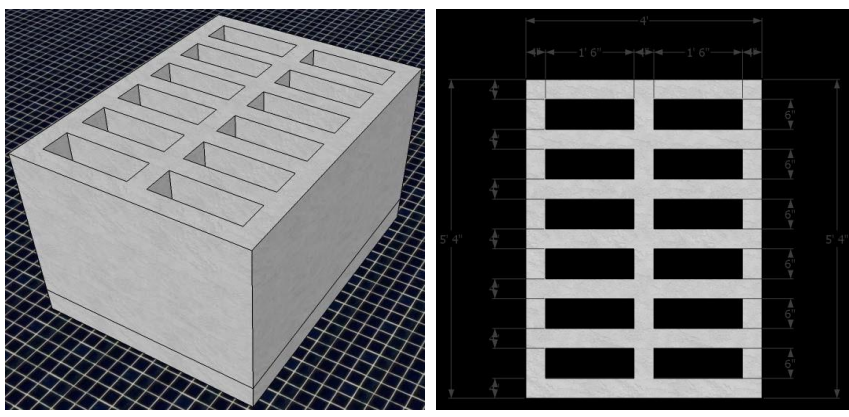


Fig. 7. Diagram of a 2D physical system in AutoCAD

Using AutoCAD software, the prototype of the urine-based plant was created, and the 2D design gives a sense of the actual space required for execution. The urine chamber measures 5 feet long and 3 feet wide.

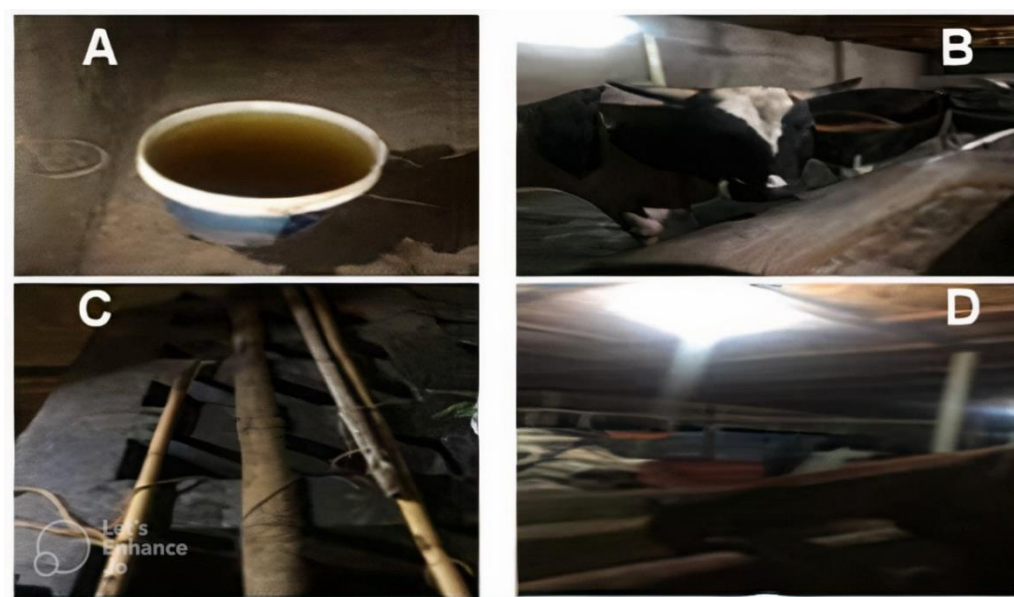


Fig. 8. (A, B, C, D). Physical model of pilot plant

Fresh urine is used as the electrolyte in three separate phases of the tests, while the electrodes are left untouched. The following subsections detail the experiments as well as the measurements.

Table 3. Urine-based Real-Time power consumption

Urine (Liter)	Time Interval (Hr)	Voltage (V)	Current (mA)	Power (Watt)
12	0-3	16.03	613	9.826
12	3-6	14.96	427	6.387
12	6-9	13.02	196	2.551
12	9-12	11.96	49	0.586

Each chamber has 6 cells that are filled with fresh urine. Per cell contains 2 electrodes; in total, 24 electrodes were used in the system. Measurements are taken every 3 hours time interval, and it is observed that both currents and power decrease in time, as illustrated in Table 3. It clearly shows that the Power ratio was decaying within a time interval, and from *Ph* level of urine, it is optimized that urine will be neutralized after a particular time of conduction within the electrodes.

We require extra electrodes and urine litters if we wish to expand the number of chambers. The power capacity will also grow when these are increased. However, since the voltage is stabilized by a parallel connection and uniformed by a gate drive circuit, adding more chambers will not change the uniformed voltage. More electrodes (anode and cathode), electrolyte (cow urine), and power are required as the number of chambers rises, but the voltage remains stable. The sum of all voltages within a circuit's loop is equal to zero, according to Kirchhoff's Voltage Law, or KVL. To refer to the equation given below-

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

The primary source is an all-natural substance, and the system does not emit harmful chemicals, making it an ultimate contender for a trustworthy renewable and green energy source. The mentionable problems would be if the chemical formation of the cow urine is altered by some disease of the cow or the supply of fresh urine is unavailable at the end time of an exhausted batch. For larger implants, an extensive size of electrodes would be needed increasing the overall cost. The data from the experimental setup is compelling, but at the beginning of the product's launch, it can impress several people but can start self-promoting after several sales. One more problem can be the belief in people that the source, which is cow urine, might be an unholy component, but this idea can be cured with the fact of our long-observed culture of the usage of cow dung in the field of energy production and thus contributing towards greener future. If not given a commission, the political parties may create a hassle. Since it is a continuous process and any lagging in the refill of the electrolyte will result in uneven power

generation, to mitigate this, the owner can have a specific person who can change the old urine and replace it with a fresh batch.

5 ENVIRONMENTAL FACTOR

Providing electricity for all its people in Bangladesh is a problem that needs green, faster, and cheaper solutions. According to an estimation, there are millions of cattle in Bangladesh, and every day they produce a vast amount of urine, and if it is released into the soil directly, the soil gets poisoned and acidic that no plant can grow. As an overpopulated country, every small piece of land is essential. The proposed project also provides some solutions for the environment and will be aiding to following factors:

1. Neutralize toxicity of cow urine
2. Generate electricity using cow urine so that, in rural and remote areas, green electricity can be provided to underprivileged people by a micro-distribution model (Need and demand based)
3. Waste Management process (e.g., Utilization of dung and urine)
4. Employment opportunity

As mentioned in the previous section that there are three significant problems that we have identified to provide a solution to, and they are:

Neutralize toxicity of cow urine: This project proposes the production of electricity by using Cow Urine. While generating electricity using cow urine, after a fresh batch of urine is used for electricity generation using our proposed method, the toxicity of the urine is completely neutralized, and the byproduct is a form of liquid fertilizer that is very mineral-rich. We gain some understanding from a brief observation of the cow urine's effects. Preliminary two to three months analysis revealed that plants or other natural materials are more likely to be affected by cow urine before the neutralizing processes. To get a general overview of whether neutralized cow urine affects the environment, we tested by dumping it on grass or plants. It demonstrates that freshly neutralized cow urine can be used as compost. In the next phase of the research, we will talk about cow biology and its environmental effects, enabling us to get more in-depth information and analysis in this regard. Thus, we believe the proposed method will not only help to detoxify cow urine it will also produce mineral-rich liquid fertilizer.

Generate green electricity for the underprivileged: Key issue of providing electricity for the underprivileged is the availability of electricity generation resources, cost, and ease of use. This project proposes the production of electricity by using Cow Urine. Our preliminary work has shown that if a household has two cows, it is possible to produce enough electricity such that the household can use two LED lights and a fan for 8 hours daily. Bangladesh government has a project titled ' (Ekti Bari Ekti Khamar): A House is a farm'. The philosophy of this project is to provide a family with a house on a small land, a cow, so they can be as self-sustained as possible.

6 SOCIAL IMPACT ON LOCAL COMMUNITIES

The primary beneficiaries would be the Farms or the Milk and meat Industry. Since they possess many cows, a large amount of urine is always present; thus, a small plant can be set up quickly, and a regular serving of electricity can be obtained from there [16–18]. Even in a rural area, the farmers having two to three cows can be facilitated with this system.

Currently, Bangladesh has the facility of renewable energy in the form of solar systems; besides, conventional power plants are frequently used to alleviate the need for electricity. Thus, compared to these available options, this biomass-based project can become a revolutionary change in contrast to the expensive conventional alternatives; Despite being a free-of-cost source system, the setup and maintenance are very user-friendly and budget-friendly. It is a very low-cost configuration to generate electricity as the main component of the configuration is a form of waste, cow urine.

About 64.96 % of the total population of Bangladesh lives in rural areas (data of 2016). A solvent rural family owning a pair of cows or buffalo is a standard scenario there. With the utilization of the proposed project, these small families can create a small capacity power plant of their own. The small farms have 12-15 cows on average, and thus the amount of urine generation is quite significant in scale. These farm owners can easily install this project inside their compound and have their own power plant, which can potentially empower the whole farm without any external power supply. Since the proposed project has a simple structure with a straightforward operation system, this project is viable to make space in people's lives.

7 SUSTAINABILITY INDICATORS

Here we cover the four sustainability indicators and the project's contribution to meeting the Sustainable Development Goals (SDG). Environmental, social, economic, and technical concerns are among the indicators. Within the indicators that ensure part of the Sustainable Development Goals is reached, there are 11 sub-indicators, as illustrated in figure 9.

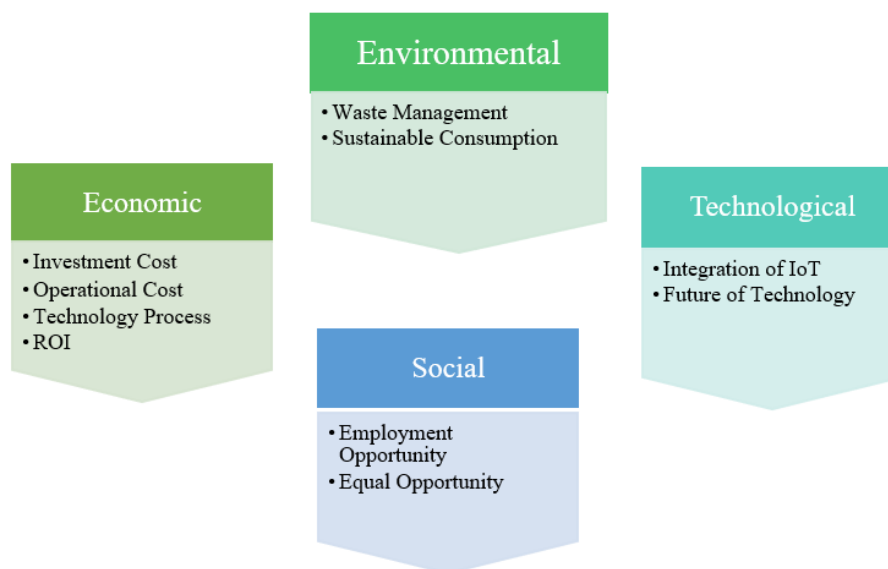


Fig. 9. Sustainability Indicators

7.1 ENVIRONMENTAL

7.1.1 WASTE MANAGEMENT

Waste management guarantees that any waste material is used efficiently by employing various strategies. Biodegradable materials that can be reused and recycled can be an excellent source of green solutions for converting waste to energy [19]. Methods such as burning, pyrolysis, drying, reduction, and others can all help generate energy from waste. Cow urine is a harmful waste that harms the environment by decomposing into nitrate, nitrous oxide, and other greenhouse gas sources. The suggested green model may exploit this waste and use it as a sustainable energy source. This sustainable waste management and renewable energy consumption solution are being implemented modestly at local dairy farms. This will also help achieve SDG 13- Life on Land, which seeks to sustainably manage forests and reduce deforestation, land degradation, and biodiversity loss. The neutralization of hazardous waste such as cow urine and its use as a sustainable renewable energy source helps protect land and environmental integrity and contributes to the fundamental goal of SDG 13.

7.1.2 SUSTAINABLE CONSUMPTION

Sustainable consumption is primarily concerned with using renewable energy and solutions that have a low environmental effect. Green solutions, energy efficiency, and renewable energy contribute to a more sustainable economic future. Here, an alkaline solution derived from cow urine is used to create significant power on a small scale. The approach meets Sustainable Development Goals (SDG) 7 and 12. SDG 7 focuses on affordable and clean energy to deliver efficient energy utilization and renewable energy in underdeveloped countries to enable long-term growth. SDG 12 focuses on responsible consumption and production, corresponding to SDG 7's focus on clean energy. SDG 12 aims to minimize the worldwide use of natural resources while increasing the use of renewable energy. The concept contributes to social and economic advancement as we strive for a more sustainable lifestyle [15].

7.2 SOCIAL

7.2.1 EMPLOYMENT OPPORTUNITY

The proposed solution focuses on making the optimum use of every resource and seizing every opportunity to build a more sustainable society. Employment opportunity is one of the elements that can make a significant contribution to this solution. As we strive for economic growth and a better quality of life in our communities, the proposed green financial model would generate job possibilities for individuals in various roles. A wide range of career opportunities will be available, ranging from operational to technical. This will help achieve Sustainable Development Goal (SDG) 8 - Decent work and economic growth [15]. A sustainable solution generates job opportunities and propels a community's economic progress. The proposed approach is an excellent chance to assist local farmers in generating power from cow urine on their dairy farms. This is also an excellent opportunity to develop and employ the local community's young minds. The procedure helps to keep the unemployment rate low.

7.2.2 EQUAL OPPORTUNITIES

The proposed project offers everyone a wide range of opportunities. Equal opportunities for men and women must be mentioned to ensure proper societal contribution. Women have been contributing equally to agricultural activities in underdeveloped countries. Africa is a fantastic example of this, with more than 60% of employed women working in agricultural enterprises [20]. There are still challenges in this industry but implementing a long-term solution might significantly improve over time. Women in rural parts of nations such as Bangladesh contribute significantly to dairy farm duties, and this project may serve as a bridge between women in the field, engineering, and business by merging various experiences and providing the most significant end to success. This contribution will help meet the SDG 5 - Gender Equality objective, which seeks to advance equal rights in all aspects of life [15].

7.3 ECONOMIC

7.3.1 INVESTMENT COST

Investment costs are essential expenses for various components that contribute to the overall process of a business or project. The suggested model includes costs for the building of the dairy farm, the power plant, electrical components, IoT devices, solar panels, and other critical operational services. The investment cost is an essential economic factor in appraising the energy infrastructure.

7.3.2 OPERATIONAL COST

Operational expenses are necessary expenditures of a project or business process to continue operations and services. There are a variety of charges for a biomass-based enterprise like the suggested model, including salaries, maintenance costs, dairy farm maintenance costs, energy prices, and more.

7.3.3 ENHANCE TECHNOLOGY PROCESS

There are technological processes involved in the project that contribute as economic factors. The processes involving the energy components, the energy note, energy voucher, and energy card, are essential contributions to the advancement of technological processes that comprise the project's proposed energy-based tri-facet local Economy model. Improving technology also encompasses processes such as the pace of technological investment, the influence of environmentally safe alternatives, ecologically sound product creation, and much more [21].

7.3.4 RETURN ON INVESTMENT (ROI)

The method of determining the profitability of an investment is known as return on investment (ROI). It assessed initial expenses, operating costs, and other essential expenditures before calculating the amount returned after relevant costs or investments.

7.4 TECHNOLOGY

7.4.1 INTEGRATION OF IOT

The Internet of Things (IoT) contribution is critical in practically all sectors of modern industry that require technical components. It provides a computational advantage in all processes and assures asset digitization and real-time data processing [11]. Overall, it improves the project's efficiency and production. By establishing a monitoring system and demand-based energy distribution, the proposed project would leverage the power of IoT. The use of blockchain technology in conjunction with IoT for future research can be a powerful strategy for ensuring data integrity and security.

7.4.2 FUTURE OF TECHNOLOGY

The future of technology aspect is primarily concerned with the technology's future viability. Its goal is to assess the processes and technology elements involved and determine whether they are future-proof. Limitations and other factors may contribute to the technology's relevance and the solution's efficiency [22].

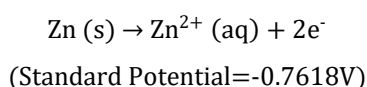
7.4.3 CHEMICAL ANALYSIS

This section will go through the chemical analysis, a critical component of the proposed solution. This is a green energy solution in the form of a urine-based electricity-producing system [11]. The system's chemical modelling is depicted more below-

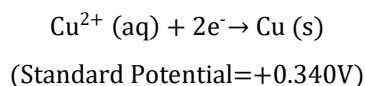
Reaction between Uric Acid and Electrodes:

The uric acid obtained from cow urine is utilized as a system solution. The redox reaction occurs when copper and zinc electrodes are submerged in solutions of copper (II) sulfate and zinc sulfate, correspondingly. We see zinc oxidation at the anode and copper reduction at the cathode [11]. The standard potential for both half-reactions is provided below-

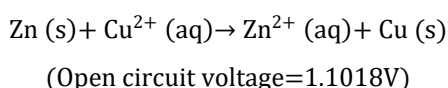
Anode (Oxidation):



Cathode (Reduction):



Total Reaction:



As a result of these electrochemical reactions, a small quantity of electricity is produced. These processes include the anode, where current travels via electrons as they head toward the cathode [11]. Thus, electrical contact may be made between the electrodes and the uric acid solution.

8 PROPOSED GREEN FINANCIAL MODEL

An eco-friendly or ecovillage community is a small-scale community with little ecological or regenerative impact. Such communities aim to become socially, culturally, economically, and ecologically sustainable. While the planet can recycle some wastes back into the environment, humankind began converting resources to garbage faster than waste could be converted back into resources in the last five decades. Since then, the planet has been in a state of global ecological overshoot, and we are rapidly depleting the resources that support human existence and biodiversity. As a result, SDG goal 12 is to achieve sustainable management and efficient use of natural resources by 2030.

On the other hand, Goal 13 is to take urgent action to combat climate change and its impacts. So, it is the challenge to reduce energy usage through reduced consumption, altered lifestyles, and increased energy efficiency, and then convert the remaining energy use to as nearly 100% renewable energy like solar power as possible. Commercial bank credit makes up the

bulk of the money supply in the modern monetary system. The widespread use of fiat currencies and the fractional reserve banking system coincided with the availability and ability to use energy-dense fossil fuels, resulting in unparalleled economic growth and inflation. It creates the illusion of wealth and encourages unsustainable debt build-up; it has little to do with promoting general welfare or economic efficiency. The concept of implementing an energy-based exchange system alongside or as a substitute for fiat currencies is proposed by many persons. These proposals aim to alleviate the adverse effects of fiat currency and support sustainable energy transition.

Universal energy-backed currency implementation is still possible theoretically. Though there are many 'debits' and credit-based energy currency concepts, very few are successfully implemented and sustained. Like successfully implemented coal-backed historical Wära currency, present-day's WAT [23], which is pegged to renewable electricity, indicates that energy-backed alternative currency will be effectively implemented if the user community is small. Hence, this article proposes a community-based tri-faceted community currency system. As with exchange held within the local economy, local community currency can result in additional economic benefits for that locality, known as the local multiplier effect. Implementing such currency can also create a scope to promote other green projects in that community. Before implementing local energy-backed currency, it is expected to form a community-electricity cooperative as most of the successful 'energetic credit' projects are operated by centrally managed businesses. According to Bangladesh Dairy Farmers' Association (BDFA) [24], there are 1,200,000 dairy farms in the country, and 9,400,000 people are directly or indirectly involved in the industry. So, installing the proposed urine-based power plant project inside farms' compounds and eventually supplying the excess electricity in the local power grid managed by the community-electricity cooperative is very much possible in the rural areas in Bangladesh.

- a. Energy Note: Our first proposed currency, CC-2, is a credit-based energy currency. In this model, the community-electricity cooperative issues kilowatt-hour promissory note for future energy supply. These energy notes would be sold to consumers and investors at the current electricity rate, who would receive a pro-rata share of the cooperative without costs. These energy notes would raise the funding to purchase the tools needed to supply the household with electricity and meet direct operating expenses. The annual cash dividend will be converted into a kilowatt-hour electricity price. Shareholders enjoy free kilowatt-hour electricity each year equal to the share dividend declared.
- b. Energy Voucher: This is a simple voucher-based scheme of investment where customers can purchase vouchers to invest in green energy, proposed as CC-1 in our model. Nevertheless, they will not become shareholders in this model. Vouchers can not only be redeemed against energy but against all products produced in this region that are environmentally friendly. Such an initiative encourages ecological enterprises. Examples of such enterprises would be I) organic agribusiness, II) production of bio-fertilizer, III) effluent treatment plant installation, IV) implementing an integrated pest control system rather than a pesticide. Receipts in fiat currency are either invested in energy production or any other eco-friendly enterprise, which could be an attempt by a commitment to nature to achieve something good.
- c. Energy Card: The prepaid electricity cards against stored electricity for households act as a debit currency of our model because these prepaid energy units become a currency, as they are used to pay between customers and be transferred to third parties in our model. Moreover, in this model, electricity can be purchased with the bonus coin earned in the green projects. The power of using prepaid cards as a means of payment between clients holds the injected physical money in circulation to the local economy much longer.

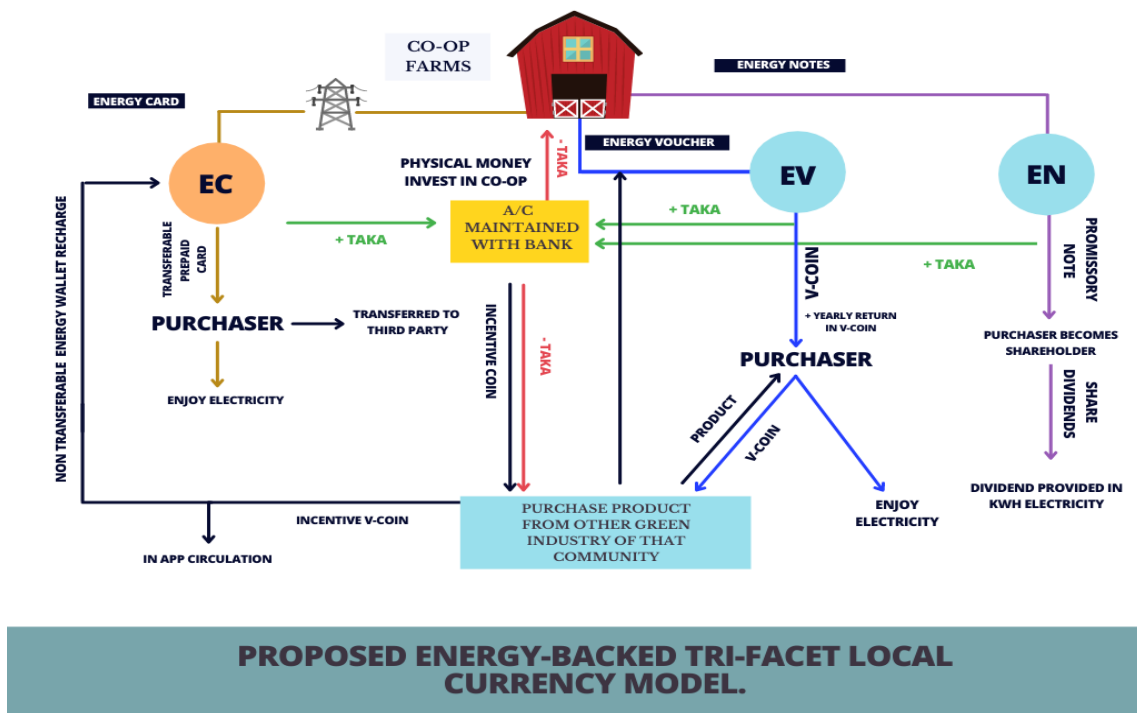


Fig. 10. Proposed Green Financial Model

The inability to purchase anything lower denomination than the unit of energy-backed currency is a classical problem in such previously proposed models. However, the classical problem can be overcome by converting the energy voucher to an app-based digital version presented as V-coin. The energy voucher stored the value of the unit (s) of kilowatt-hour electricity. Input the voucher code to a community app and converts the price into lower denomination values, v-coins. For example, one business-KWh cost approx. 9.00 BDT. If we consider the price for our model, a voucher costs 900 BDT stored 100 business-KWh electricity. So, physically anyone with an energy voucher could not redeem it with electricity or any other eco-friendly product priced lower than 100 business-KWh electricity. However, the conversion of the voucher to V-coin in apps will generate 90000 coins with which anyone can pay fractional payment also.

A respectable (nominal) return or bonus in v-coin is rewarded to the lender (energy voucher purchasers). Moreover, if anyone spent the V-coins on any eco-friendly projects, a bonus rewarded coins would be added to their virtual wallet, redeemable against energy. On the other hand, the eco-friendly projects can redeem the V-coins from the cooperative earned by selling products against fiat currency and bonus coins. In this way, cooperatives can encourage other green industries. Moreover, the physical money injected into the green model circulated longer than the direct buying and selling of electricity. As a result, the local multiplier effect occurs.

9 CONCLUSIONS

With the utilization of the proposed project, these small families can create a small capacity power plant of their own. These farm owners can easily install this project inside their compound and have their very own power plant, which can have the potential to empower the whole farm without any external power supply. Since the proposed project has a simple structure with a straightforward operation system, this project is viable to make space in people's lives.

For green future economic growth, clean energy sources have become mandatory nowadays. Hence, cattle wastes offer a potential means of meeting the energy requirements and a better source of energy generation.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

- [1] Tilman, D.; Hill, J.; Lehman, C. Carbon-Negative Biofuels from Low-Input High-Diversity Grassland Biomass. *Science* (1979) 2006, 314, 1598–1600, doi: 10.1126/science.1133306.
- [2] Robertson, G.P.; Hamilton, S.K.; Barham, B.L.; Dale, B.E.; Izaurralde, R.C.; Jackson, R.D.; Landis, D.A.; Swinton, S.M.; Thelen, K.D.; Tiedje, J.M. Cellulosic Biofuel Contributions to a Sustainable Energy Future: Choices and Outcomes. *Science* (1979) 2017, 356, doi: 10.1126/science.aal2324.
- [3] Searchinger, T.; Heimlich, R.; Houghton, R.A.; Dong, F.; Elobeid, A.; Fabiosa, J.; Tokgoz, S.; Hayes, D.; Yu, T.-H. Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change. *Science* (1979) 2008, 319, 1238–1240, doi: 10.1126/science.1151861.
- [4] Fargione, J.; Hill, J.; Tilman, D.; Polasky, S.; Hawthorne, P. Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt. *Science* (1979) 2008, 319, 1235–1238, doi: 10.1126/science.1152747.
- [5] Gelfand, I.; Sahajpal, R.; Zhang, X.; Izaurralde, R.C.; Gross, K.L.; Robertson, G.P. Sustainable Bioenergy Production from Marginal Lands in the US Midwest. *Nature* 2013, 493, 514–517, doi: 10.1038/nature11811.
- [6] Sprunger, C.D.; Philip Robertson, G. Early Accumulation of Active Fraction Soil Carbon in Newly Established Cellulosic Biofuel Systems. *Geoderma* 2018, 318, 42–51, doi: 10.1016/j.geoderma.2017.11.040
- [7] Dijkstra, F.A.; West, J.B.; Hobbie, S.E.; Reich, P.B.; Trost, J. PLANT DIVERSITY, CO₂, AND N INFLUENCE INORGANIC AND ORGANIC N LEACHING IN GRASSLANDS. *Ecology* 2007, 88, 490–500, doi: 10.1890/06-0733.
- [8] Tilman, D.; Reich, P.B.; Knops, J.M.H. Biodiversity and Ecosystem Stability in a Decade-Long Grassland Experiment. *Nature* 2006, 441, 629–632, doi: 10.1038/nature04742.
- [9] Hasan, W.; Ahmed, H.; Salim, K. Generation of Electricity Using Cow Urine. *Int J Innov Appl Stud* 2014, 9, 1465.
- [10] Hasan, W.; Chakraborty, S.; Tasneem, Z.; Salim, K.M.; Razzak, M.A. Life Cycle Cost Analysis of Power Generation System Using Cow Urine. In Proceedings of the 2016 IEEE 7th Power India International Conference (PIICON); IEEE, November 2016; pp. 1–4.
- [11] Hasan, W.; Chakraborty, S.; Razzak, M.A.; Salim, K.M. Design and Analysis of a Green Energy Technology for Power Generation Using Cow Urine. In Proceedings of the 2017 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE); IEEE, February 2017; pp. 491–494.
- [12] Lankey, R.L.; McMichael, F.C. Life-Cycle Methods for Comparing Primary and Rechargeable Batteries. *Environ Sci Technol* 2000, 34, 2299–2304, doi: 10.1021/es990526n.
- [13] Fargione, J.E.; Cooper, T.R.; Flaspohler, D.J.; Hill, J.; Lehman, C.; Tilman, D.; McCoy, T.; McLeod, S.; Nelson, E.J.; Oberhauser, K.S. Bioenergy and Wildlife: Threats and Opportunities for Grassland Conservation. *Bioscience* 2009, 59, 767–777, doi: 10.1525/bio.2009.59.9.8
- [14] Klopff, R.P.; Baer, S.G.; Bach, E.M.; Six, J. Restoration and Management for Plant Diversity Enhances the Rate of Belowground Ecosystem Recovery. *Ecological Applications* 2017, 27, 355–362, doi: 10.1002/eap.1503.
- [15] Rasche, A. The United Nations Global Compact and the Sustainable Development Goals. In *Research Handbook of Responsible Management*; Edward Elgar Publishing, 2020; pp. 228–241.
- [16] Oates, L.G.; Duncan, D.S.; Gelfand, I.; Millar, N.; Robertson, G.P.; Jackson, R.D. Nitrous Oxide Emissions during Establishment of Eight Alternative Cellulosic Bioenergy Cropping Systems in the North Central United States. *GCB Bioenergy* 2016, 8, 539–549, doi: 10.1111/gcbb.12268.
- [17] Carlsson, G.; Mårtensson, L.-M.; Prade, T.; Svensson, S.-E.; Jensen, E.S. Perennial Species Mixtures for Multifunctional Production of Biomass on Marginal Land. *GCB Bioenergy* 2017, 9, 191–201, doi: 10.1111/gcbb.12373.
- [18] Jungers, J.M.; Clark, A.T.; Betts, K.; Mangan, M.E.; Sheaffer, C.C.; Wyse, D.L. Long-Term Biomass Yield and Species Composition in Native Perennial Bioenergy Cropping Systems. *Agron J* 2015, 107, 1627–1640, doi: 10.2134/agronj15.0014.
- [19] Rajendran, K.; Lin, R.; Wall, D.M.; Murphy, J.D. Influential Aspects in Waste Management Practices. In *Sustainable Resource Recovery and Zero Waste Approaches*; Elsevier, 2019; pp. 65–78.
- [20] Palacios-Lopez, A.; Christiaensen, L.; Kilic, T. How Much of the Labor in African Agriculture Is Provided by Women? *Food Policy* 2017, 67, 52–63, doi: 10.1016/j.foodpol.2016.09.017
- [21] Hristov, I.; Chirico, A. The Role of Sustainability Key Performance Indicators (KPIs) in Implementing Sustainable Strategies. *Sustainability* 2019, 11, 5742, doi: 10.3390/su11205742.
- [22] Zaman, M.A.; Razzak, Md.A. Sustainable Microgrid Analysis for Kutubdia Island of Bangladesh. *IEEE Access* 2022, 10, 37533–37556, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3164677.
- [23] Schroeder, R. Community Exchange and Trading Systems in Germany. *Int J Community Curr Res* 2006, 10.
- [24] Uddin, M.M.; Akter, A.; Khaleduzzaman, A.B.M.; Sultana, Mst.N.; Hemme, T. Application of the Farm Simulation Model Approach on Economic Loss Estimation Due to Coronavirus (COVID-19) in Bangladesh Dairy Farms—Strategies, Options, and Way Forward. *Trop Anim Health Prod* 2021, 53, 33, doi: 10.1007/s11250-020-02471-8.

Étude diagnostique et évaluation des pertes post-récolte de quelques produits maraîchers dans les zones phares de production au Niger

[Diagnostic study and assessment of post-harvest losses of some market garden products in the key production areas in Niger]

Mahamadou Elhadji Gounga¹, Rayanatou Issa Ado², and Seyni Boureima¹

¹Département des Sciences et Techniques de Productions Végétales, Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement, Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, Niger

²Programme Alimentaire Mondial PAM, sous bureau Maradi, 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: Post-harvest losses refer to food losses that occur between harvest and consumption, i.e. before the product reaches consumers. The objective of this study was to establish a diagnostic and evaluative situation of the three sectors tomato, potato and cabbage, in terms of post-harvest losses (PHL) at the various levels of the value chain in high production areas in Niger. On one hand, 12 groups of around 60 members each were interviewed in focus groups separately, and 120 producers (10 producers per group and by product) were investigated on the other hand. The study identified the different types of PHL, the extent of these losses, the main factors behind these losses, their impact on the producer's income and their consequences on the food and nutritional security of households. It also made it possible to identify the strategies adopted by producers to cope with these significant losses. The results of this study showed that most of the PHL are caused by physical, microbiological and physiological factors, except for potatoes where the bad faith of wholesalers devaluing an important quantity of the product, remains the main constraint causing enormous qualitative losses to producers (about 35 %). The study filled a gap in the field of post-harvest food losses, particularly in the case of market gardening. The professionalization of actors in pre-harvest techniques and their support with small processing and/or preservation equipment's remain an alternative.

KEYWORDS: Quantitative losses, qualitative losses, tomato, cabbage, potato, Niger.

RESUME: Les pertes-post récoltes désignent les pertes alimentaires qui sont enregistrées entre la récolte et la consommation, c'est-à-dire avant que le produit ne parvienne aux consommateurs. L'objectif de cette étude était d'établir une situation diagnostique et évaluative des trois filières tomate, pomme de terre et chou, en termes de pertes post-récolte (PPR) au niveau de différents maillons de la chaîne de valeur dans les zones de grandes productions au Niger. D'une part, 12 groupements d'une soixantaine de membres chacun ont été entretenus en «focus group» séparément et, 120 producteurs (10 producteurs par groupement et par spéculation) ont été enquêtés individuellement, d'autre part. L'étude a permis d'identifier les différents types de PPR, l'ampleur de ces pertes et les principaux facteurs à l'origine de ces pertes. Les résultats de cette étude ont montré que l'essentiel des PPR est causé par les facteurs physiques, les paramètres microbiologiques et physiologiques, sauf pour la pomme de terre où la mauvaise foi des grossistes dévaluant une quantité importante de produit, demeure la principale contrainte causant des pertes qualitatives énormes aux producteurs (environ 35%).

L'étude a comblé un vide dans le domaine des pertes alimentaires post-récolte, particulièrement dans les cas des spéculations maraîchères. La professionnalisation des acteurs en techniques pré-récoltes et leur accompagnement avec des petits équipements de transformations et/ou conservation restent une alternative.

MOTS-CLEFS: Pertes quantitatives, pertes qualitatives, tomate, chou, pomme de terre, Niger.

1 INTRODUCTION

Au Niger, le maraîchage contribue à l'alimentation quotidienne de la population. C'est une activité pratiquée par des petits producteurs (et/ou productrices) marginalisé (e) s pour lesquels elle constitue non seulement une source importante de nutriments pour satisfaire l'équilibre nutritionnel (FAO, 2011; Kirigia, Kasili et Milbus, 2017) mais aussi une source de revenu contribuant à la sécurité alimentaire des ménages, à l'accès aux soins de santé de la famille et permettant l'autonomisation de la femme surtout en milieu rural (IITA, 2003; HCI3N, 2012; Kouame, Batchep et Kamga, 2013; HCI3N, 2014).

La tomate, le chou et la pomme de terre occupent une place importante dans les cultures de contre saison en irrigué au Niger et en Afrique de l'ouest (UE-CEDEAO 2002; MAG, 2015; MAG, 2021). Une partie de la production est consommée localement et l'autre est renvoyée dans le circuit de distribution pour alimenter les marchés ruraux et urbains locaux d'une part et ceux des pays voisins d'autre part (Gounga, 2014, Darrot *et al.*, 2020). Selon les habitudes alimentaires, ces produits maraîchers sont consommés et commercialisés soit frais soit transformés.

Ces produits sont périssables car sont habituellement récoltés avec une teneur en eau élevée et donc une durée de conservation très limitée malgré la proximité entre la production et la consommation et/ou la commercialisation. Ces produits souffrent par ailleurs de manque d'organisation en filières (MAEPB, 2012).

Aucune méthode appropriée de conservation de ces produits frais n'existe dans nos pays (UE-CEDEAO, 2002). Le froid est assez peu utilisé compte tenu de son coût prohibitif. De même, le séchage pour l'autoconsommation ou la commercialisation est relativement peu connu.

En raison de la vitesse de dégradation des produits, une grande partie des récoltes est souvent perdue. D'autre part, peu de technologies post récoltes existent pour ces produits, et lorsqu'elles existent, elles sont souvent à l'état rudimentaire ou inaccessibles pour le paysan (Berinyuy, 2004).

L'étude des pertes post récolte (PPR) comprend de nombreux aspects, qui tiennent à la diversité des produits concernés (Kambou et al., 2021), des opérations qui se succèdent au long du système post-récolte, des causes qui provoquent ces pertes, des déprédateurs et autres parasites des denrées, sans parler des conditions physiques, techniques, économiques et autres, qui favorisent l'action des agents de détérioration et, en conséquence, l'aggravation des pertes. Selon une étude commanditée par la FAO en 2019, environ 14 % de la nourriture au niveau mondial est perdue après la récolte et avant d'atteindre le niveau de vente au détail, notamment en raison des activités liées à la productivité, au stockage et au transport (FAO, 2019).

L'importance des PPR des légumes feuilles varie d'un pays à l'autre et dans un même pays d'une zone de production à une autre selon l'échelle d'exploitation et l'organisation des circuits de commercialisation (Kader, 2005). Maheshwar et Chanakya (2006) ont rapporté qu'environ 30% des fruits et légumes cultivés en Inde sont perdus ou gaspillés chaque année en raison de lacunes dans la chaîne du froid, des capacités de conservation insuffisantes et une infrastructure de transport médiocre. Ces pertes seraient encore plus élevées dans les pays en voie de développement (Kader, 2010) et atteindraient les 50% dans certains pays africains selon la FAO (2012). Cependant, aucune spécification n'est faite quant à la part relative aux légumes feuilles.

Les pertes post récoltes concernent aussi bien les pertes de poids que les pertes de qualité. Très peu d'études portant sur une approche détaillée de la modélisation à l'estimation de perte totale (quantitative et qualitative) existent (Gardas, Raut et Narkhede, 2017). Les pertes de poids ne sont qu'une composante des PPR et ne reflètent pas nécessairement le niveau des pertes totales (notamment économique), même si elles demeurent essentielles pour s'assurer des disponibilités alimentaires. En plus, on note peu ou pas de données sur les PPR au Niger et quand elles existent, les estimations de ces pertes sont faites pour les denrées alimentaires de base notamment les céréales, beaucoup moins pour les denrées périssables (comme les fruits et légumes, racines et tubercules) pourtant sujettes de grandes pertes surtout dans les zones phares de production. En outre, les quelques données de PPR disponibles ne concernent pas toutes les différentes étapes de la chaîne de production et de post-récolte.

L'objectif de cette étude est de faire un diagnostic et évaluer les PPR le long de la chaîne de production et de commercialisation de la tomate, du chou et de la pomme de terre au Niger, notamment dans les zones de haute production, soient Tibiri (région de Maradi), Bonkougou (région de Tillabéri) et Madaoua (région de Tahoua) respectivement pour les trois spéculations. De manière spécifique, il s'agit de faire un état des lieux sur les pertes post-récoltes dans les zones d'études, de rechercher les types des PPR, de déterminer les facteurs de causes à l'origine de ces pertes et d'évaluer leur incidence sur les produits.

2 METHODOLOGIE DE CONDUITE DE L'ETUDE

2.1 MATÉRIEL

Le matériel est constitué de matériel biologique (variétés cultivées) et des fiches d'enquêtes.

Pour les variétés cultivées sur les sites retenus, il s'agit, pour la tomate, de Marmand (variété locale) et Roma et Dangole (variétés introduites). Pour le Chou, ce sont des variétés introduites Copenhague, Oxylys, Kakacross, et Coeur de bœuf qui sont cultivées par les producteurs. Concernant la pomme de terre également, il s'agit des variétés introduites Rosana, Pamella, Sterm ster et Delfa.

Les fiches d'enquête sont constituées de fiche individuelle producteur et commerçant (grossiste et détaillant) et de fiche d'entretien en focus groupe.

2.2 APPROCHE UTILISÉE POUR LA COLLECTE ET L'ANALYSE DES DONNÉES

La démarche méthodologique utilisée est d'abord l'approche chaîne de valeur où toutes les catégories d'acteurs intervenant sur toute la chaîne des filières concernées ont été rencontrées et interviewés. Pour ce faire, des fiches d'enquête ont été élaborées pour les questionnaires en "focus group" administrés à tous les membres du groupement élargis aux notables du village autour du chef. Par la suite, des questionnaires individuels sont adressés séparément à dix (10) membres par groupement pris de manière aléatoire. Les questionnaires étaient dirigés sur les aspects liés à la production, à la récolte, au stockage (s'il y a lieu), au transport, à la commercialisation, à l'analyse des coûts, et à la transformation (si appliquée). Quelques commerçants grossistes, semi-grossistes et détaillants ont été aussi interviewés par filière.

L'étude a été réalisée dans trois régions du Niger (une commune par région): Tillabéry, Tahoua et Maradi, dans douze sites maraîchers de production et des marchés d'exportation et/ou de consommation (Marché de Bonkougou, Petit Marché de Niamey, Marché Djémagué, site de Doguéraoua, marché de Tounfafi et le marché de Kadro à Maradi).

Au total 12 fiches de 6 pages chacune "focus group" ont été renseignées, soit une fiche par groupement, et 120 fiches individuelles (10 fiches par groupement). Les données collectées sont saisies sur Microsoft Access 2010 et exportées sur SPSS pour l'analyse des moyennes et des variances.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 DONNÉES GÉNÉRALES

Les producteurs des zones d'étude ciblées par la présente étude sont spécialisés en maraîchage, dans la production de la pomme de terre (villages de la commune de Bonkougou), du chou (commune urbaine de Madaoua) et de la tomate (commune de Tibiri), en plus d'autres spéculations cultivées sur les mêmes sites maraîchers.

La quasi-totalité des ménages dans ces zones vit de l'agriculture. La majorité des ménages dispose de terres agricoles pour le maraîchage. La réalisation d'une bonne campagne agricole est donc primordiale, pour la bonne couverture de l'ensemble des besoins (alimentation, santé, éducation, etc.). Plus de 90% de la population dépendent du maraîchage (MAG, 2015). La production et la vente de produits maraîchers en contre saison prennent de plus en plus une grande importance pour compléter les revenus (MDA/MRA 2008) et varier l'alimentation, principalement basée sur la consommation de céréales (Kambou et al., 2021). Le tableau 1 illustre des données sur la production des trois spéculations.

Tableau 1. Données générales sur la production de pomme de terre, chou et tomate

Critères	Facteurs	Spéculations		
		Pomme de terre	Chou	Tomate
Nombre d'habitants par localité de production (hbts)	Maximum	1986	5975	3052
	Minimum	345	4584	1876
Nombre moyen de producteurs par localité de production	Maximum	150	2725	560
	Minimum	50	1398	200
Niveau de production annuelle (t)	Le plus haut	30	52	500
	Le plus bas	30	10	50
Saisonnalité de la production	Période de forte production	Février-Mars	Mars, avril	Février-mars
	Période de pénurie	Juillet	Juin juillet	Juin juillet
Principales variétés cultivées	Locale	-	-	Marmante
	Introduite	Rosana, Pamella, Sterm ster, Delfa	Copenhague Oxylis Kakacross, Coeur de boeuf	Roma, dangole
	Préférence des producteurs	Rosana	Oxylis	Roma
Production dominée par les hommes ou par les femmes ?	Ensemble des producteurs	Femmes	+Hommes	Hommes
	Groupement structurés	Femmes	Femmes	Hommes
La propriété de la production est-elle individuelle ou collective ?	Individuelle	Individuelle	Individuelle	Individuelle
L'importance de la production dans	La consommation alimentaire	2 à 3 fois par semaine	1/3	Quotidien
	La sécurité alimentaire pour les producteurs	Très significative	40% du stock annuel	5 mois sur 12
Fourchette et moyenne de la superficie par producteur (ha)	Maximum	0,25	20	1
	Minimum	0,05	0,2	0,25
Fourchette et moyenne de la production par producteur (t)	Maximum	3	100	1,25
	Minimum	1,2	10	1
Rendement moyen/ producteur (t/ha)	Moyen	18	50	4
Utilisation de la production (%)	Autoconsommation	10	5	10
	Vente	80	85	80
	Autre	10	10	10
Prix de vente du produit (F/unité de mesure)	Dans les bassins de production	225 F CFA/Kg	2500 F/sac de 100Kg	3000 à 3500 F/panier 50 Kg
	Dans les centres de consommation	250 F CFA/Kg	35 F/sac de 100Kg	4000 à 4500 F/panier 50 Kg
Distance du principal centre urbain et/ou du principal marché du produit	Maximum	154 Km	7 Km	17 Km
	Minimum	142 Km	Quelques centaines de mètres	7 Km

Source: présente étude

3.2 DONNÉES SUR LES PERTES POST-RÉCOLTES

3.2.1 TYPES DES PERTES POST RÉCOLTE

Les chaînes alimentaires des produits végétaux ont été divisées en cinq niveaux correspondant aux différents types de pertes et pour lesquelles des estimations ont été faites (FAO, 2012; ACF, 2014). On distingue:

- ✓ **Les pertes de production agricole:** pertes dues à des dégâts mécaniques et/ou à des rejets durant les opérations de récolte (par exemple battage, cueillette des fruits ou déterrement des tubercules), tri après récolte, etc

- ✓ **Les pertes liées aux opérations après récolte et stockage:** pertes dues aux rejets et aux détériorations durant les opérations de manipulation, de stockage et de transport entre le lieu d'exploitation agricole et les lieux de distribution
- ✓ **Les pertes liées à la transformation:** pertes dues aux rejets et aux détériorations durant les opérations de transformation industrielle et domestique comme, par exemple, la production de jus, la mise en boîte et la panification. Des pertes peuvent être générées quand des produits des récoltes sont rejetés parce qu'impropres aux opérations de transformation, ou bien pendant les opérations de lavage, d'épluchage, de découpage ou de cuisson ou encore suite à des interruptions dans les opérations de transformation ou en cas de rejets accidentels
- ✓ **Les pertes liées à la distribution:** pertes et gaspillages constatés au stade de la commercialisation des produits comme, par exemple, les marchés de gros, les supermarchés, les commerçants/détaillants et les marchés de produits frais
- ✓ **Les pertes liées à la consommation:** pertes constatées au stade de la consommation dans les ménages. Ce type de perte n'a pas été touché par cette étude

3.2.2 ANALYSE DES PERTES ENREGISTRÉES LORS DES DIFFÉRENTES OPÉRATIONS

La réponse à la question y a-t-il des pertes importantes après la récolte n'a souffert d'aucune ambiguïté. Sur 120 répondants pour les 3 spéculations, 94 ont répondu favorablement (oui), soit plus de 78%. Le tableau 2 donne la fréquence et le pourcentage des réponses (oui et non) sur l'enregistrement des pertes importantes après récoltes.

Tableau 2. Fréquence et pourcentage des réponses sur les pertes post-récoltes

Réponses	Chou		Pomme de terre		Tomate		Total	
	Freq	%	Freq	%	Freq	%	Freq	%
Non	6	15,00%	5	12,82%	12	29,27%	23	19,17%
Oui	34	85,00%	33	84,62%	27	65,85%	94	78,33%
Grand Total	40	100,00%	39	100,00%	41	100,00%	120	100,00%

Deux types de pertes ont été signalés: Les pertes quantitatives et les pertes qualitatives. Le tableau 3 donne en chiffres l'ampleur des pertes quantitatives et qualitatives subies par les producteurs et/ou commerçants de pomme de terre, chou et tomate sur toute la chaîne dans les zones d'étude.

Tableau 3. Types de pertes par spéculation et leur ampleur

Type de perte	Pomme de terre		Chou		Tomate		Total	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Qualitative	11	28,21%	13	32,50%	35	85,37%	59	49,17%
Quantitative	26	66,67%	26	65,00%	3	7,32%	55	45,83%
Quantitative/Qualitatives		0,00%	1	2,50%	3	7,32%	4	3,33%
Grand Total	39	100,00%	40	100,00%	41	100,00%	120	100,00%

Ces pertes sont enregistrées au niveau des opérations de chaque étape de la chaîne. Les opérations diffèrent d'une étape à une autre et d'un produit à un autre.

Cas de la pomme de terre

Plusieurs opérations interviennent à chaque étape (récolte, transformation et commercialisation) de la chaîne d'approvisionnement de la pomme de terre. Ces opérations sont ordonnées dans le diagramme de la figure 1.

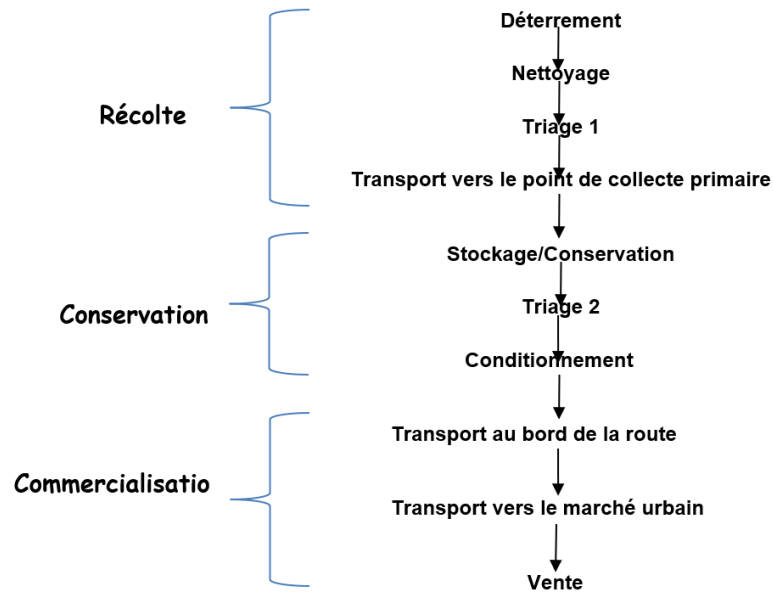


Fig. 1. Diagramme des opérations aux étapes de la récolte à la commercialisation de pomme de terre

Exceptionnellement, certains groupements féminins procèdent à la transformation de la pomme de terre. Les opérations subies sont alors: **épluchage, découpage, séchage et moulage**. Après moulage, la farine est utilisée pour la préparation de la pâte ou two. Cette transformation n’est pas destinée à la commercialisation, mais surtout à l’autoconsommation.

Il est enregistré une quantité importante de pertes qualitative et quantitative lors de ces différentes opérations (Tableau 4).

Cas du chou

La plupart, sinon la quasi-totalité des producteurs du chou, rencontrés lors de cette étude, vendent leurs produits au champ. Ce sont les commerçants grossistes qui s’occupent de toutes les opérations, de la récolte à la commercialisation en passant par le stockage et la distribution.

Cas de la tomate

Tout comme la pomme de terre, la tomate subit plusieurs opérations, de la cueillette à la commercialisation en passant par la transformation. Contrairement à la pomme de terre, la tomate est transformée (séchage) par tous les producteurs.

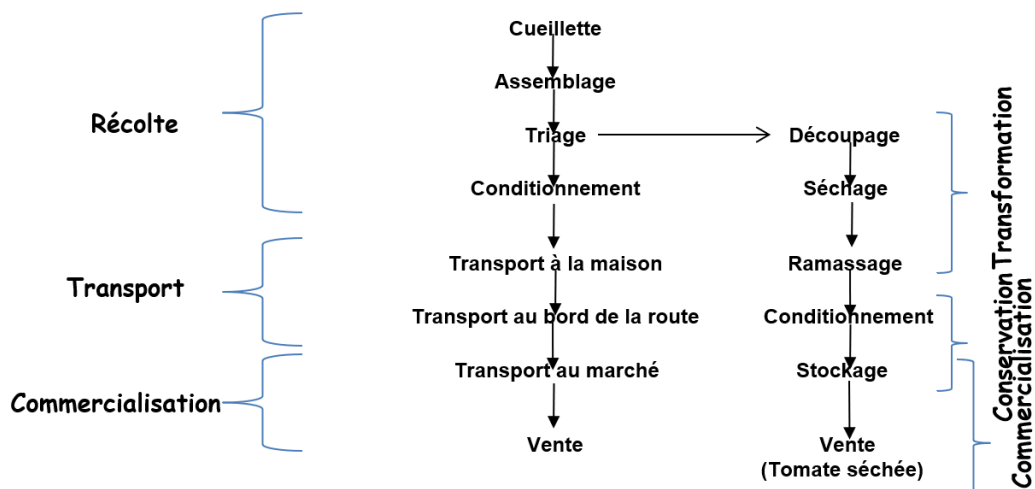


Fig. 2. Diagramme des opérations de la récolte à la commercialisation de la tomate

Les pertes enregistrées lors de ces différentes opérations sont estimées dans le tableau 4.

Tableau 4. Pourcentages relatifs des pertes enregistrées par les 3 spéculations à chaque niveau de la chaîne

Spéculation	Opérations				
	Récolte	Stockage/Conservation	Transformation	Transport	Commercialisation
Pomme de terre	19,46	2,66	4,52	4,00	34,92
Chou	25,00	nd	5,00	nd	12,5
Tomate	25,00	nd	nd	2,00	20,00

nd: non déterminé

3.3 AMPLIEUR DES PERTES POST-RÉCOLTES EN QUANTITÉ ET QUALITÉ POUR LES 3 SPÉCULATIONS

Un changement de qualité est difficile à déterminer car il n'est pas nécessairement exprimé par un seul facteur mais par de nombreux facteurs inclus dans une norme de classification raisonnable et standard. Le changement de qualité n'est pas nécessairement une perte jusqu'à ce qu'il ait entraîné une perte financière/économique et c'est à ce niveau que la situation devient complexe. La relation entre la qualité des fruits (tubercule ou pommé) et sa valeur économique n'est pas simple et varie d'un marché à un autre et au cours d'une saison. Par exemple, lorsque le fruit est rare, comme dans la période juste avant une nouvelle récolte (période de soudure), il y'a peu de produits de bonne qualité sur le marché de sorte que des produits (tomate, chou, pomme de terre) de mauvaise qualité peuvent être vendus à un prix qui est supérieur à celui reçu pour le produit de meilleure qualité pendant les récoltes lorsque le produit est abondant (Retailleav, 1994; Bello, 2012). Selon Hodges et collaborateurs (2010), si le produit est propre à la consommation humaine, rien n'a été perdu, indépendamment de toute autre perte de qualité, par exemple si le grain a été rétrogradé de la première à la 3ème catégorie, pour laquelle il y aurait une perte de la valeur marchande. Toutefois, si la qualité du produit a diminué jusqu'à ne plus être apte à la consommation humaine, alors il est considéré comme une perte de poids de 100%, même s'il est déclassé pour la consommation animale et pour laquelle le vendeur peut avoir une compensation financière aussi réduite soit-elle.

Les pertes quantitatives et qualitatives subies par les trois spéculations à la récolte sont consignées dans le tableau 5.

Tableau 5. Ampleur de pertes quantitatives et/ou qualitatives à la récolte

Types de pertes	Chou		Pomme de terre		Tomate		Total	
	Freq	%	Freq	%	Freq	%	Freq	%
Quantitatives	10	29,41%	5	15,15%	6	22,22%	21	22,34%
Quantitatives/Qualitatives	14	41,18%	15	45,45%	17	62,96%	46	48,94%
Qualitatives	6	17,65%	9	27,27%	4	14,81%	19	20,21%
Grand Total	34	100,00%	33	100,00%	27	100,00%	94	100,00%

La tomate figure parmi les légumes dont les PPR sont les plus importantes (Agri Pro Focus, 2017). Même si celles-ci sont difficiles à estimer, elles sont importantes et proviennent de différentes causes: manque de main d'œuvre qualifiée pour la phase récolte, absence de systèmes adéquats de stockage alors que la tomate mûre doit être conservée en chambre froide (1°C).

La question qui demeure est comment combiner les deux types de pertes de façon systématique pour donner une image plus claire de l'importance des PPR. Certaines recommandations portent sur la nécessité de ramener ces deux types de pertes en valeur monétaire; ce qui n'enlève pas la complexité de pouvoir combiner la mesure de ces deux types de pertes sachant que les pertes de qualité sont insuffisamment prises en compte par les praticiens du domaine de l'évaluation des pertes (Institut du Sahel, 2014).

3.4 CAUSES DES PERTES POST-RÉCOLTE (PPR)

3.4.1 FACTEURS DE CAUSES INTERNES

Ce sont les facteurs de pertes survenant à tous les stades de la chaîne d'approvisionnement alimentaire, de la récolte à la commercialisation en passant par la manutention, le stockage et la transformation.

- **Au stade de la récolte**

La période favorable à la récolte est déterminée par le degré de maturité des cultures et les conditions météorologiques.

Les principales causes des pertes au stade de la récolte comprennent:

- L'absence d'un indice de maturité établi pour la pomme de terre.
- L'emploi de méthodes de récolte inappropriées pour les trois spéculations.

- **Au stade du tri/classement**

Les techniques de tri, d'emballage et de conditionnements appropriés sont essentielles afin de minimiser les blessures mécaniques durant le transit des produits des zones rurales (de production) vers les zones urbaines (de consommation). Ceci est dû aux mauvais états des routes (là où elles existent) et à l'inadéquation des moyens de transport.

- **Au niveau du conditionnement**

La pomme de terre et le chou sont généralement transportés, dans un emballage, de l'exploitation au centre de distribution. Les producteurs vendent leurs produits frais sur les marchés de détails sans emballage et lient en faisceaux ou sur les marchés de gros. Ce type de manipulation sur le marché de produits frais réduit considérablement la durée de conservation si le produit n'est pas vendu rapidement.

- **Au stade du transport**

Les principaux défis du transport dans la chaîne d'approvisionnement sont liés à l'insuffisance des infrastructures (routes, piste rurale, etc.), l'absence de systèmes de transport appropriés (transport mixte de plusieurs produits même non alimentaires ou parfois avec du bétail), et l'absence de transport réfrigéré pour la tomate et même le chou dans certaines mesures. Un autre défi non négligeable est relatif à l'état des véhicules de transport et à la tracasserie policière et douanière.

- **Lors du stockage**

L'installation des infrastructures, l'hygiène et le suivi doivent être suffisants pour assurer un stockage efficace dans le temps. Pour les infrastructures fermées (greniers, entrepôts, silos hermétiques, silos), le contrôle de la propreté, la température, et l'humidité sont déterminants. Il est également très important de gérer les dommages causés par les ravageurs (insectes, rongeurs ou animaux) et les moisissures qui peuvent conduire à une détérioration des installations (par exemple les acariens dans des poteaux en bois) et entraîner aussi bien des pertes de qualité nutritive et de valeur (Makambila and Loubana, 1990; Kader, 2010). Les producteurs de tomate n'en stockent pas du tout. Ceux de pomme de terre, par soucis de marché, creusent des trous couverts de paille pour le stockage.

- **Pendant les opérations de transformation**

Les causes des PPR à cette phase incluent la disponibilité limitée de variétés adaptées à la transformation, l'absence d'infrastructures de base et de technologies appropriées de transformation, l'inadéquation de nouvelles techniques de commercialisation, l'inadéquation des équipements et des infrastructures, et la faible promotion des produits transformés (cas de chou et de la laitue par exemple).

- **Facteurs biologiques, microbiologiques et chimiques**

Ces causes biologiques des pertes sont fortement dépendantes des facteurs environnementaux et des facteurs intrinsèques de l'aliment. Les micro-organismes sont également à l'origine des pertes après récolte (Kader, 2010; Gounga, 2014).

Les facteurs chimiques sont liés à la présence naturelle de constituants chimiques dans les denrées alimentaires stockées, qui peuvent réagir spontanément et provoquer des pertes de couleur, de saveur, de texture et de valeur nutritionnelle (cas d'engrais) (Gounga, 2014).

Certains produits chimiques comme les pesticides peuvent être également à l'origine de certaines pertes post-récolte.

3.4.2 FACTEURS DE CAUSES EXTERNES

Ces causes sont dites extrinsèques, c'est-à-dire pas propres aux produits eux-mêmes. Il s'agit de facteurs qui interviennent hors de la chaîne d'approvisionnement alimentaire. Ces facteurs peuvent être regroupés en deux catégories principales: les facteurs environnementaux et socioéconomiques. **Le tableau 6** résume les causes de pertes enregistrées par la pomme de terre, le chou et la tomate à chaque étape de la chaîne.

Tableau 6. Causes de pertes enregistrées par la pomme de terre, chou et tomate

Spécifications	Pomme de terre				Chou				Tomate				
	Récolte	Stockage	Transport	Commercialisation	Récolte	Stockage	Stockage	Commercialisation	Récolte	Transformation	Stockage	Transport	Commercialisation
Mauvaise pratiques culturales	X	X			X				X		X		
Maturité complète	X	X	X		X		X		X		X	X	X
Manque de main d'œuvre qualifiée, méthodes de récolte inappropriées	X				X				X				X
Attaque parasitaire, pourriture	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
Rongeurs, animaux		X				X					X		
Chaleur, coup de soleil	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X
Manque de techniques appropriées de conservation/conditionnement		X	X	X		X		X		X	X	X	X
Manque de débouché, mévente				X				X					X
Utilisation d'engrais		X		X					X		X		X
Chocs physiques, manipulations			X	X			X					X	X
Mauvaise foi des acheteurs				X				X					X
Secousses, chargements, déchargements			X	X			X	X				X	X
Tracasseries routières (police, gendarme, forestiers, douane...)			X	X			X	X				X	X

3.4.3 FACTEURS INFLUENÇANT LES PPR

Les PPR varient considérablement en fonction des produits, des étapes de la chaîne, des zones de production et de la saison. Pour les différentes étapes de la chaîne, il existe des facteurs qui se manifestent et qui sont susceptibles d'influencer le niveau de perte à chaque étape (Delgado *et al.*, 2021). Ces facteurs sont consignés dans le tableau 7.

Tableau 7. Pourcentages relatifs des facteurs influençant les PPR

Maillons	Facteurs	Spéculations						Total	
		Pomme de terre		Chou		Tomate			
		Fréq	%	Fréq	%	Fréq	%	Fréq	%
Récolte	Niveau de maturité, temps idéal pour la récolte	30	25	48	40	90	75	120	100
	Main d'œuvre non qualifiée	25	21	43	36	52	43	120	100
	Chaleur	38	32	14	12	68	56	120	100
	Pluie	37	31	-	-	83	69	120	100
Stockage/ Conservation	Engrais/Produits chimiques	28	23	21	17.5	39	32.5	120	100
	Chaleur	36	30	21	17.5	42	35	120	100
	Ravageur	-	-	-	-	-	-	-	-
	Durée	15	12.5	48	40	78	65	120	100
Commercialisation	Transport non approprié	18	46	16	40	33	80	120	100
	Manipulation	4	10	6	15	12	29	120	100
	Chaleur/pluie	36	30	9	23	42	35	120	100
	Mévente/Durée de vente	17	43	42	35	66	55	120	100

Source: présente étude

On remarquera que, dans la plupart des cas, les écarts de pourcentages sont significatifs en ce qui concerne les spéculations, mais le sont davantage par rapport aux différents facteurs (de 10 à 46% pour la pomme de terre, de 15 à 40% pour le chou et de 29 à 80% pour la tomate. Cependant, ce qui est frappant avant tout, et comme le montre l'étude elle-même, c'est la grande disparité entre les chiffres, qui tient à la diversité des facteurs d'une part mais aussi et surtout à la nature des produits dont il faudrait tenir compte nécessairement quel que soit par ailleurs le facteur. Ceci explique les chiffres très élevés pour la tomate comparée aux deux autres produits. En effet, considérant le facteur « manipulation lors des opérations de commercialisation, la tomate subit des pertes en moyenne trois (3) fois et deux (2) fois plus importantes que la pomme de terre et le chou respectivement. L'essentiel des facteurs reste délicat pour la tomate. Ceci est dû à l'importante teneur en eau qui entretient les fonctions de transpiration et de respiration même au ralenti (Institut du Sahel, 2014; FRI, 2019; Turner, 2022). Pour Agri Pro Focus (2017), ce taux élevé réside dans la périssabilité relativement élevée de la tomate due à sa peau très fragile couplée à sa teneur en eau. La même source stipule que les pertes post-récoltes de la tomate varient généralement entre 30 et 80% au niveau de la production, entre 3 et 40% au niveau de la transformation et entre 20 et 50% au cours de la commercialisation. Dans notre étude, les taux les plus élevés de PPR s'observent au niveau du facteur transport pour la tomate (80%) et la pomme de terre (46%) et celui de non-respect des itinéraires techniques pour des bonnes pratiques de récolte pour le chou (40%).

4 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

En définitive, cette étude a permis d'évaluer les niveaux des pertes post-récolte des filières maraichères tomate, chou et pomme de terre au niveau des différents maillons de la chaîne, de la production à la commercialisation en passant par les opérations de transformation et de conservation. L'étude a touché une part importante des intervenants sur toute la chaîne (du producteur jusqu'au dernier détaillant) et a permis d'avoir d'importantes informations sur les PPR de ces filières. Les pertes sont signalées très importantes qualitativement et quantitativement pour les trois filières au niveau des manipulations pré-récolte, les raisons évoquées étant dues à la qualité de semences, l'utilisation excessive d'engrais au niveau de la phase culturale, et de traitements phytosanitaires inappropriés. En ce qui concerne les raisons post-récolte, les pertes enregistrées sont évidemment très importantes dans le cas de la pomme de terre au niveau de réception/tri, moindres en chargement/transport et commercialisation lorsqu'il s'agit des pertes quantitatives.

Contrairement à la pomme de terre, la tomate n'est guère stockée par les producteurs enquêtés. Bien qu'elle subisse des pertes quantitatives et qualitatives plus importantes, ses pertes qualitatives sont maîtrisées puisque les producteurs, au lieu d'être victimes de ces pertes, transforment les tomates en perte de qualité en tomate séchée. Quant au chou, pris individuellement, il connaît généralement des pertes non moins importantes aux étapes de conditionnement, ce qui est souvent synonyme de non stockage de cette denrée destinée souvent à exporter plus loin de son site de production.

Les pertes post-récoltes, en quantité comme en qualité, constituent un risque réel pour les agriculteurs. Elles empêchent aux producteurs de tirer pleinement profit de leur travail, tout en demeurant un obstacle à la sécurité alimentaire et nutritionnelle des exploitants.

L'étude a comblé un vide dans le domaine des pertes alimentaires post-récolte de sorte que les services indiqués et les experts intervenant dans ces filières peuvent être désormais outillés en documentations ou en données exploitables dans le domaine des pertes alimentaires en général et de ces trois spéculations en particulier. Les données seraient plus complètes si les mêmes investigations se poursuivaient jusqu'au dernier consommateur, c'est-à-dire le dernier maillon de la chaîne. S'agissant de l'organisation des filières, beaucoup reste à faire, et ceci, au niveau de tous les acteurs.

REFERENCES

- [1] ACF (2014). Action Contre la Faim-International. Post-harvest losses and strategies to reduce them. *Technical paper*. 24 p.
- [2] Agri Pro Focus (2017). État des lieux sommaire des pertes post-récoltes au niveau des filières tomate, ananas et pisciculture au Bénin. Rapport d'étude. 15p.
- [3] Belaid, D. (2016). Guide pratique pour la transformation de la pomme de terre. Collection Brochures Agricoles. 11 p. Disponible sur www.djamel-belaid.fr/app/.../BrochurePdTerreTransformat°.pdf Consulté le 24 novembre 2017.
- [4] Bello, S. (2012). Analyse diagnostique de la production et de la commercialisation de l'oignon de 1995 à 2009 au Nord-Est du Bénin. Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin 71, 46-61. BRAB en ligne (on line) sur le site web <http://www.slire.net>. ISSN sur papier (on hard copy): 1025-2355 et ISSN en ligne (on line): 1840-7099.
- [5] Berinyuy J. E. (2004). A solar tunnel dryer for natural convection drying of vegetables and other commodities in Cameroon. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 35 (2): 31 - 35.
- [6] Darrot, C., Pecqueur, B., Marie, M., Bodiguel, L., Saleilles, S., Buyck, J., Margetic, C., Delfosse C., Hochedez, C., et Guillemain, P. (2020). Comprendre les systèmes alimentaires urbains: flux alimentaires, systèmes d'acteurs et formes urbaines: Livret recherche du projet PSDR FRUGAL. [Rapport de recherche] UMR ESO, UMR PACTE, Terres en Villes., 229 p.
- [7] Delgado, L., Schuster, M., Torero, M. (2021). Quantity and quality food losses across the value Chain: A Comparative analysis. *Food Policy*, 98, 101958. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101958>.
- [8] FAO (1992). Prévention des pertes après récolte: fruits, légumes, racines et tubercules. Manuel de formation Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, 1992.
- [9] FAO (1994). Synthèse de l'expérience africaine en amélioration des techniques après-récoltes, basées sur les journées techniques d'Accra, Ghana, juillet 1994. Rome, FAO, 90 p.
- [10] FAO (2011). Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention. Rome; 37 p.
- [11] FAO (2012). Gaspillages dans le monde, ampleur, causes et prévention. Division des infrastructures rurales et des agro industries. 44 p.
- [12] FAO (2019). The State of Food and Agriculture 2019. Moving forward on food loss and waste reduction. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. <https://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf>
- [13] FRI. 2019. Fiche documentaire: Réduction des pertes après récolte des tomates. Radio Rurale Internationale [En ligne]. Consulté le 30/10/2022. Disponible sur <http://scripts.farmradio.fm/fr/radio-resource-packs/110-ensemble-des-ressources-pour-la-radio-agricole/fiche-documentaire-reduction-des-pertes-apres-recolte-des-tomates/>.
- [14] Gardas B. B., Raut R. D., & Narkhede B. (2017). Modeling causal factors of post-harvesting losses in vegetable and fruit supply chain: An Indian perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 1355-1371. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.259>
- [15] Gounga, M. E. (2014). Diagnostique préliminaire sur les pertes poste récoltes de tomate, chou et pomme de terre. Rapport d'étude de Phase 1, FAO Niger, 23 p.
- [16] HCl3N (2012). Initiative «3N» pour la sécurité alimentaire et nutritionnelle et le développement agricole durables « Les Nigériens nourrissent les Nigériens». Cadre stratégique. 69 p.
- [17] HCl3N (2014). Plan d'accélération de la mise en œuvre de l'initiative 3N 2014 – 2015. Haut-Commissariat à l'initiative 3N. 2014. 82 p.
- [18] Hodges, R. J., Buzby, J. C. and Bennett, B. (2010). «Postharvest losses and waste in developed and developing countries: opportunities to improve resource use». *Journal of Agricultural Sciences*, 191: 37-45.
- [19] IITA (2003). Pass the Leafy Veggies Please, *iNew Science in Africa Magazine*, Iss. no. 31.
- [20] Institut du Sahel (2014). Étude prospective sur les pertes post-récoltes en Afrique de l'Ouest: Cas de quelques pays côtiers et du Sahel. *Rapport d'activités*. 44p.

- [21] Kader, A.A. (2005). Increasing food availability by reducing postharvest losses of fresh produce. *Acta Horticulture*, 682: 2169-2175.
- [22] Kader, A.A. (2010). Handling of Horticultural Perishables in Developing vs. Developed Countries. Proc. 6th International Postharvest Symposium Edited by M. Erkan and U. Aksoy *Acta Horticulture* 877, ISHS 2010.
- [23] Kambou, S. F., Ilboudo, Z., Ouedraogo, D., & Sanon A. (2021). Évaluation des pertes post-récolte du mil et du sorgho dans les communes de Ziniaré et de Komki-Ipala (Burkina Faso). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 35 No. 1, pp. 63-71. ISSN 2028-9324. <http://www.ijias.issr-journals.org/>.
- [24] Kirigia, D., Kasili, R., and Milbus, H. (2017). African Leafy Vegetables Pre-harvest and Post-harvest constrains and Technologies for losses reduction along the field to consumer chain. *African Journal of Horticultural Science*, 12: 51-60. ISSN 1998-9326. Available at: <<http://hakenya.net/ajhs/index.php/ajhs/article/view/185>>.
- [25] Kouame C., Batchep, R. et Kamga R. T. (2013). Evaluation des pertes post-récolte dans la chaine de production et de commercialisation des légumes feuilles traditionnels à Yaoundé (Cameroun). *Agronomie Africaine*, 25 (1): 61 – 70.
- [26] Lahouel, Z. (2015). Etude diagnostique de la filière pomme de terre dans la région de Tlemcen, cas de deux fermes pilotes: Hamadouche et Belaidouni. Mémoire de Master en agronomie option: amélioration végétale. Université Aboubekr Belkaïd, Tlemcen. 113 p.
- [27] MDA/MRA (2008). «Recensement Général de l’Agriculture et du Cheptel RGAC 2005/2007: Résultats Définitifs - Horticulture». Volume IV. 94 p.
- [28] MAG (2015). Résultats définitifs de l’enquête sur les produits horticoles 2013/2014. Direction de la Statistique Agricole. *Rapport d’activités*, 41 p.
- [29] MAG (2021). Rapport définitif de l’enquête sur les productions irriguées 2020-2021. Direction des Statistiques. 42 p.
- [30] MAEPB (2012). Capitalisation des expériences de promotion de la filière tomate dans la commune de Klouekanme. Ministère de l’agriculture, de l’élevage et de la pêche du Bénin. *Rapport définitif*, 79 p.
- [31] Maheshwar, C. and Chanakya, T.S. (2006). Postharvest losses due to gaps in cold chain in India - a solution. *Acta Horticulture* 712: 777-783.
- [32] Agri Pro Focus (2017). État des lieux sommaire des pertes post récolte au niveau des filières tomate, ananas et pisciculture au Bénin. Rapport d’étude. 13 pages.
- [33] Retailleav E. (1994). Projets maraichers des ONGs au Burkina Faso, une évaluation économique. Mémoire de DESS en Analyse de projets industriels et agricoles. Université de Rennes I. 130 p.
- [34] Turner, A. D. 2022. Guide pour la récolte et la manipulation post-récolte des tomates. International fertilizer Development Center, USA. 10p.
- [35] UE-CEDEAO (2002). Étude du secteur agroindustriel en Afrique de l’Ouest. Rapport Benin, 21p.

Valorisation technologique de la pulpe et de l'amande des fruits de *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. au Niger

[Technological valorization of the pulp and kernel of *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. in Niger]

Moussa Arohalassi Halidou¹, Mahamadou Elhadji Gounga², and Rayanatou Issa Ado³

¹École Doctorale Sciences, Ingénierie, Santé et Environnement (SISE), Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi (UDDM), BP: 465 A.D.S Maradi, Niger

²Département des Sciences et Techniques de Productions Végétales, Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement, Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, Niger

³Programme Alimentaire Mondial, Sous bureau Maradi, 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 *Sclerocarya birrea* or Marula tree is a multipurpose forest species widespread in Africa and little studied in Niger. This study focused on the processing of its fruits in order to better contribute to its technological valorization. The samples were collected in two regions followed by their processing by extraction juice from pulp and oil from kernel before their physicochemical and biochemical characterization. The results showed that the Brix degree, the pH and the titratable acidity of the juice varied respectively from 8.40 ± 0.36 to 11.80 ± 0.20 °B; 2.55 ± 0.73 to 2.67 ± 0.66 and 7.77 ± 0.25 to 18.92 ± 0.52 %. The quality parameters of oil showed that the acidity index varied from 7.4 ± 0.01 to 18.71 ± 0.01 KOH/g; the saponification index from 275.34 ± 0.02 to 298.03 ± 0.01 mgKOH/g; the iodine index from 7.23 ± 0.02 to 22.96 ± 0.01 I₂/100g and the peroxide index from 0.16 ± 0.01 to 9.2 ± 0.00 meq O₂/kg. The fatty acid profile showed a richness in saturated, mono and polyunsaturated fatty acids with essential oils ω3, ω6, ω7 and ω9. The fruits of *S. birrea* thus demonstrate a great potential and a very rich and exploitable composition for several purposes and can be an alternative in contributing to the food and nutritional security of rural households.

KEYWORDS: *Sclerocarya birrea*, Valorisation, Transformation, Physico-chemistry, Fatty Acid, Food security and Nutrition, Niger.

RESUME: L'arbre de *Sclerocarya birrea* ou Marula est une espèce forestière aux usages multiples très répandue en Afrique et peu étudiée au Niger. Cette étude porte sur la transformation de ses fruits afin de mieux contribuer à sa valorisation technologique. Les échantillons ont été collectés au niveau de deux régions suivi de leurs transformation par extraction de jus de pulpe et d'huile d'amande avant de faire leur caractérisation physicochimique et biochimique au laboratoire. Les résultats ont montré que le degré Brix, le pH et l'acidité titrable du jus de pulpe ont varié respectivement de 8.40 ± 0.36 à 11.80 ± 0.20 °B; 2.55 ± 0.73 à 2.67 ± 0.66 et 7.77 ± 0.25 à 18.92 ± 0.52 %. Les indices de qualité des huiles extraites des amandes ont varié de 7.4 ± 0.01 à 18.71 ± 0.01 KOH/g pour l'indice d'acidité; 275.34 ± 0.02 à 298.03 ± 0.01 mgKOH/g pour l'indice de saponification; 7.23 ± 0.02 à 22.96 ± 0.01 I₂/100g pour l'indice d'iode et de 0.16 ± 0.01 à 9.2 ± 0.00 méq O₂/kg pour l'indice de peroxyde. Le profil des acides gras des huiles montre une richesse en acides gras saturés, mono et poly insaturés avec des ω3, ω6, ω7 et ω9. Les fruits de *S. birrea* démontrent ainsi une grande potentialité et une composition très riche et exploitable dans plusieurs domaines et peut être une alternative pour contribuer à la sécurité alimentaire et nutritionnelle des ménages ruraux.

MOTS-CLEFS: *Sclerocarya birrea*, Valorisation, Transformation, Physico-chimie, Acides Gras, Sécurité alimentaire et Nutritionnelle, Niger.

1 INTRODUCTION

Communément appelé le prunier d'Afrique, *Sclerocarya birrea* est une espèce forestière non ligneuse qui est largement présente sur la majeure partie du continent africain. On le trouve dans 29 pays, de l'Éthiopie au Sénégal et du Niger à l'Afrique du Sud. C'est une espèce très répandue dans les savanes sahélo-soudaniennes à soudaniennes (Arbonnier, 2009). Elle est également présente dans les régions arides et semi-arides, et se développe en particulier sur des sols sablo-limoneux et sur des versants rocailloux (Muok et al., 2011). Au Niger, l'espèce est rencontrée dans la bande méridionale du pays (Abdourhamane et al., 2017).

L'arbre et ses différentes parties sont très utilisés par les populations rurales de la plupart des pays dans lesquels il est présent. Ses fruits ont une teneur élevée en vitamine C et peuvent être consommés frais, sous forme de jus ou fermentés pour fabriquer des boissons alcoolisées. Ils peuvent aussi être transformés en confiture et en gelée, ce qui prolonge la durée de conservation, la disponibilité et la consommation au-delà des deux à trois mois que dure la saison de fructification. Les amandes sont riches en protéines (28-31 %), en huile (56-61 %), en magnésium, en phosphore et en potassium. Parmi les autres composants importants figurent des oligo-éléments et des vitamines comme le fer, le calcium, le cuivre, le zinc, la thiamine et l'acide nicotinique. Les amandes peuvent être mangées ou pressées pour en extraire de l'huile destinée à la cuisine ou à l'industrie cosmétique. Les fruits et les feuilles sont broutés par le bétail et ont une grande variété d'utilisations médicinales, tout comme l'écorce et les racines (Muok et al., 2011; Arohalassi et al., 2022).

Ainsi, l'espèce fournit différents avantages en économie domestique et donne des marchandises de plus en plus commercialisées. Les domaines d'utilisation les plus connus sont sur le plan alimentaire, nutritionnelle, sanitaire, sociale, cosmétique et pharmacologique (Gouwakinnou et al., 2011; Shackleton et al., 2001; Abdourhamane et al., 2015; Arohalassi et al., 2022). L'utilisation commerciale représente probablement plus de 600 tonnes de jus par an (Lisan, 2012).

Vue l'intérêt traditionnel important de l'espèce à travers pratiquement toute l'Afrique, il est nécessaire d'explorer la valorisation technologique de ses organes, notamment les fruits (pulpe et amande), particulièrement pour l'usage alimentaire.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Le matériel végétal est essentiellement constitué de fruits mûrs à maturité collectés au niveau des peuplements naturels de *S. birrea* et de noix auprès des communautés rurales de deux régions du Niger. Celle de Maradi (centre-sud) et celle de Zinder (centre-est). Au total, (7) communes ont été concernées (Figure 1).

Les fruits et les noix ont ainsi été transportés au niveau de l'unité de transformation pour les travaux d'expérimentation à Zinder. Elle se situe dans les locaux de Sahara Sahel Food (SSF), une entreprise sociale de transformation alimentaire qui œuvre dans la valorisation des produits forestiers non ligneux. L'activité principale de l'entreprise est le commerce et la transformation des produits forestiers non ligneux parmi lesquelles, figure *Sclerocarya birrea*. Elle transforme les espèces indigènes (PFNL) pour l'alimentation humaine, animale mais également pour les vertus thérapeutiques de certaines plantes. L'entreprise collabore avec un réseau composé de cultivateurs familiaux et de nomades de la brousse des régions de Zinder, Diffa et Maradi.

Les produits transformés issus de ses fruits et amandes ont par la suite été transportés au laboratoire pour leurs caractérisations physicochimiques et biochimiques.

Les analyses physico-chimiques des jus de pulpe ont été réalisées au niveau du laboratoire de contrôle de qualité de la Générale d'Industrie et de Commerce (GIC), AKAKOS. Celles sur les analyses biochimiques des huiles ont été effectuées au niveau du Laboratoire de Chimie, Département d'Ingénierie Chimie, celles sur le profil des acides gras au niveau du Laboratoire de Biochimie, Département de Biochimie de l'Université Ahmadou Bello de Zaria.

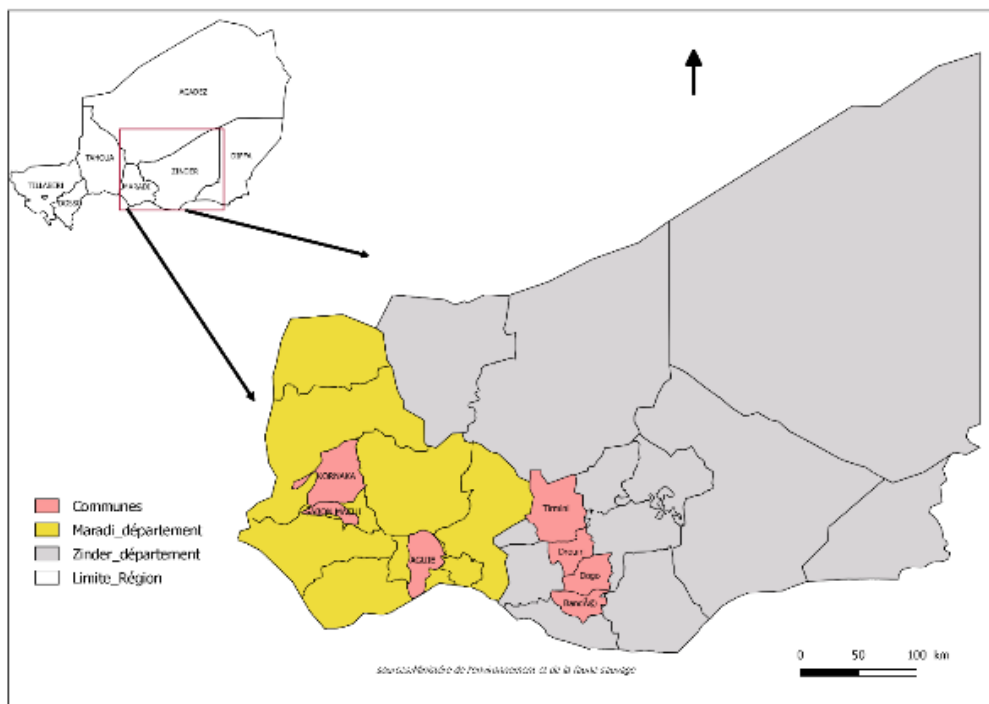


Fig. 1. Carte de localisation de la zone d'étude

2.1.1 TRANSFORMATION DES FRUITS DE SCLEROCARYA BIRREA MÛRS ET DES AMANDES

2.1.1.1 EXTRACTION DE JUS DE PULPE ET D'HUILE D'AMANDE

Les fruits collectés ont été pressés (extraction mécanique à froid) à l'aide d'une presse manuelle à vis selon le diagramme d'extraction ci-dessous (figure 2). Le jus de pulpe obtenu a été filtré, pour obtenir du jus sans impuretés, avant d'être mis en bouteilles de polyéthylène téréphtalate (PET) stérile puis congelé afin de limiter le processus de fermentation du sucre qu'il contient.

Pour extraire l'huile des amandes du fruit, plusieurs étapes ont été suivies (Figure 3). Les fruits sont d'abord déulpés manuellement pour obtenir les noix (Figure 3a) qui sont ensuite séchées au soleil. Cette étape est suivie du concassage des noix dures manuellement à l'aide d'un marteau afin d'obtenir les amandes (Figure 3b) qui seront par la suite triées pour éliminer celles qui sont pourries. Les amandes saines sont introduites dans une presse huile électrique à vis de marque YL-100 (Figure 3c). On obtient une huile dite de première pression. Le tourteau obtenu est retourné une deuxième fois dans la presse afin d'extraire les quantités résiduelles d'huile restantes. Enfin, le processus de décantation est entamé après cette opération. Elle consiste à laisser l'huile se reposer afin de séparer les particules solides (déchets) et l'huile pure. L'huile obtenue est alors filtrée pour éliminer les particules légères.

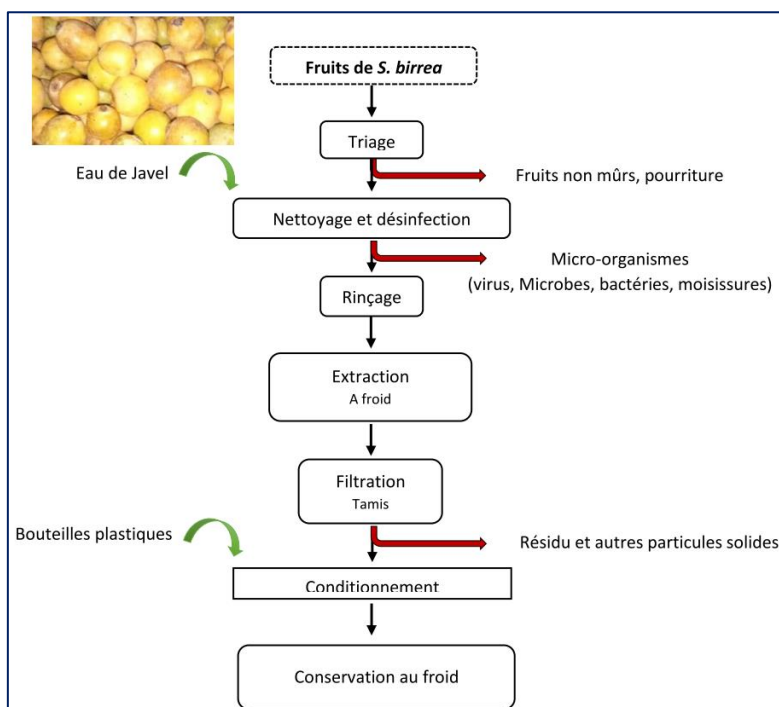


Fig. 2. Diagramme de fabrication du jus de pulpe



a. Noix obtenu après dépulpage b. Concassage manuel des noix c. Presse à vis sans fin

Fig. 3. Etape d'obtention des amandes et extraction d'huile

2.1.2 ANALYSE DES PARAMÈTRES PHYSICOCHIMIQUES ET BIOCHIMIQUES DES JUS DE PULPE

Pour ces analyses, ce sont les paramètres physico-chimiques de base qui ont été déterminés. Il s'agit de:

- **pH**, à l'aide d'un pH mètre de marque Hanna préalablement calibré avec des solutions tampons pH 4 et pH 7;
- **Acidité tirable**, selon (AFNOR, 1986) par titrage de 7 ml de jus avec une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 0,01N en présence d'un indicateur coloré, phénophtaléine (3 gouttes) jusqu'à un virage au rose persistant pendant 30s;
- **Degré Brix**, selon (AFNOR, 1986) à l'aide d'un réfractomètre;
- **Teneur en eau (%) et la matière sèche** ont été déterminées par déshydratation de l'équivalent de 10 g d'échantillon de jus à l'étuve à 105 °C pendant une nuit (12 heures) selon les méthodes AOAC (1990);
- **Teneur en matières minérales** (cendres totaux), déterminée par incinération de la mouture de 5g d'échantillon dans un four à moufle à 550°C (600°C) pendant 6 heures (AOAC, 1990).

2.1.3 CARACTÉRISATION DES HUILES EXTRAITES DES NOIX DE S. BIRREA

2.1.3.1 ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES DES HUILES DE L'AMANDE DE S. BIRREA

➤ Détermination de la densité

La densité relative à une température de 20 °C d'une huile ou d'une graisse est le quotient de la masse dans l'atmosphère d'un certain volume de cette huile ou à une température donnée par la masse du même volume d'eau à 20 °C. Le poids d'un volume donné de graisse liquide à la température souhaitée est déterminé dans un pycnomètre préalablement calibré à la même température (AOAC, 2000).

➤ Détermination de la viscosité

La viscosité est la résistance d'un fluide à l'écoulement due au frottement entre les molécules qui le composent. Dans cette étude, la viscosité des huiles a été déterminée en utilisant l'équipement gradué appelé viscosimètre Brookfield analogique dans lequel les huiles ont été écoulées chacune pendant 30 secondes. La distance parcourue par la bouillie représente la viscosité (fluidité) notée en centiPoise (cP) (AOAC, 2000).

➤ Détermination du pH

Le pH a été mesuré par la même méthode décrite en 2.1.2.

➤ Détermination de l'indice de réfraction

L'indice de réfraction des huiles a été mesuré à l'aide d'un réfractomètre à une température constante.

➤ Détermination de l'indice d'acidité

La mise en solution d'une prise d'essai dans un mélange de solvants, puis titrage des acides gras libres présents à l'aide d'une solution éthanolique d'hydroxyde de potassium (British Standards Institute n°684).

➤ Détermination de l'indice de saponification

L'échantillon est soumis à l'ébullition sous réfrigérant à reflux avec une solution éthanolique d'hydroxyde de potassium. L'excès d'hydroxyde de potassium est titré avec une solution aqueuse d'acide chlorhydrique (British Standards Institute, 1995).

➤ Détermination de l'indice d'iode

L'indice d'iode est mesuré par addition au corps gras, d'un excès de monochlorure d'iode ou réactif de Wijs dans un mélange d'acide acétique et cyclohexane. Après 15 mn, temps de réaction à l'obscurité, l'iode libéré dans un mélange d'iodure de potassium et d'eau est titré par une solution de thiosulfate de sodium (AOAC, 2000).

➤ Détermination de l'indice de peroxyde

C'est un traitement du corps gras en solution dans l'acide acétique et du chloroforme par une solution d'iodure de potassium. Ensuite, titrage de l'iode libéré par une solution titrée de thiosulfate de sodium (British Standards Institute n°684).

2.1.3.2 ANALYSE DU PROFILE EN ACIDE GRAS DES HUILES DE L'AMANDE DE S. BIRREA

Les acides gras méthylés sont passés dans un chromatographe en phase gazeuse (CG) équipé d'un détecteur à spectrométrie de masse (SM). Avant leur passage dans l'instrument, les échantillons ont subi une estérification. Les corps gras sont estérifiés en présence de méthanol.

Les esters méthyliques sont analysés par GC/MS sur un chromatographe AGILENT 78908 GC, équipé d'une colonne capillaire polaire et utilisant comme détecteur un spectromètre de masse AGILENT 5977 MSD à impact électronique.

2.1.4 ANALYSES STATISTIQUES

L'analyse statistique de nos résultats a été réalisée en utilisant l'analyse de la variance à un facteur (ANOVA) qui est la provenance, pour déterminer le seuil de significativité ($P < 0.05$) sur les paramètres physico-chimiques des jus à base de la pulpe de *S. birrea*. Les tests de normalité (Shapiro-Wilk) et d'homogénéité de la variance (tests de Batlett et Levene) ont été vérifiés sur les données avant de faire une comparaison multiples deux à deux des variables. Le logiciel R (Version 4.0.2) et Excel (2016) ont servi pour toutes les analyses.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 RÉSULTATS

3.1.1 CARACTÉRISTIQUES PHYSICOCHIMIQUES DES JUS DE PULPE

Les résultats des analyses des jus obtenus (Figure 4) sont présentés comme suit:

La teneur en eau varie de 88 à 91.90 g/100g. Les jus provenant de Dogo ont enregistré les plus faibles valeurs. La teneur en cendres varie de 0.10 à 0.46 g/100g. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées pour les jus de fruits provenant de la région de Zinder (Tirmini, Dogo, Droum, Bandé). Le degré Brix varie de 8.40 à 11.80 avec un milieu très acide de pH variant de 2.55 à 2.67. L'acidité titrable du jus obtenue varie de 7.77 ± 0.25 à 18.92 ± 0.52 %.



Fig. 4. Jus de la pulpe de *Sclerocarya birrea* obtenus par extraction à froid

Enfin, les résultats d'analyse de la variance (Tableau 1) montrent des différences très hautement significatives ($p < 0,05$), de la composition physicochimique de base des jus formulés avec une influence selon la provenance.

Tableau 1. Analyses physico-chimiques du jus de pulpe de *S. birrea*

Provenance des Echantillons	Teneur en eau (g/100g)	Cendres (g/100g)	Degré Brix (°B)	pH	Acidité titrable (%)
Sabon Machi	90.30 ± 0.00^c	0.30 ± 0.00^a	11.60 ± 0.53^c	2.56 ± 0.64^a	8.33 ± 0.70^a
Dan Kada	91.34 ± 0.00^e	0.29 ± 0.01^a	9.76 ± 1.07^{ac}	2.55 ± 0.73^a	11.17 ± 2.89^{ab}
Dan Gado	88.68 ± 0.00^b	0.10 ± 0.02^{bc}	10.60 ± 1.21^{bc}	2.67 ± 0.66^a	9.87 ± 0.60^a
Tirmini	91.90 ± 0.00^g	0.38 ± 0.02^b	10.67 ± 1.04^{bc}	2.65 ± 1.13^a	18.92 ± 0.52^c
Dogo	88.45 ± 0.00^a	0.37 ± 0.01^b	8.86 ± 0.23^{ab}	2.65 ± 0.22^a	14.13 ± 1.02^b
Droum	91.45 ± 0.00^f	0.46 ± 0.00^d	11.80 ± 0.20^c	2.63 ± 0.58^a	9.30 ± 0.26^a
Bandé	90.52 ± 0.00^d	0.43 ± 0.01^{cd}	8.40 ± 0.36^a	2.60 ± 0.69^a	7.77 ± 0.25^a
p-value	$<2e-16^{***}$	$7.73e-10^{***}$	$5.46e-4^{***}$	1	$2.85e-7^{***}$

Lorsque pour une même colonne, les lettres en exposant sont identiques, les moyennes sont identiques au seuil de 0,05. Sinon, les moyennes sont significativement différentes au seuil de 0,05.

*=significatif; **=hautement significatif; ***=très hautement significatif

3.1.2 CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES HUILES D'AMANDE

❖ Densité

La densité relative à une température de 20 °C des huiles extraites d'amandes de *S. birrea* montre qu'elle est de 0.91 ± 0.00 pour tous les sites à l'exception de celui de Bandé qui enregistre une densité de 1.03 ± 0.00 . Les résultats sont présentés dans le tableau 2:

❖ Viscosité

Les résultats sur la viscosité des huiles sont présentés dans le tableau 2 Cette viscosité varie d'une huile à une autre avec un minimum de 8.7 cP pour le site de Droum (Zinder) et un maximum de 11.2 cP enregistré pour Sabon Machi (Maradi).

❖ pH

La mesure du pH des huiles révèle des milieux proches de la neutralité avec des moyennes variant entre 6.4 à 6.8. Les résultats sont présentés dans le tableau 2.

❖ Indice de réfraction

Les résultats obtenus sur l'indice de réfraction montrent qu'il varie de 1.133 ± 0.01 à 1.516 ± 0.58 (Tableau 2).

❖ Indice d'acidité

Ces résultats montrent une variation de l'indice d'acidité selon la provenance et une variation comprise entre [2,61-18,71] respectivement pour les sites de Dan Gado (Maradi) et Droum (Zinder). Cette dernière est très élevée. Les résultats de l'indice d'acide sont présentés dans le tableau 2.

❖ Indice de saponification

Les huiles extraites des amandes de fruits présentent un indice de saponification très élevé, avec une moyenne inférieure à 275.34 (Tableau 2).

❖ Indice d'iode

Les indices d'iode des huiles varient de 7.23 à 22.96 (Tableau 2).

❖ Indice de peroxyde

D'après les résultats, on peut remarquer que l'indice de peroxyde des huiles brutes varie significativement selon leur provenance. Elle varie de 0.16 ± 0.01 à 9.2 ± 0.00 Meq d'O₂/Kg d'huile (Tableau 2).

Le tableau ci-dessous présente les indicateurs de qualité des différents échantillons d'huiles extraites. L'analyse de variance de l'indice d'acidité des échantillons d'huiles d'amande a montré une différence significative ($p < 0,05$) entre les échantillons des différentes provenances. Pour ce qui est de l'indice de saponification et de l'indice d'iode, l'analyse de variance a montré une différence significative ($p < 0,05$) entre les échantillons des différentes provenances. En ce qui concerne les indices de peroxyde, on constate que les différences obtenues au niveau des huiles de Dan Gado et Tirmini ne sont pas significatives au seuil de 5%.

Tableau 2. Caractéristiques physico-chimiques des huiles extraites des amandes de *S. birrea* en fonction de la provenance

Provenance des Echantillons	Indice d'Acidité (mg KOH/g)	Indice de saponification (mg KOH/g)	Indice d'iode (g I ₂ /100g)	Indice de peroxyde (méq O ₂ /kg)
Sabon Machi	12.40 ± 0.01^d	298.03 ± 0.01^g	11.45 ± 0.02^c	0.59 ± 0.02^e
Dan Kada	5.7 ± 0.01^b	288.67 ± 0.02^f	22.96 ± 0.01^d	0.26 ± 0.01^{cd}
Dan Gado	2.61 ± 0.01^a	277.80 ± 0.01^b	9.11 ± 0.00^b	0.21 ± 0.01^{bc}
Tirmini	7.4 ± 0.01^c	281.84 ± 0.02^c	7.32 ± 0.02^{ab}	9.2 ± 0.00^{bc}
Dogo	12.40 ± 0.02^d	288.47 ± 0.03^e	12.08 ± 1.73^c	0.23 ± 0.03^d
Droum	18.71 ± 0.01^f	275.34 ± 0.02^a	9.10 ± 0.01^b	0.18 ± 0.01^{ab}
Bandé	14.39 ± 0.02^e	283.22 ± 0.02^d	7.23 ± 0.02^a	0.16 ± 0.01^a
P-value	<2e-16 ***	<2e-16 ***	7.4e-13 ***	3.31e-12 ***

a, b, c, d, e, f: sur une même ligne, une même lettre est attribuée aux valeurs ne présentant pas de différence statistiquement significative entre elles au risque $\alpha=0,05$; *=significatif; **=hautement significatif; ***=très hautement significatif

3.1.3 CARACTÉRISTIQUES BIOCHIMIQUES DES HUILES D'AMANDE DE *S. BIRREA* DES SITES ÉTUDIÉS

Les constituants biochimiques des huiles extraites des amandes des fruits ont été analysés. L'identification des esters méthyliques a été faite par comparaison des temps de rétention de chaque pic du chromatogramme avec ceux obtenus pour les étalons. Les résultats de cette analyse pour les 7 sites de la zone d'étude sont présentés ci-après:

❖ Profil en acides gras des huiles du site de Sabon Machi

L'analyse des huiles extraites révèle l'existence de 24 pics de détection dont les plus importants sont: Acide octadécatriénoïque 8.69%, Acide palmitique 8.27%, Acide oléique 8.31%, Acide stéarique 5.33%, Acide ricinoléique 1.12%, et Acide laurique 0.19%. Ces acides gras représentent 31.91% des acides gras totaux.

❖ Profil en acides gras des huiles du site de Dan Kada

L'analyse des huiles extraites révèle l'existence de 15 pics de détection dont les plus importants sont: Acide oléique (55.36%) qui représente la proportion la plus importante suivi d'Acide palmitique (14.2%), Acide octadécatriénoïque (12.9%), Acide arachidique (2.26%), Acide stéarique (2.08%) et Acide caprique (0.5%). Ces acides gras représentent 87.3% des acides gras totaux.

❖ Profil en acides gras des huiles du site de Dan Gado

L'analyse des huiles extraites révèle l'existence de 14 pics de détection dont les plus importants sont: Acide oléique (19.63%) qui représente la proportion la plus importante suivi de l'acide octadécatriénoïque (10.86%), d'acide ricinoléique (10%), Acide linoélaïdique (7.9%), Acide pentadécyclique (2.29%) et Acide stéarique (1.9%). Ces acides gras représentent (52.58%) des acides gras totaux.

❖ Profil en acides gras des huiles du site de Tirmini

L'analyse des huiles extraites révèle l'existence de 15 pics de détection dont les plus importants sont: Acide oléique (76.67%) qui représente la proportion la plus importante suivi Acide octadécatriénoïque (2.1%), Acide palmitique (1.3%), Acide stéarique (1.14%), Acide caprique (0.36%). Ces acides gras représentent 81.57% des acides gras totaux.

❖ Profil en acides gras des huiles du site de Dogo

L'analyse des huiles extraites révèle l'existence de 11 pics de détection dont les plus importants sont: Acide oléique (29.52%) qui représente la proportion la plus importante suivi de l'acide palmitoléique (19.32%), de l'Acide palmitique (18.07%), de l'Acide stéarique (7.58%), de l'Acide caproïque (6.84%) et de l'Acide trans-vaccénique (6.5%). Ces acides gras représentent 87.83% des acides gras totaux.

❖ Profil en acides gras des huiles du site de Droum

L'analyse des huiles extraites révèle l'existence de 16 pics de détection dont les plus importants sont: Acide oléique (41.77%) qui représente la proportion la plus importante suivi d'Acide octadécatriénoïque (13.47%), Acide palmitique (12.82%), Acide palmitoléique (9.65%), Acide trans-vaccénique (3.24%), Acide stéarique (2.71%). Ces acides gras représentent 83.66% des acides gras totaux.

❖ Profil en acides gras des huiles du site de Bande

L'analyse des huiles extraites révèle l'existence de 16 pics de détection dont les plus importants sont: Acide oléique (29.63%) qui représente la proportion la plus importante suivi de l'Acide trans-vaccénique (24.17%), Acide stéarique (23.67%), Acide octadécatriénoïque (5.09%), Acide palmitique (2.85%), Acide palmitique (2.85%) et Acide palmitoléique (0.71%). Ces acides gras représentent 88.08% des acides gras totaux.

3.1.4 DISCUSSION

La valorisation technologique des fruits de *Sclerocarya birrea* dans le cadre de cette étude a conduit à l'extraction du jus des pulpes en première étape. Ce dernier a fait l'objet d'une caractérisation pour plusieurs paramètres physico-chimiques.

La teneur en eau varie de 88 à 91.90 g/100g. Les jus provenant de Dogo ont enregistré les plus faibles valeurs. En général, la teneur en eau des jus de pulpe est de 90% en moyenne tel que rapporté par Braesco et al. (2013) dans une étude sur les jus de fruits et nectars en France. Nos valeurs sont légèrement supérieures à cette moyenne car selon la majorité des teneurs en eau obtenues dépasse 90%.

La teneur en cendres varie de 0.10 à 0.46 g/100g. Les valeurs les plus élevées ont été enregistrées pour les jus de fruits provenant de la région de Zinder (Tirmini, Dogo, Droum, Bande) et dépassent, pour la plus part, la teneur en cendres du jus d'orange qui est de 0.37% \pm 0.01 g/100g (Kelebek et al., 2009).

En ce qui concerne **le degré Brix**, il varie de 8.40 à 11.80, ce dernier possède la même valeur pour les jus d'orange mais inférieur par rapport au jus de mangue fraîche (18.2° B) rapporté par Zeid (1996). Ainsi, l'indice réfractométrique des jus permet d'évaluer rapidement

leur concentration en sucres solubles. Il mesure en effet la fraction de matière sèche soluble majoritairement composée de ces sucres solubles (Travers, 2004).

Le potentiel d'hydrogène est l'une des variables utilisées pour caractériser les propriétés des milieux. Relativement facile à mesurer, le pH est utilisé dans de nombreux domaines comme variable opératoire, caractérisant du produit fini ou encore à des fins de contrôle de qualité. De nombreuses études se sont attachées à corréliser sa valeur à des lois cinétiques de réactions, des qualités organoleptiques du produit ou encore des activités enzymatiques (Boukhiar, 2009), le pH des extraits aqueux est mesuré pour permettre l'interprétation de certains résultats d'activité biologique (Amiour, 2009). De ce fait, les jus de pulpe de *S. birrea* de la présente étude un milieu très acide avec un pH variant de 2.55 à 2.67. Son acidité dépasse le pH des autres jus de fruits. A titre d'exemple, le pH du jus de pamplemousse est de $3,67 \pm 0,01$ (Cheong et al., 2012), jus d'orange $3,52 \pm 0,01$ (Esteve et al., 2005) et il varie entre 2,75 et 4,14 pour le jus de grenade (Radunic et al., 2015). Ce pH acide permet de préserver la boisson contre les altérations microbiologiques (Benaissa, 2011).

L'acidité titrable du jus de pulpe varie entre $7,77 \pm 0,25$ à $18,92 \pm 0,52$ %. Elle est très élevée par rapport aux autres types de jus. Celle du jus de pamplemousse est de l'ordre $0,94 \pm 0,02$ EAC (g/L) (Cheong et al., 2012), celle du jus de grenade est de $2,72 \pm 0,03$ EAC (g/L) (Vegara et al., 2014), celle du jus d'orange est de $7,8 \pm 0,30$ (Esteve et al., 2005) et pour le jus de citron elle a été de $52,40 \pm 2,50$ EAC (g/L) (Lorente et al., 2014) vu sa richesse en acide citrique, elle est largement supérieure à celle obtenue dans notre étude. L'acidité titrable est le support d'autres éléments contribuant au goût des fruits. Elle influe sur la sensation gustative chez le consommateur; elle est conférée par différents acides organiques libres ou combinés sous forme de sels. Ces acides jouent aussi un rôle de conservateur par l'abaissement du pH (Alavoine et al., 1988). D'après Gurak et al., (2010) une acidité élevée dans un jus est due à la présence d'acide citrique, tartrique, et malique. Ces acides assurent l'abaissement de la valeur de pH, assurant l'équilibre entre le goût acide et sucré. Ainsi, les jus de pulpe *S. birrea* obtenus dans le cadre de cette étude sont non seulement acides mais également très fermentescible. Cet acidité important pourrait également être causée par l'activité des enzymes présentes naturellement dans le jus (Coussin, 1948; Adjou, 2013). L'action de ses derniers libère certains acides et alcools lors de leurs activités dans les jus.

La seconde étape de cette valorisation technologique a conduit au concassage des noix des fruits ayant fait l'objet de l'extraction en jus. Les amandes obtenues ont fait l'objet de l'extraction d'huile de *Sclerocarya birrea*. Les analyses biochimiques ont permis de connaître les caractéristiques de cette huile.

Ainsi, en se référant aux valeurs de la densité "D20/20" données par Frappier et Gosselin (1999) des huiles végétales, on peut classer les huiles de cette étude comme suit: [0,899 - 0,914] Huile du palmiste; l'huile des amandes de *S. birrea* se retrouve dans cette catégorie. La même densité est obtenue pour toutes les huiles (0.91 g/l) exceptée celle provenant de Bandé qui est supérieur à 1. Les résultats obtenus dans cette étude concordent avec les données de l'INCI (2019) qui situent la densité (20°C) de l'huile biologique de *Sclerocarya birrea* pressée à froid entre 0.910 à 0.920.

Les résultats obtenus sur la variation de l'indice de réfraction des huiles extraites des amandes confirment leur appartenance au groupe des huiles végétales et que ces huiles sont très riches en acide oléique et linoléique (Adrian et al., 1998).

Les graisses et les huiles sont des macronutriments dont la composition varie. Il est essentiel pour l'industrie de connaître l'origine et la concentration de leurs principaux éléments. Les raffineries d'huiles dépendent par exemple d'un grand nombre d'huiles et graisses dont l'origine est différente, voire inconnue. Il est donc nécessaire de déterminer la composition du produit, et pour cela, on utilise les indices de réfraction ou valeurs butyro (AOAC 921.08, 1990).

Selon le Codex Alimentarius (2009), chaque huile a un indice de réfraction spécifique mesuré à une certaine température, ce qui permet de les différencier. Cet indice varierait en fonction de l'instauration des huiles (Ollé, 2002).

- Huile d'arachide: 1,460 – 1,465
- Huile de maïs: 1,465 – 1,468
- Huile de moutarde: 1,461 – 1,469
- Huile de sésame: 1,465 – 1,469
- Huile de soja: 1,466 – 1,470
- Huile de tournesol: 1,461 – 1,468
- Huile de palme: 1,458 – 1,460 (à 40 °C)

Selon les résultats obtenus, on remarque que les huiles extraites d'amandes ne se retrouvent dans aucune de ses catégories. En effet, les indices de réfractons obtenues varient de $1,516 \pm 0,58$ à $1,133 \pm 0,01$, en dehors des limites des intervalles des huiles conventionnelles. Cependant l'INCI (2009) situe l'indice de réfraction des huiles extraites des amandes de *S. birrea* entre 1.455 et 1.470. Ces valeurs sont supérieures aux résultats obtenus dans cette étude pour la majorité des huiles étudiées mais inférieures aux résultats obtenus à Bandé. Il est également à préciser que l'indice de réfraction est particulièrement utile car il renseigne sur l'état de dégradation d'une huile. En effet, la présence d'acides gras libres abaisse fortement l'indice de réfraction (Lion, 1955). Cela permet de déduire de la présence d'acides gras libre dans la plupart des huiles analysées, ce qui expliquerait des indices de réfraction bas.

L'indice d'acidité renseigne principalement sur l'altération des triglycérides à la suite d'une hydrolyse chimique ou enzymatique lorsqu'ils se trouvent dans les conditions propices (Adrian *et al.*, 1998). Les résultats obtenus montrent une variation de l'indice d'acide selon la provenance et une variation comprise entre 2,61-18,71 respectivement pour les sites de Dan Gado (Maradi) et Droum (Zinder). Cette dernière est très élevée. Les valeurs d'indice d'acide des huiles provenant de Sabon Machi, Tirmini, Dogo, Droum et Bandé dépassent largement la valeur limite, pour les huiles brutes, à 7,1 ce qui signifie qu'il y'a eu l'hydrolyse chimique ou enzymatique lors de l'extraction. Il est donc clair que ces huiles sont facilement hydrolysables et nécessitent une attention particulière lors de l'extraction, de la purification ou de leur conservation (Tchiégang *et al.*, 2003).

L'indice de saponification correspond au nombre de milligrammes de potassium nécessaire pour saponifier 1 gramme de matière grasse (Kartika., 2005). Les huiles extraites des amandes de fruits étudiées présentent un indice de saponification très élevé avec une moyenne inférieure à 275.34. Cette valeur est également supérieure à l'indice de saponification des huiles usuelles, telle que l'huile d'olive (184-196), l'huile de maïs (187-195) et l'huile du tournesol (188-194) (Kartika., 2005). Elle est également supérieure à l'intervalle d'indice de saponification donnée par l'INCI en 2019 sur les huiles biologiques de *S. birrea* qui se situent entre 188 et 196 mg KOH/g. Omeje *et al.* (2019) ont également retrouvé une valeur de l'ordre de 123.3 mg/KOH/g pour l'indice de saponification des huiles extraites d'amande de *S. birrea* dans une étude au Nigeria.

L'indice d'iode permet de mesurer globalement le degré d'insaturation des acides gras constituant la matière grasse. Les indices d'iode des huiles étudiées varient de 7.23 à 22.96, valeurs très faibles comparativement à celles des huiles végétales usuelles telles que l'huile de maïs (103-195), l'huile de sésame (104-120) et l'huile de tournesol (118-141). Ces résultats nous permettent de dire que les huiles extraites des amandes sont très saturées, et moins sensibles à l'oxydation que les huiles végétales usuelles.

D'après les résultats de cette étude, on peut remarquer que l'indice de peroxyde des huiles brutes varie significativement selon leur provenance. Ces valeurs sont inférieures à 10 Meq d'O₂/Kg d'huile, teneur maximale pour les huiles brutes (Fuhrer., 2005). De ces résultats, on peut déduire que les huiles brutes de *S. birrea* n'ont pas subi d'oxydation, ce qui a permis d'éviter la formation des peroxydes et des hydro peroxydes responsables de l'altération des lipides.

L'analyse du profil des acides gras montre que l'huile extraite des amandes de *S. birrea* est caractérisée par la présence d'acides gras saturés et insaturés. Les acides gras saturés sont composés d'acide palmitique (C16: 1), acide stéarique (C18: 0), acide laurique (C12: 0), acide caprique (C12: 0), acide arachidique (C20: 0), acide pentadécyclique (C15: 0) et acide carproïque (C6: 0). Les teneurs de ces acides gras saturés varient selon la provenance des huiles. L'acide palmitique contient des teneurs allant de 1.3 à 18% selon le site, celles de l'acide stéarique vont de 1.14 à 23.7%. Les teneurs des autres acides gras saturés tournent entre 0.2 à 6.84% selon le site de provenance des huiles.

L'acide laurique (C12: 0) est l'un des trois acides gras saturés les plus fréquemment rencontrés à l'état naturel avec l'acide palmitique (C16: 0) et l'acide stéarique (C18: 0) (Cuvelier *et al.*, 2004). L'acide palmitique est l'acide gras saturé le plus abondant; il est présent dans pratiquement toutes les graisses végétales et animales, y compris au sein du tissu graisseux des animaux marins (minimum 5 %). C'est un constituant majeur du saindoux et du suif (23 %) (Sreenivasan, 1968), de l'huile de palmiste (44 %) (National Research Council, 2001) et du beurre de cacao (25 %). L'acide stéarique est également largement distribué, tant dans le règne végétal que dans le règne animal. La plupart des huiles végétales en contiennent de 1 à 5 %, le beurre de cacao 35 %, tandis que le saindoux et le suif en contiennent respectivement 13 % (Iverson *et al.*, 1965) et 17 % (Sreenivasan, 1968).

Les acides gras saturés ne comportent aucune double liaison entre les atomes de carbone. Ils sont désignés soit par leur nom usuel en rapport avec leur origine (Acide butyrique extrait de beurre, acide palmitique extrait de la palme), soit par la nomenclature officielle des acides carboxyliques (Malti, 2015). Ainsi, Les acides gras saturés peuvent avoir un grand nombre de conformations possibles. En effet, chaque liaison chimique du squelette étant simple, elle a tout pouvoir de rotation. La chaîne hydrocarbonée est donc flexible. La conformation en extension totale étant celle nécessitant le moins d'énergie, il est probable qu'elle soit aussi la plus fréquente (Lehninger, 1975). Cette richesse en acide palmitique permettrait d'envisager pour cette huile une utilisation courante dans l'industrie agro-alimentaire pour la fabrication des produits en biscuiterie, sous l'appellation "Matière grasse végétale" (Bertin., 2002.).

Le point de fusion des acides gras augmente avec la longueur de la chaîne carbonée. Ainsi, les acides gras à courte chaîne sont liquides à température ambiante, alors que les acides gras pourvus de 10 atomes de carbone ou plus sont solides (Cuvelier *et al.*, 2004).

Les acides gras insaturés des huiles extraites des amandes de *S. birrea* sont les composés majoritaires des huiles analysés. Elles comprennent l'acide oléique avec des proportions variantes de 8.3 à 76.7% en fonction du site de provenance, de l'acide octadécatriénoïque avec des proportions allant de 2.1 à 13.5% selon le site suivi des acides ricinoléique, trans-vaccénique et palmitoléique avec des proportions allant respectivement de 1.1 à 10%, de 3.24 à 24.2 et de 0.71 à 19.3% selon le site de provenance.

Les acides gras insaturés comportent une ou plusieurs doubles liaisons entre les carbones de leurs chaînes. Ils peuvent contenir entre 1 et 6 doubles liaisons et sont dits, selon le cas, mono-insaturés ou polyinsaturés. A titre d'exemple, il est fréquent de rencontrer les acides gras insaturés suivants en C18: Acide oléique C18: 1, Acide linoléique C18: 2, Acide linoléique C18: 3. Ainsi les huiles extraites des

amandes de *S. birrea* sont constituées de ces acides gras insaturés mais dans des proportions très différentes selon le site. Cette variation pourrait être due aux caractéristiques pédo-climatiques des zones dont sont issues les huiles (Praca, 2006). La prédominance des acides gras insaturés confère à ces huiles des actions hypocholestérolémiantes et antiathérogènes (Armond, 1998). Avec un taux élevé, l'acide oléique est bien représenté dans cette huile, ce qui permet la régulation du cholestérol (Bertin, 2002).

Les huiles analysées sont particulièrement riches en acides gras polyinsaturés de type oméga-3, oméga-6, oméga-7 et oméga-9. Les Oméga 6 participent à l'élaboration d'acides gras hautement insaturés et d'eicosanoïdes, ils jouent un rôle important au niveau du système nerveux, de l'équilibre cardiovasculaire, de l'immunité, de la guérison des blessures et des réactions allergiques et inflammatoires (Grondin *et al.*, 2002).

Les acides gras contenant 1, 2 ou 3 doubles liaisons et 18 atomes de carbone constituent les acides gras insaturés les plus importants du monde végétal et du monde animal terrestre. Ceux qui contiennent 4 ou plus de doubles liaisons et de 20 à 24 atomes de carbone se rencontrent principalement dans les huiles marines. Parmi les acides gras mono insaturés, l'acide palmitoléique (C16: 1 (9)) est largement représenté, tout comme l'acide oléique (C18: 1 (9)), mais il est présent en quantités bien moins importantes que ce dernier. L'acide palmitoléique est un constituant de presque toutes les catégories de plantes et d'animaux, des espèces les plus évoluées aux moins évoluées. Les huiles d'animaux marins en contiennent généralement de 15 à 20 %, les huiles de poissons entre 8 et 15 % (Sonntag, 1979a), tandis que la matière grasse du lait en contient 1,5 % (Jenkins, 1998). La plupart des huiles issues des graines ont des teneurs inférieures à 1 %, à l'exception de l'huile d'olive (1,6 %) (Sonntag, 1979a). L'acide oléique est l'acide gras le plus distribué de tous; il se rencontre dans presque toutes les graisses végétales et animales et peut représenter plus de 50 % des acides gras totaux. Des sources importantes d'acide oléique sont l'huile d'olive (65 à 85 %) (Sonntag, 1979c), l'huile d'arachide (45 %) (National Research Council, 2001) et l'huile de pécan (85 %) (Sonntag, 1979a). Peu de graisses contiennent moins de 10 % d'acide oléique. L'acide trans vaccénique (C18: 1 (trans 11)) et l'acide élaïdique (C18: 1 (trans 9)) ne se rencontrent pas dans les graisses d'origine végétale, mais constitueraient entre 5 et 10 % de la graisse de bœuf (Sonntag, 1979a).

Les acides gras polyinsaturés les plus importants et les plus répandus sont l'acide linoléique (C18: 2 (9,12)) et l'acide α -linoléique (C18: 3 (9, 12, 15)). Ils appartiennent respectivement à la famille des oméga-3 et des oméga-6. L'acide linoléique est l'acide gras polyinsaturé le plus distribué et le plus abondant. Il est également un acide gras essentiel. Présent dans les huiles végétales, sa teneur moyenne varie: 40 % dans l'huile de tournesol, 52 % dans l'huile de coton, 51 % dans l'huile de soja, 58 % dans l'huile de maïs, 41 % dans l'huile de sésame (National Research Council, 2001). L'acide α -linoléique est également largement rencontré dans la nature, surtout comme composant majeur des huiles végétales hautement insaturées.

Les huiles extraites des amandes de *S. birrea* disposent d'une qualité unique et d'une richesse énorme en acides gras. Elles sont conformes à la composition en acide gras donnée par l'INCI (2019) à l'exception de l'acide myristique non décelée par nos analyses. Néanmoins, les applications de l'huile, compte tenu de sa richesse, peuvent être dans les domaines de la cosmétique, dans la formulation de produits tel que produits pour le bain, préparation pour le corps et les mains, produit de nettoyage, de maquillage, du vernis, soins de la peau et des cheveux. Les applications dans le domaine alimentaire offrent également plusieurs possibilités.

4 CONCLUSION

Les travaux de recherche ont démontré que l'espèce de *Sclerocarya birrea* possède des potentialités remarquables tant au point de vu alimentaire que cosmétique. Les expérimentations effectuées démontrent que les fruits se prêtent à la transformation grâce à la pulpe sucrée qui donne un jus avec des bonnes caractéristiques sur le plan physico-chimique et une composition nutritionnelle qui n'a rien à envier aux jus de fruits ordinaires. Ce jus procure de l'énergie (calories), des minéraux et certainement des vitamines. L'huile des amandes est fine et peut avoir des utilisations dans les domaines alimentaires, cosmétiques et pharmacologiques certaines avec sa composition en acide gras surtout insaturés. Les fruits de *S. birrea* peuvent apporter des nutriments à l'organisme de la même manière que les fruits conventionnels. Cependant, il n'existe pas encore au Niger des procédés d'extraction efficace du jus des pulpes car faible par rapport au poids du fruit mais également l'obtention des amandes par le concassage qui demeure pénible à cause de la dureté de la noix qui ne possède pas encore de concasseur fiable pour son obtention facile.

REFERENCES

- [1] Abdourahmane H., Rabiou H., Diouf A., Morou B., Mahamane A. et Bellefontaine R., 2017. Structure démographique et répartition spatiale des populations de *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. Du secteur Sahélien du Niger. Bois et Forêts des Tropiques, 333 (3): 55-66.
- [2] Abdourahmane H., Morou B., Larwanou M., Mahamane A., Saadou M., Bellefontaine R., 2015. Uses and preferences of woody species in two protected forests of Dan Kada Dodo and Dan Gado in Niger. Journal of Horticulture and Forestry, 7 (6): 149-159.

- [3] Adjou E. S., Amamion H., Tchobo F. P., Aissi V. M. et Soumanou M. M., 2013. Extraction assistée par enzyme du jus de la pulpe fraîche du rônier (*Borassus aethiopum* Mart.) acclimaté au Bénin: caractérisation physico-chimique et microbiologique. *Iny. J. Biol. Chem. Sci.* 7 (3): 1135-1146.
- [4] Adrian J., Potus J., Poiffait A., Dauvillier P., 1998. Introduction à l'analyse nutritionnelle des denrées alimentaires. Techniques & documentation- Lavoisier: P 47-53.
- [5] AFNOR, 1986. Recueil des normes françaises afnor. Ed. Paris-La Défense, 474 p: ill, ISBN: 2-12-177521-8 (Br.): 380 F.
- [6] Alavoine F., Crochon M., Fady C. Jean Fallot., 1988. La qualité gustative des fruits, méthodes pratiques, d'analyse, Méthodes pratiques d'analyses. PP: 7-18.
- [7] Amiour, S.D., 2009. Etude quantitative des composés phénoliques des extraits de trois variétés de dattes (*Phoenix dactylifera* L.) et évaluation in vitro de leur activité biologique.
- [8] AOAC, 1990. Official Methods of Analysis, Association of Official Analytical Chemists, 15 th. Edition, Washington D.C.
- [9] Arbonnier M., 2002. Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest. MNHN, Éditions Quæ, 576 p.
- [10] Armond M., 1998. Digestion et absorption des lipides: acquisitions récentes. *Act. Méd. Int. Métabolismes- Hormones- Nutrition*, 2: 14-18.
- [11] Arohalassi HM, Elhadji Gounga M, Issa Ado R., 2022. Caractérisation socio-économique et identification des usages de *Sclerocarya birrea* (A. Rich.) Hochst. au Niger, *Journal of Applied Biosciences* 174: 18113 – 18123, ISSN 1997-5902. DOI: <https://doi.org/10.35759/JABs.174.7>.
- [12] Benaissa A., 2011. Etude de la qualité microbiologique des viandes camelines et ovines conservées selon différents modes. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magister en Biologie, Option Microbiologie Appliquée, Université Kasdi Merbah Ouargla, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers, Département des Sciences de la Nature et de la Vie, 61p. Bertin., 2002.
- [13] Boukhiar., 2009. Analyse du processus traditionnel d'obtention du vinaigre de dattes tel qu'appliqué au sud algérien: essai d'optimisation. Thèse de magistère. LRTA. Université Boumerdes. p 65.
- [14] Braesco V., Gauthier T., Bellisle F., 2013. Jus de fruits et nectars. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, Volume 48, Issue 5, Pages 248-256.
- [15] Cheong M.W., Liua S.Q., Zhoua W., Curranb P., YU B., 2012. Chemical composition and sensory profile of pomelo (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) juice. *Food Chemistry*, 135, 2505–2513.
- [16] Codex Alimentarius., 2009. Normes alimentaires Internationales pour les huiles végétales portant un nom spécifique CODEX STAN 210-1999. Adoptée en 1999. Amendement: 2005, 2011, 2013, 2015. Révision: 2001, 2003, 2009.
- [17] Coussin S., 1948. Les Jus de fruits. I.F.A.C, Fruits d'Outre-Mer, Vol. 3, n°3, 2p.
- [18] Cuvelier C., Cabaraux J.-F., Dufrasne I., Hornick J.-L., and Istasse L., 2004. Acides gras: nomenclature et sources alimentaires.
- [19] Esteve M.J., Frigola A., Rodrigo C., 2005. Effect of storage period under variable conditions on the chemical and physical composition and colour of Spanish refrigerated orange juices. *Food and Chemical Toxicology*, 43, 1413–1422.
- [20] Frappier R et Gosselin D., 1999. Le guide des bons gras. Ed. Maxam. ISBN 10: 2980111554 ISBN 13: 9782980111556. *Food Chem.*; 66: 1–14.
- [21] Gouwakinnou GN, Lykke AM, Assogbadjo AE, Sinsin B., 2011. Local knowledge, pattern and diversity of use of *Sclerocarya birrea*. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 7 (8). DOI: <https://doi.org/10.1186/1746-4269-7-8>.
- [22] Grondin I., Smadja J., Armougon R., 2002. Fiche technique: les triacylglycérols des huiles des graines de Cucurbitacées tropicales des genres lagenaria et Liffa. *Oléagineux, corps gras, lipides*, 9 (2): 169-173.
- [23] Gurak, Poliana & Cabral, Lourdes & Rocha-Leão, Maria Helena & Matta, Virginia & Freitas, Suely., 2010. Quality evaluation of grape juice concentrated by reverse osmosis. *Journal of Food Engineering - J FOOD ENG.* 96. 421-426. 10.1016/j.jfoodeng.2009.08.024.
- [24] Iverson, J.L., Eisner, J. & Firestone, D., (1965). Detection of trace fatty acids in fats and oils by urea fractionation and gas-liquid chromatography. *J Am Oil Chem Soc* 42, 1063–1068. <https://doi.org/10.1007/BF02636908>.
- [25] Kartika I.K., 2005. Nouveau procédé de fractionnement des graines de tournesol: expression et extraction en extrudeur bi-vis, purification par ultrafiltration de l'huile de tournesol. Thèse de Doctorat. Institut polytechnique de Toulouse, 333p.
- [26] Kelebek H., Selli S., Canbas A., Cabaroglu T., 2009. HPLC determination of organic acids, sugars, phenolic compositions and antioxidant capacity of orange juice and orange wine made from a Turkish cv. Kozan. *Microchemical Journal*, 91, 187-192.
- [27] Lehninger A, 1975. *Biochemistry* 2nd Ed. Worth & Co. Publ. New York N.Y., 846.
- [28] Lorente, J., Vegara, S., Martí, N., Ibarz, A., Coll, L., Hernández, J.,... & Saura, D., 2014. Chemical guide parameters for Spanish lemon (*Citrus Limon* (L.) Burm.) Juices. *Food chemistry*, 162, 186-191.
- [29] Muok BO, Khumalo GS, Tadesse W, Alem SH., 2011. *Sclerocarya birrea*, prunier d'Afrique: Conservation et utilisation durable des ressources génétiques des espèces ligneuses alimentaires prioritaires de l'Afrique subsaharienne, Bioersivity International, Rome.: 12.
- [30] National Research Council, 2008. *Lost Crops of Africa: Volume III: Fruits*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11879>.

- [31] Omeje, K. O., Iroha, O. K., Edeke, A. A., Omeje, H. C., & Apeh, V. O., 2019. Characterization and fatty acid profile analysis of oil extracted from unexploited seed of African star apple (Udara). *OCL*, 26, 10.
- [32] Radunic M., Spika M.J., Goreta Ban S., Gadze J., Díaz-Pérez J.C., Maclean D., 2015. Physical and chemical properties of pomegranate fruit accessions from Croatia. *Food Chemistry*, 177, 53–60.
- [33] Shackleton, S., Sullivan, C., Cunningham, T., Leakey, R., Laird, S., Lombard, C., 2001. An overview of current knowledge on *Sclerocarya bierra* (A. Rich.) Hochst. subsp. *caffra* (Sond.) Kokwaro with particular reference to its importance as a non-timber forest product (NTFP) in southern Africa. 56pp. CEH, Rhodes University, CSIR, CRIAA SA-DC, INR, Ethnoecology Services. UK, South Africa, Namibia. www.ceh-wallingford.ac.uk/research/winners. [Internal report], [Paper]. [Practitioners, Researchers]. (C).
- [34] Sonntag, N. O. V., 1979. New developments in the fatty acid industry. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 56 (11), 861A-864A.
- [35] Sreenivasan, B., 1968. Component fatty acids and composition of some oils and fats. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 45 (4), 259-265.
- [36] Tchiégang, C., Oum, M. N., Dandjouma, A. A., & Kapseu, C., 2004. Qualité et stabilité de l'huile extraite par pressage des amandes de Ricinodendron heudelotii (Bail.) Pierre ex Pax pendant la conservation à température ambiante. *Journal of food engineering*, 62 (1), 69-77.
- [37] Travers I., 2004. Influence des conditions pédoclimatiques du terroir sur le comportement du pommier et la composition des pommes à cidre dans le Pays d'Auge. Thèse de Doctorat. Université de Caen. Basse-Normandie. PP124.
- [38] Vegara, S., Martí, N., Lorente, J., Coll, L., Streitenberger, S., Valero, M., & Saura, D., 2014. Chemical guide parameters for Punica granatum cv. 'Mollar' fruit juices processed at industrial scale. *Food chemistry*, 147, 203-208.

Conséquences des pertes post-récolte des produits maraîchers et stratégies d'adaptation des producteurs ruraux au Niger

[Consequences of post-harvest losses of market garden products and adaptation strategies of rural producers in Niger]

Mahamadou Elhadji Gounga¹, Rayanatou Issa Ado², and Habsatou Boukary³

¹Département des Sciences et Techniques de Productions Végétales, Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement, Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi, Niger

²Programme Alimentaire Mondial PAM, sous bureau Maradi, Niger

³Conseil National de la recherche Agronomique, Institut National de la Recherche Agronomique du Niger, 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: Food losses occur at different stages of the food system. They are particularly observed during harvesting operations, during packaging and/or storage, transport and preliminary processing operations. This study was intended to make a diagnosis of the three sub-sectors (tomato, potato and cabbage), in terms of post-harvest losses (PHL) in order to assess the impact of these losses on the producer's income and their impact on household food and nutrition security. Eight hundred and forty actors (producers, transporters, traders, processors) were involved in this study. Individual interviews, focus groups and weighings made it possible to collect the data. The results allowed to categorize the different types of PHL and determine their impact on the resilience of producers in facing household food and nutritional insecurity. The study also made it possible to identify the strategies adopted by producers to cope with these significant losses. These adaptation strategies depend on the stages of the supply chain. From the use of seeds adapted to the use of good cultural practices in the pre-harvest phase, the use of skilled labor for harvesting and good conservation practices, producers adapt with suitable provisions for transport of the goods and the search for a safe outlet. PHLs constitute a real risk for farmers, preventing them of fully benefiting from their work, while remaining an obstacle to the food and nutritional security of farmers and their households.

- **KEYWORDS:** Food losses, market gardening, food security, resilience, household income, Niger.

RESUME: Les pertes alimentaires se produisent à différents stades du système alimentaire. Elles s'observent particulièrement aux opérations de récoltes, au cours du conditionnement et/ou stockage, du transport et des opérations préliminaires de transformation. Cette étude était destinée à faire une diagnostique des trois sous-secteurs (tomate, pomme de terre et chou), en termes de pertes post-récolte (PPR) afin d'évaluer l'impact de ces pertes sur le revenu du producteur et leur conséquence sur la sécurité alimentaire et nutritionnelle des ménages. Huit cent quarante acteurs (producteurs, transporteurs, commerçants, transformateurs) ont été concernés par cette étude. Des entretiens individuels, des focus groupes et des pesés ont permis de collecter les données. Les résultats ont permis de catégoriser les différents types de PPR et déterminer leur impact sur la résilience des producteurs face à l'insécurité alimentaire et nutritionnelle des ménages. L'étude a également permis d'identifier les stratégies adoptées par les producteurs pour faire face à ces importantes pertes. Ces stratégies d'adaptation sont fonction des étapes de la chaîne d'approvisionnement. Du recours aux semences adaptées à l'utilisation de bonnes pratiques culturales en phase pré-récolte, l'utilisation de main d'œuvre qualifiée pour la récolte et de bonnes pratiques de conservation, les producteurs s'adaptent avec des dispositions idoines pour le transport de la marchandise et la recherche

d'un déboucher sûr. Les PPR constituent un risque réel pour les agriculteurs les empêchant de tirer pleinement profit de leur labeur, tout en demeurant un obstacle à la sécurité alimentaire et nutritionnelle des exploitants et de leurs ménages.

MOTS-CLEFS: Pertes alimentaires, maraîchage, sécurité alimentaire, résilience, revenu des ménages, Niger.

1 INTRODUCTION

Le Niger, pays sahélien et totalement enclavé, fait face à des crises alimentaires chroniques dues à l'insuffisance des productions causée par, entre autres, les aléas climatiques et le système de production peu ou pas adapté au contexte socio-économique du moment, ne répondant pas ainsi à une demande alimentaire de la population en constante augmentation. Le maraîchage, activité pourvoyeuse d'emploi, une source de revenus significatifs, est une alternative pour contrecarrer les crises structurelles des systèmes d'activités longtemps fondés sur la céréaliculture et contribue à l'alimentation quotidienne de la population (Ali Hamidou, 2011; Djibo, 2013; Luxereau, 2015; Bognini, 2010 et Kouiyé, 2020). Les fruits et légumes contribuent de façon significative à la sécurité alimentaire, à la nutrition et à la réduction de la pauvreté, ainsi qu'à l'autonomisation de la femme et au développement économique des ménages dans les régions où leurs productions sont importantes (Andres and Lebailly, 2011; Kouame, Batchep et Kamga, 2013; HCl3N, 2014; FAO, 2017; Kirigia, Kasili et Milbus, 2017; Bakary, 2019; Kouiyé, 2020). Cependant, le niveau de vulnérabilité de producteurs (trices), la qualité médiocre des produits, leur sécurité sanitaire douteuse et les niveaux élevés de pertes après récolte sont les principaux goulots d'étranglement rencontrés dans les chaînes d'approvisionnement traditionnelles des produits maraichers dans les zones de production et même dans le pays (Ali Hamidou, 2011; HCl3N, 2012; Gounga 2014, FAO, 2017).

Parmi les produits maraichers, le chou, la pomme de terre et la tomate (MAEPB, 2012; Hassane, 2015; Naika *et al.*, 2020) occupent une place importante, d'une part, dans les cultures de contre saison en irrigué (MAG, 2015; MAG, 2021) et d'autre part dans la sécurité alimentaire et la résilience des ménages ruraux (Bastin, 2009; Bognini, 2010; FAO, 2017; St-Pierre, 2022). Une partie de la production est consommée localement et l'autre est renvoyée dans le circuit de distribution pour alimenter les marchés ruraux et urbains locaux d'une part et ceux des pays voisins d'autre part (Gounga, 2014, Darrot *et al.*, 2020).

Ces produits sont périssables car sont habituellement récoltés avec une teneur en eau élevée et donc une durée de conservation très limitée malgré la proximité entre la production et la consommation et/ou la commercialisation. Ces produits souffrent par ailleurs de manque d'organisation en filières (MAEPB, 2012).

Les pertes post-récolte (PPR) comprennent l'ensemble des pertes de produits agricoles, essentiellement alimentaires, le long de la chaîne de valeur agricole depuis la culture dans les champs jusqu'à l'assiette du consommateur. Leur investigation comprend également de nombreux aspects qui tiennent à la diversité des produits concernés, des opérations qui se succèdent au long du système post-récolte, des causes qui provoquent ces pertes, des déprédateurs et autres parasites des denrées, sans parler des conditions physiques, techniques, économiques et autres, qui favorisent l'action des agents de détérioration et, en conséquence, l'aggravation des pertes. Environ 14 % de la nourriture au niveau mondial est perdue après la récolte et avant d'atteindre le niveau du consommateur, notamment en raison des activités liées à la productivité, au stockage et à la distribution (FAO, 2019).

Les PPR des produits maraîchers et leur ampleur varient d'un pays à l'autre et dans un même pays d'une zone de production à une autre selon l'échelle d'exploitation et l'organisation des circuits de commercialisation (Kader, 2005). Environ 30% des fruits et légumes produits en Inde sont perdus ou gaspillés chaque année en raison de lacunes dans la chaîne du froid, des capacités de conservation insuffisantes et une infrastructure de transport médiocre (Maheshwar et Chanakya, 2006). Ces pertes seraient encore plus élevées dans les pays en voie de développement (Kader, 2010) et atteindraient les 50% dans certains pays africains selon l'Agence des Nations Unies qui s'occupe de l'Alimentation et de l'Agriculture (FAO, 2012).

Les causes des PPR varient également selon les pays, et incluent, entre autres, la surproduction, la récolte prématurée, des infrastructures inadaptées de stockage, de transport et de transformation, des systèmes de marché inadéquats, ainsi que le manque de savoir sur une gestion post-récolte efficace. Très peu d'études portant sur une approche détaillée de la modélisation à l'estimation de perte totale (quantitative et qualitative) existent (Gardas, Raut et Narkhede, 2017). Les pertes qualitatives ne sont qu'une composante des PPR et ne reflètent pas nécessairement le niveau des pertes totales (notamment économique), même si elles demeurent essentielles pour s'assurer des disponibilités alimentaires (Gounga, Issa Ado et Boureima, 2022). En plus, on note peu ou pas de données sur les PPR au Niger et quand elles existent, les estimations de ces pertes sont faites pour les denrées alimentaires de base notamment les céréales, beaucoup moins pour les denrées périssables (comme les fruits et légumes, racines et tubercules) pourtant sujettes de grandes pertes surtout dans les zones phares de

production. En outre, les quelques données de PPR disponibles ne concernent pas toutes les différentes étapes de la chaîne de production et de post-récolte.

Les pertes alimentaires ont un effet immédiat sur le revenu des producteurs. Elles réduisent la qualité nutritive du régime. En plus, elles dilapident les ressources naturelles, telles que le terrain, l'eau et l'énergie, utilisées lors de la production des aliments perdus. Selon diverses études, un tiers des produits alimentaires destinés à la consommation humaine est perdu ou gaspillé, soit environ 1,3 milliards de tonnes par année. Selon la FAO (2012), les pertes économiques mondiales dues aux pertes et au gaspillage alimentaires s'élèvent à 940 de milliards d'US\$ par an.

Dans nos travaux récemment soumis pour publication (Gounga et al., 2022), nous avons fait une étude diagnostique et un état des lieux sur les PPR pour déterminer les différents types de ces pertes et les facteurs de causes à l'origine des pertes et d'évaluer leur incidence sur les produits. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact des PPR sur le revenu des producteurs et leurs conséquences sur la sécurité alimentaire des ménages et les différentes stratégies adoptées par les ménages pour juguler les impacts de ces pertes.

2 CADRE METHODOLOGIQUE

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La présente étude a été conduite dans trois (3) localités du Niger à savoir Tibiri, Madaoua et Bonkoukou respectivement dans les régions de Maradi, Tahoua et Tillabéri. La zone d'étude est globalement représentée dans la Figure 1 ci-dessous.

Les sites concernés sont: douze sites maraîchers de production et des marchés d'exportation et/ou de consommation (Marché de Bonkoukou, Petit Marché de Niamey, Marché Djémagué, site de Doguéraoua, marché de Tounfafi et le marché de Kadro à Maradi).

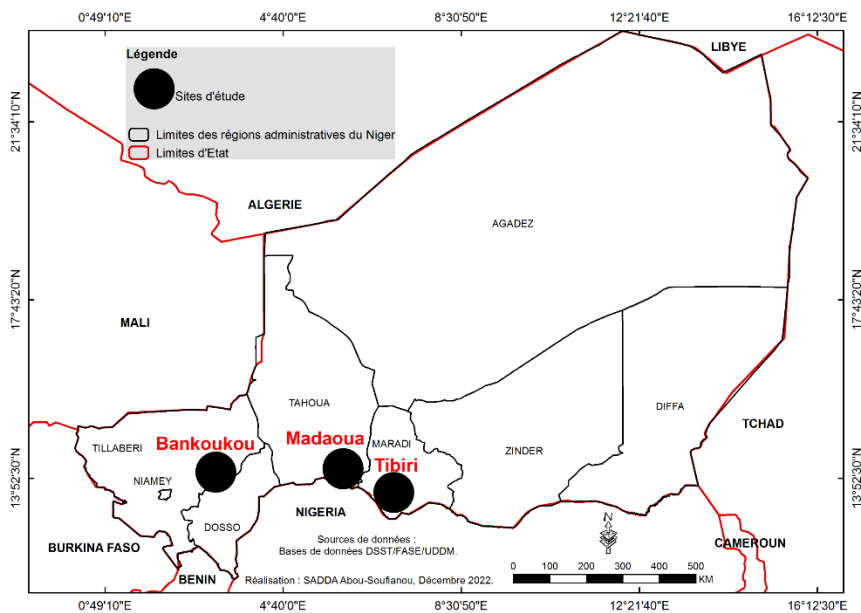


Fig. 1. Carte présentant les différentes localités concernées par l'étude

DSST: Département des Sciences du Sol et Télédétection;

FASE: Faculté d'Agronomie et des Sciences de l'Environnement;

UDDM: Université Dan Dicko Dankoulodo de Maradi.

D'autres informations présentant les communes zone d'étude sont résumées dans le tableau 1.

Tableau 1. Quelques caractéristiques des communes zone d'étude

Commune, zone d'étude	Superficie (Km ²)	Population (hbts)	Distance de Niamey (en Km)	Distance du chef-lieu de la région (en Km)	Coordonnées géographiques	Climat
Tibiri-Gobir	1.200	136.008	650	9	13°56'61" et 13° 33' 58" Lat N 7.05111 7° 3' 4" Long Est Altitude: 342 m	semi-aride, sec et chaud
Madaoua	722	127.254	505	200	5°45' et 6° 30' Long Est 13°40' et 14°20' Lat Nord	Sahélien, semi-arid
Bonkougou	506,06	49.027	140	253	03° 01' 16,26" et 03°19' 53,64" Long E 14° 09' 13,06" et 13° 51' 43.55" LatNord	Sahélien chaud et froid

2.2 ÉCHANTILLONNAGE ET COLLECTE DES DONNÉES

L'échantillon enquêté est constitué de 840 exploitants choisis au hasard dans les différents sites de production, de collecte, de stockage, de transport, de commercialisation et de transformation (si elle a lieu) des chefs-lieux des communes et certains villages administratifs de la zone d'étude. Le principal critère de choix de l'enquêté est que la personne soit obligatoirement un acteur sur la chaîne de valeur de l'une des trois (3) filières concernées à savoir tomate, chou et pomme de terre.

L'entretien s'est principalement déroulé en haoussa, langue de l'ethnie majoritaire dans ces zones et les principaux points abordés sont notifiés dans des fiches d'enquête préalablement élaborées. La contribution de la spéculation dans la consommation du ménage et le revenu annuel tiré par exploitant enquêté sera déterminé et des corrélations seront faites par rapport au prix des céréales pour assurer la sécurité alimentaire du ménage. Ces résultats permettront également de comparer la rentabilité de la production de la spéculation par rapport aux cultures traditionnelles céréalières.

La démarche méthodologique utilisée est d'abord l'approche chaîne de valeur où toutes les catégories d'acteurs intervenant sur toute la chaîne des filières concernées ont été impliquées et interviewés.

Au total 12 fiches de 6 pages chacune (en focus group) ont été administrées, soit une fiche par groupement, et 120 fiches individuelles (10 fiches par groupement). Les données collectées sont saisies sur Microsoft Access 2010 et exportées sur SPSS pour l'analyse descriptive des moyennes et des variances.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

L'étude s'est intéressée dans un premier temps aux données d'ordre général sur les personnes enquêtées, les spéculations impliquées et les sites concernés. Ainsi, le nombre d'habitants par localité de production, le nombre moyen de producteurs par localité de production, le niveau de production annuelle (t), la saisonnalité de la production, les principales variétés cultivées, l'état de la production, son importance et son utilisation, les fourchettes et moyennes par producteur de la superficie (ha) et de la production (t) et rendement moyen par producteur (t/ha) sont des données consignées dans l'article soumis pour publication (Gounga *et al.*, 2022).

3.1 CONSÉQUENCES DES PESTES POST RÉCOLTES

3.1.1 CONSÉQUENCES SOCIO-ÉCONOMIQUES/IMPACT SUR LE REVENU DU PRODUCTEUR

Sur le plan individuel, et quand le producteur est pris au centre de la préoccupation, les PPR ont des répercussions sur la génération de revenus du producteur causant ainsi un manque à gagner à sa famille. Ces conséquences affectent également la réduction de la pauvreté, de la faim et la nutrition (FAO, 2011; FAO, 2012; HCI3N, 2012; FAO, 2017).

Selon la FAO (2012), les pertes alimentaires sont révélatrices du dysfonctionnement et du mauvais rendement des filières alimentaires et elles constituent, par conséquent, une perte économique pour les opérateurs intervenant dans ces filières. Certaines filières sont aujourd'hui de plus en plus régionalisées ou même internationalisées. C'est l'exemple du chou produit à Madaoua, exporté directement et commercialisé sur les marchés de Lagos ou Abuja (source producteurs et exportateurs). C'est aussi l'exemple de la tomate produite à Doguéraoua (région de Tahoua) et exportée vers les marchés régionaux de

Bohicon, Parakou, Cotonou (Bénin) ou Lomé (Togo). La commercialisation de ces produits sur ces marchés régionaux ou internationaux peut avoir des conséquences sur la disponibilité et le prix d'autres denrées dans d'autres régions du monde.

Pour des raisons évoquées plus haut, les exportateurs de tomate de Doguéraoua enregistrent de fois des pertes énormes allant de 50 à 100%. Selon la FAO (2012), ces pertes élevées dues à une mauvaise gestion et à un manque d'infrastructures adaptées ont réduit les bénéfices économiques potentiellement permis par des rendements accrus, en particulier pour les petits agriculteurs, dont la plupart sont des femmes.

L'USAID dans son rapport de juillet 2013, « Réduire les pertes post-récolte pour sauver des vies », estime que la valeur monétaire de la nourriture perdue au niveau mondial dépasse les 14 milliards de dollars par an, soit l'équivalent des besoins alimentaires annuels minimaux d'au moins 48 millions de personnes. Alors que seulement 5% des dépenses en recherche agricole sont allouées à l'étude des pertes post récolte (Institut du Sahel, 2014).

3.1.2 CONSÉQUENCES DES PPR SUR LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE ET NUTRITIONNELLE DES MÉNAGES

Pour les trois spéculations concernées par cette étude, les producteurs étaient interrogés sur l'importance de la production dans la consommation alimentaire (fréquence et niveau de consommation) et la sécurité alimentaire pour les producteurs. Les conséquences des PPR sur la sécurité alimentaire et nutritionnelle sont liées (Yolou, 2019), non seulement à une dévalorisation marchande du produit, mais aussi à une diminution de la quantité de nourriture disponible pour le producteur; cette quantité de stock étant assurée grâce au revenu généré par la production annuelle de la spéculation concernée. La plupart des producteurs enquêtés affirment avoir assuré un stock d'au moins 6 mois après la vente de leurs produits. Ce qui n'est pas sans effet sur la sécurité alimentaire. Certains producteurs arrivent à stocker des vivres pour 6 mois dans l'année à la suite de vente de leur récolte, soit 50% du besoin alimentaire annuel assuré (producteurs de tomate). D'autres assurent 40% du stock alimentaire annuel avec le revenu de la pomme de terre alors qu'en moyenne 33% de besoin alimentaire annuel sont couverts par le revenu du chou selon ses producteurs.

En ce qui concerne l'importance de la production dans la consommation alimentaire des producteurs, ces derniers consomment avant tout leur propre production. Pour certains, le chou occupe le 1/3 de leur alimentation en moyenne et va jusqu'à une consommation de 2 à 3 fois par jour au moment de forte production. A Bonkougou, la plupart des femmes productrices du site de l'INRAN transforment la pomme de terre en farine destinée à la pâte dite communément two. Ceci augmente la part de la production dans la sécurité alimentaire. La part de la consommation de la tomate est visiblement la plus importante car beaucoup la consomment diversement 2 à 3 fois par jour.

Les PPR ne sont pas évidemment sans conséquence sur la sécurité alimentaire et nutritionnelle. Pour l'USAID (2013), ces pertes affectent la sécurité alimentaire d'un pays à travers la disponibilité, le niveau des prix et la qualité de la denrée, ainsi que son niveau de malnutrition et de pauvreté.

L'analyse des pertes liées aux 3 spéculations dans les communes ciblées révèle une part importante des pertes qualitatives comparées aux pertes quantitatives. Les pertes qualitatives peuvent entraîner une baisse des propriétés nutritives. Les denrées alimentaires de qualité médiocre peuvent, à leur tour, entraîner des effets malsains et négatifs sur la santé, le bien-être et la productivité du consommateur.

3.2 STRATÉGIES DE RÉDUCTION DES PERTES POST-RÉCOLTE DES CULTURES MARAÎCHÈRES

Selon les résultats de cette étude (Tableau 2) plusieurs mécanismes et techniques de réduction des PPR sont utilisés par les producteurs suivant la nature du produit (Kambou *et al.*, 2021).

La récolte doit être effectuée aussi soigneusement que possible pour minimiser les blessures mécaniques sur les produits tels que les rayures, les perforations et les contusions. Le moment de la journée où la récolte se fait affecte également la qualité des produits et la durée de conservation. En général, la récolte au cours de la période la plus fraîche de la journée (tôt le matin) est souhaitable; le produit n'est pas exposé à la chaleur du soleil et l'efficacité du travailleur s'en trouve élevée. Si la récolte ne peut être évitée pendant la partie la plus chaude de la journée, le produit doit être conservé à l'ombre dans le champ afin de minimiser une perte de poids et le flétrissement du produit.

Au niveau de la manutention, les dommages mécaniques provenant du terrain augmentent les attaques de ravageurs et les pertes physiologiques. Par conséquent, il faut éviter toute blessure mécanique du produit lors de la manutention. En raison de leur texture douce, la pomme de terre, le chou et la tomate doivent être traités avec douceur pour minimiser les meurtrissures et la rupture de la peau. Cette rupture stimule également la détérioration physiologique et la déshydratation. Réduire le nombre de fois où le produit est manipulé réduit l'étendue des dommages mécaniques.

Le tri systématique ou le classement associé à l'emballage et le stockage approprié, prolonge la conservation, maintien la salubrité, la fraîcheur et la qualité, et réduit considérablement les pertes et les coûts de commercialisation. Le tri est fait pour séparer les produits de bonne qualité des mauvais produits, et de les classer en fonction d'autres paramètres de qualité comme la taille.

Un emballage et un conditionnement appropriés sont essentiels pour maintenir la fraîcheur des produits maraîchers. L'emballage doit être conçu pour éviter la détérioration prématurée de la qualité du produit. L'idéal est d'utiliser des contenants propres, lisses et aérés pour l'emballage. C'est un facteur très important de réduction des pertes des cultures pendant la récolte, le stockage, le transport et la commercialisation (Affognon *et al.*, 2015; IFDC, 2016).

Tableau 2. Description des stratégies de réduction des pertes post-récolte aux différentes phases de la chaîne

Etapas dans le système alimentaire	Description de la stratégie		
	Pomme de terre	Chou	Tomate
Phase pré-récolte	<ul style="list-style-type: none"> - Très bonne préparation du sol - Bien choisir les semences - Bonnes pratiques culturales (BPC) - Renforcement de capacité en BPC - Recherche de déboucher avant la récolte - Utilisation de matériel adéquat de récolte - Humidifier la parcelle la veille 	<ul style="list-style-type: none"> - Acquisition de terrain propre et de main d'œuvre familiale - Choix de la bonne période de production et disposer des intrants et matériel de qualité - Choix de semences adaptées - Utilisation de bonnes pratiques culturales surtout les traitements phytosanitaires et bien arroser avant la coupe - Eviter de cultiver quand il fait chaud - Renforcement de capacité en BP culturales (éviter les engrais), Respect du calendrier cultural (éviter certaines périodes) - Utilisation de variétés résistantes - Arroser 2 à 3 jours avant la récolte 	<ul style="list-style-type: none"> - Bonnes pratiques culturales - Arrosage régulier et suffisamment et surtout à la veille de récolte - Utilisation adéquate de l'engrais - Suivi régulier de la production - Choix du stade de maturité - Utilisation des cultures intercalaires
Récolte	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation de main d'œuvre qualifiée - Utilisation des outils adéquats - Utilisation de bonnes pratiques de récolte - Séparer les catégories des tubercules à la récolte 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation de main d'œuvre qualifiée - Utilisation des outils adéquats - Bonnes pratiques de coupe - éviter la cassure des feuilles et récolter avant l'impact du coup de soleil - ne pas mélanger les bons produits des mauvais 	<ul style="list-style-type: none"> - Récolter à l'état semi mur dès le premier jour - Séparer les fruits sains des pourris - Eviter beaucoup de manipulation
Stockage/Conservation	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation de bonnes pratiques de conservation 	<ul style="list-style-type: none"> - Stocker à l'air libre sous l'ombre - Stocker dans un bon abri de conservation loin des ravageurs (insectes, rongeurs, animaux...) 	<ul style="list-style-type: none"> - Conditionner dans des paniers

<p>Transport vers les marchés</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Véhicule en bon état, diminuer le risque de tomber en panne - Bonne condition de transport - Conditionnement adéquat du produit - Choix judicieux de moyen de transport en fonction de la distance - Sacs pour conditionnement en bon état - Mains d'œuvre qualifiées pour le chargement déchargement - Eviter de brutaliser les emballages au chargement et déchargement - Vendre à la maison (éviter le transport) 	<ul style="list-style-type: none"> - Véhicule en bon état, diminuer le risque de tomber en panne - Bien choisir le produit à transporter - Effectuer le transport le matin - Ne pas exposer le produit au soleil - Ne pas enlever les feuilles et mettre à nu la pomme - Ne pas laisser le produit longtemps dans le sac - Transporter à la bonne période et avec un moyen sûr - Trouver son propre moyen de transport 	<ul style="list-style-type: none"> - Véhicule en bon état, diminuer le risque de tomber en panne - Véhicule adéquat pour le transport du produit - Aération, chargement déchargement adéquats - Bien trier et conditionner convenablement - Conditionner dans des paniers - Éviter le transport mixte - Renforcer le panier avec la paille - Vendre le produit au champ
<p>Vente proprement dite</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Faire un bon triage des pommes de terre à l'ensachage, avoir la certitude d'un déboucher - Avoir un bon acheteur, un acheteur honnête et correct - Eviter un mauvais triage, une casse des prix 	<ul style="list-style-type: none"> - Chercher de bons acheteurs et bien négocier - Chercher des lieux de vente appropriés - Entreposer dans un endroit frais et aéré - Eviter la période de grande production - Vendre le champ entier 	<ul style="list-style-type: none"> - Chercher et viser un bon acheteur - Garder le produit à l'abri du soleil et de la pluie - Casser le prix pour éviter la mévente - Faire un bon tri avant la vente - S'installer avec le produit dans un endroit bien aéré - Sécher le produit dégradé

Source: présente étude

Minimiser les pertes au cours de transport nécessite une attention particulière pour les véhicules, l'équipement, l'infrastructure et la manutention: charger et décharger avec soin les véhicules de transport; utiliser des véhicules propres et bien ventilés couverts par le dessus pour le transport; transporter les produits au cours de la période la plus fraîche de la journée en conduisant avec soin sur les routes lisses pour minimiser les dommages sur les produits. Les produits frais ne doivent pas être arrosés avant le chargement, cela peut conduire à la pourriture, à la décomposition, et à des pertes considérables. La principale cause de pertes est une mauvaise manipulation lors du chargement et au déchargement (Tomlins *et al.*, 2000).

Concernant le stockage, seulement les produits ayant une qualité initiale peuvent être stockés avec succès, il est donc essentiel de s'assurer que seuls les produits de la plus haute qualité (maturité, en bon état) sont stockés. Le chou et la tomate ne sont pas concernés par cette étape selon la pratique des producteurs touchés par cette investigation, contrairement à la pomme de terre. La durée de stockage peut être prolongée par le maintien d'un produit à sa température optimale, l'humidité relative et des conditions environnementales étant des facteurs limitants.

La transformation est une activité importante de la valeur ajoutée qui stabilise et diversifie l'approvisionnement alimentaire et crée l'emploi et des revenus. Elle peut réduire le problème de PPR des produits maraîchers. Les produits transformés sont aussi plus stables, ont une digestibilité améliorée, et permettent une meilleure diversité alimentaire, donnant aux consommateurs l'accès à un choix plus large de produits et un large éventail de vitamines et de minéraux. Quelques technologies de transformations répertoriées chez les producteurs sont le séchage de la tomate et, dans quelques rares cas, la transformation de la pomme de terre en farine.

En somme, pour ces produits maraîchers, la période de récolte et les techniques adaptées de stockage/conservation sont des facteurs déterminants de PPR. Changer la période de production, utiliser des bonnes pratiques culturales, se précipiter

pour écouler son produit et/ou casser le prix (Bancroft *et al.*, 1998; Ndunguru *et al.*, 1998; Mtunda *et al.*, 2001; FAO, PAM et FIDA, 2019) sont toutes fois des stratégies adoptées çà et là pour minimiser les pertes. Les stratégies, telles que proposées par les producteurs, sont présentées dans le tableau 3.

3.3 ACTIONS PROJÉTÉES OU RÉALISÉES POUR PRÉVENIR OU RÉDUIRE LES PERTES POST-RÉCOLTE

Les pertes post-récolte sont présentes tout le long de la chaîne alimentaire, de la production à la commercialisation, et même jusqu'à la consommation. De l'avis des acteurs intervenant sur toute la chaîne, aucune action d'envergure n'a été entreprise ou réalisée pour prévenir les PPR. Cependant, quelques initiatives non moins importantes ont été entreprises par les acteurs eux mêmes. Quelques groupements organisés de producteurs de tomate à Tibiri (Maradi) ont été appuyés par le Projet Petite Irrigation (PPI RUWANMU) dans le cadre de renforcement de capacité des producteurs locaux.

Tableau 3. Fréquence des stratégies d'adaptation utilisées pour limiter les pertes post-récolte

Etapas de la chaîne	Stratégies	Spéculations					
		Pomme de terre		Chou		Tomate	
		Fréq	%	Fréq	%	Fréq	%
Pré-récolte	Bien choisir les semences, semences résistantes	2	5,12	4	10	3	7,32
	Appliquer les bonnes pratiques culturales	30	76,8	23	57,5	36	87,84
Récolte	Utilisation de main d'œuvre qualifiée, spécialiste de récolte (du produit)	28	70	10	25,6	1	2,44
	Utilisation des outils adéquats	6	15,36	3	7,68	26	63,44
	Utilisation de bonnes pratiques de récolte	21	52,5	23	58,88	16	38,04
	Bien réussir l'opération de triage	4	10	1	2,56	13	31,72
	Eviter des manipulations inutiles	-	-	1	2,56	1	2,44
Conservation		6	15	1	2,56	2	4,88
Transport	Véhicule de transport en bon état	5	12,8	2	5	1	2,44
	Type et condition de transport adéquat (aération, temps de transport) y compris chargement et déchargement	12	30,72	21	52,5	17	41,48
	Produit à transporter est bien conditionné	15	38,4	16	40	22	53,68
	Eviter le transport mixte	-	-	-	-	1	2,44
	Eviter carrément le transport et vendre au champ	1	2,56	-	-	2	4,88
Commercialisation	Faire un bon triage pour éviter la mévente	17	43,52	1	2,5	2	4,88
	Trouver un bon acheteur, un client honnête et crédible et bien négociateur	16	40,96	1	2,5	3	7,32
	Produit bien conditionné et placé dans un bon endroit	-	-	27	67,5	10	24,4
	Eviter la période de grande production	-	-	2	5	-	-
	Écouler vite le produit en vendant au champ	3	7,68	6	15	4	9,76
	Pas d'intermédiaire	1	2,56	-	-	-	-

Ainsi, quelques techniques de conservation ont été développées au sein des champs écoles paysans (CEP). Les producteurs de chou ont bénéficié d'encadrement technique sur les bonnes pratiques culturales conformément aux analyses de la FAO, du PAM et du FIDA (2019). Des plaidoyers ont été faits çà et là auprès de la FAO pour l'installation d'usines de transformation

moderne de tomate et de pomme de terre. Pour la majorité des groupements enquêtés, c'est seulement le projet de la FAO, le TCP qui a abordé largement les questions des PPR.

4 CONCLUSION

Cette étude a permis d'évaluer l'impact des pertes post-récoltes sur les revenus des producteurs, leurs conséquences sur la sécurité alimentaire et nutritionnelle des ménages (SANM) et les stratégies d'adaptation des producteurs face à ces importants manques à gagner. Les PPR impactent sérieusement sur les revenus des agriculteurs en majorité des femmes avec une disparité des chiffres entre les spéculations traitées. Naturellement, la SANM subit les conséquences de cette dévalorisation marchande du produit entraînant une diminution de revenu censé assurer une quantité et une qualité de stock alimentaire du ménage par intervalle de temps, allant vers la période de soudure. Les stratégies d'atténuation des impacts des PPR et donc de résilience des agriculteurs victimes de ces pertes dépendent des étapes dans le système alimentaire, depuis la phase pré-récolte jusqu'à la vente avec le moindre détail. Il serait donc nécessaire d'investiguer les tenants et aboutissants des PPR au niveau du dernier maillon de la chaîne, c'est à dire les consommateurs.

REFERENCES

- [1] Affognon, H., Mutungi, C., Sanginga, P., and Borgemeister, C. (2015). Unpacking Postharvest Losses in Sub-Saharan Africa: A Meta-Analysis. *World Development*, 66, 49–68.
- [2] Ali Hamidou F. 2011. Impacts des activités maraîchères sur les revenus des producteurs au Niger: cas du site de Gamakallé. Master complémentaire en économie-sociologie rurales. Université catholique de Louvain, Université de Liège, Gembloux Agro bio tech.
- [3] Andres L. & Lebailly P. 2011. Peri-urban Agriculture: The Case of Market Gardening in Niamey, Niger. *African Review of Economics and Finance* 3 (1), 69-80 (accessible en version française: Université de Liège, Open Repository and Bibliography. <http://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/126098/1/Article%20Orl%C3%A9ans.pdf>
- [4] Bakary, K. 2019. « Femme et maraîchage: un mariage de bonheur », p.5. Repéré le 07 Novembre 2019 à <https://docplayer.fr/60540179-Un-mariage-de-bonheur-femme-et.html> à 16h34'.
- [5] Bancroft, R., Crentsil, D., Gray, A., Gallat, S., & Gogoe, S. (1998). The marketing system for fresh yams in Techiman, Ghana and associated postharvest losses. *Tropical Agriculture*, 75 (1/2), 115–119.
- [6] Bastin S. 2009. Diffusion du maraîchage féminin et grands espaces de mobilité dans la vallée du Niger. *Techniques & Culture, Des Choses, des gestes, des mots*, 51: 124-143. | 2009, mis en ligne le 11 juin 201. URL: <http://tc.revues.org/4668>
- [7] Bognini S., 2010. Cultures maraichères et sécurité alimentaire en milieu rural. Mémoire de Master II, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 48p.
- [8] Darrot, C., Pecqueur, B., Marie, M., Bodiguel, L., Saleilles, S., Buyck, J., Margetic, C., Delfosse C., Hochedez, C., et Guillemain, P. (2020). Comprendre les systèmes alimentaires urbains: flux alimentaires, systèmes d'acteurs et formes urbaines: Livret recherche du projet PSDR FRUGAL. [Rapport de recherche] UMR ESO, UMR PACTE, Terres en Villes., 229 p.
- [9] Djibo H. 2013 – L'agriculture urbaine et périurbaine: le maraîchage à Niamey (Niger). Thèse de socio-économie du développement. Paris, EHESS, 185 p.
- [10] FAO (2011). Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention. Rome; 37 p.
- [11] FAO (2012). Gaspillages dans le monde, ampleur, causes et prévention. Division des infrastructures rurales et des agro industries. 44 p.
- [12] FAO (2017). Réduction des Pertes Après Récolte des Fruits et Légumes dans les Pays de l'Asie du Sud. <http://www.fao.org/3/CA0271FR/ca0271fr.pdf>
- [13] FAO (2019). The State of Food and Agriculture 2019. Moving forward on food loss and waste reduction. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. <https://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf>
- [14] FAO, PAM, & FIDA (2019). Analyse des pertes alimentaires: causes et solutions. In Analyse des pertes alimentaires: causes et solutions. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. <https://doi.org/10.4060/ca7334fr>
- [15] Gardas B. B., Raut R. D., & Narkhede B. (2017). Modeling causal factors of post-harvesting losses in vegetable and fruit supply chain: An Indian perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 1355-1371. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.259>
- [16] Gounga, M. E. (2014). Diagnostique préliminaire sur les pertes poste récoltes de tomate, chou et pomme de terre. Rapport d'étude de Phase 1, FAO Niger, 23 p.
- [17] Gounga M. E., Issa Ado, R. et Boureima, S. 2022. Étude diagnostique et évaluation des pertes post-récolte de quelques produits maraîchers dans les zones phares de production au Niger. *International Journal of Innovation and Applied Studies* (In Press) ISSN: 2028-9324.

- [18] Hassane, R. 2015. La production de pomme de terre et recompositions socio-économiques dans l'Imanan, Niger. Thèse de Doctorat en Géographie. Université Toulouse le Mirail- Toulouse II. 292p. NNT: 2015TOU20139. tel-01511056. <https://theses.hal.science/tel-01511056>.
- [19] HCl3N (2012). Initiative "3N" pour la sécurité alimentaire et nutritionnelle et le développement agricole durables " Les Nigériens nourrissent les Nigériens". Cadre stratégique. 69 p.
- [20] HCl3N (2014). Plan d'accélération de la mise en œuvre de l'initiative 3N 2014 – 2015. Haut-Commissariat à l'initiative 3N. 2014. 82 p.
- [21] IFDC (2016). Manuel de formation innovant genre sensible sur les technologies post récolte. USAID, 298 p.
- [22] Institut du Sahel (2014). Etude prospective sur les pertes post-récoltes en Afrique de l'Ouest: Cas de quelques pays côtiers et du Sahel. *Rapport d'activités*. 44p.
- [23] Kader, A.A. (2005). Increasing food availability by reducing postharvest losses of fresh produce. *Acta Horticulture*, 682: 2169-2175.
- [24] Kader, A.A. (2010). Handling of Horticultural Perishables in Developing vs. Developed Countries. Proc. 6th International Postharvest Symposium Edited by M. Erkan and U. Aksoy *Acta Horticulture* 877, ISHS 2010
- [25] Kambou, S. F., Ilboudo, Z., Ouedraogo, D., & Sanon A. (2021). Évaluation des pertes post-récolte du mil et du sorgho dans les communes de Ziniaré et de Komki-Ipala (Burkina Faso). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 35 No. 1, pp. 63-71. ISSN 2028-9324. <http://www.ijias.issr-journals.org/>
- [26] Kirigia, D., Kasili, R., and Milbus, H. (2017). African Leafy Vegetables Pre-harvest and Post-harvest constrains and Technologies for losses reduction along the field to consumer chain. *African Journal of Horticultural Science*, 12: 51-60. ISSN 1998-9326. Available at: <<http://hakenya.net/ajhs/index.php/ajhs/article/view/185>>.
- [27] Kouame C., Batchep, R. et Kamga R. T. (2013). Evaluation des pertes post-récolte dans la chaîne de production et de commercialisation des légumes feuilles traditionnels à Yaoundé (Cameroun). *Agronomie Africaine*, 25 (1): 61 – 70.
- [28] Kouiyé G. J. 2020. Femmes, culture maraîchère et lutte contre la pauvreté dans la commune d'arrondissement de Ngaoundere 2 (Cameroun). *Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes*, Numéro Spécial Janvier 2020, 107-127. ISSN 2521-2125.
- [29] Luxereau A. 2015. Renaissance des potagers, naissance d'une profession: l'exemple de la ville de Niamey au Niger. *Revue d'ethnoécologie*, 8. 1-15.
- [30] MAG (2015). Résultats définitifs de l'enquête sur les produits horticoles 2013/2014. Direction de la Statistique Agricole. *Rapport d'activités*, 41 p.
- [31] MAG (2021). Rapport définitif de l'enquête sur les productions irriguées 2020-2021. Direction des Statistiques. 42 p.
- [32] MAEPB (2012). Capitalisation des expériences de promotion de la filière tomate dans la commune de Klouekanme. Ministère de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche du Bénin. *Rapport définitif*, 79 p.
- [33] Maheshwar, C. and Chanakya, T.S. (2006). Postharvest losses due to gaps in cold chain in India - a solution. *Acta Horticulture* 712: 777-783.
- [34] Mtunda, K., Chilosa, D., Rwiza, E., Kilima, M., Kiozya, H., and Munisi, R. (2001). Damage reduces shelf-life of sweet potato during marketing. *African Crop Science Journal*, 9 (1), 301–307.
- [35] Naika, S. Lidt de Jeude, J., De Goffau, M., Hilmi, M., Van Dam, B. (2020) La culture de la tomate production, transformation et commercialisation. CTA, Wageningen. 105p. ISBN 92-9081-300-8
- [36] ST-Pierre, J. L. 2022. Contribution au maraîchage périurbain par l'analyse de la production maraîchère dans la commune de Kenscoff (Haïti): cas de la section communale de Grand Fond. Master de spécialisation en production intégrée et préservation des ressources naturelles. Université de Liège. 60p. <http://hdl.handle.net/2268.2/16318>.
- [37] Tomlins, K. I., Ndunguru, G. T., Rwiza, E., and Westby, A. (2000). Postharvest handling, transport and quality of sweet potato in Tanzania. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 75 (5), 586–590.
- [38] USAID (2013). Réduire les pertes post-récolte pour sauver des vies. Département d'Etat des Etats-Unis, Bureau des programmes d'information internationale.
- [39] Yolou I. (2019). Risques de pertes post-récoltes et modes endogènes de conservation des produits maraîchers à Parakou (nord du Bénin). *Revue Espace Géographique et Société Marocaine*, 27, 209-227.

Soil characterization and potentiality to improve two Bambara groundnut varieties cropping under rock phosphate fertilization at sudano-sahelian climate of Burkina Faso

Koulibi Fidèle Zongo¹, Hervé Nandkangre¹, Daouda Guebre², Abdramane Sanon³, Diane Judicaëlle Kambou⁴, Paligwendé Kabore¹, Adjima Ouoba², Edmond Hien⁴, and Mahama Ouedraogo⁵

¹Centre Universitaire de Tenkodogo, Université Thomas SANKARA, 12 BP 417, Ouagadougou, Burkina Faso

²Centre Universitaire de Ziniaré, Université Joseph KI-ZERBO, 03 BP 7021, Ouagadougou, Burkina Faso

³Laboratoire d'Etude et de Recherche sur la Fertilité des Sols, Institut de Développement Rural, Université Nazi Boni, BP 1091, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

⁴Unité de formation et de recherche en sciences de la vie et de la terre, Université Joseph KI-ZERBO, 03 BP 7021 Ouagadougou, Burkina Faso

⁵Département Productions Végétales, Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), 04 BP 8645 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: Bambara groundnut is a food seed legume with enormous agronomic and nutritional potential. However, it remains a neglected crop. In order to improve its productivity in relation to soil and climatic conditions, the present study was conducted in Tenkodogo from July to October 2021. Soil characterization was carried out according to FAO guidelines directives before the setting up of experimental device. Experimental design consisted of the trial following a completely randomized block design with four replications. The effects of applying of 0 (BPO), 30 (BP30), 60 (BP60), 90 (BP90) and 120 (BP120) kg ha⁻¹ of Burkina phosphate (BP) on two varieties KVS246 and KVS 235 of Bambara groundnut were compared. Crop management consisted of a flat plowing, direct application of BP, sowing distances of 0.40 m x 0.20 m and ridging on the 49th day after sowing. Results showed that the soil of experimental site are an iron and manganese sesquioxide's soils class, specifically to shallow leached ferruginous tropical soil and should corresponding an endo petroplinthic lixisol. This acidic soil is characterized by a sandy surface texture and clay at depth, well drained, with low mineral content. In reference to the research results, the soil and climatic conditions of experimental site are potentially suitable for Bambara groundnut cropping. Treatments not significantly improved Bambara groundnut yields by varieties. On this soil, the variety KVS 246 would better interact with applying of 60 and 90 kg ha⁻¹ of BP and the variety KVS 235 with 120 kg ha⁻¹ of BP to improve Bambara groundnut yield parameters compared to the control. Further research is needed over several years to better understand the effects of rock phosphate on Bambara groundnut crop and residual soil fertility.

KEYWORDS: Soil characterization, potentiality, Burkina phosphate, Bambara groundnut, yields, Burkina Faso.

1 INTRODUCTION

Agriculture in Sub-Saharan Africa remains highly dependent on natural resources, including soil fertility, which severely constrains crop yields. Declining soil fertility is a serious problem across Sub-Saharan Africa, and a persistent constraint to agricultural production especially in low potential areas, thus posing a main threat to food security and rural livelihoods ([1], [2]). Reports that more 40% of soils in Sub-Saharan Africa exhibit nutrient depletion ([3], [2]). Sanchez ([4]), reports that average annual nutrient depletion rates in 37 Africa countries of 22 kg N ha⁻¹; 2.5 kg P ha⁻¹; and 15 kg K ha⁻¹. This agriculture is dominated by the production of cereals such as maize, rice, sorghum and millet for staple food. To this must be added the legume crops dominated by cowpeas, groundnuts and Bambara groundnut.

Bambara groundnut (*Vigna subterranea* [L] Verdc.) represents the third most important food legume in Sub-Saharan after cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) and groundnut (*Arachis hypogaea* L.) ([5], [6], [7]). It contains about 55.5 – 70.0% carbohydrate; 4–12% lipids, 3–5% ash, 362–414 kcal 100 g⁻¹ metabolizable energy; 17–24% protein 3–12% fiber; 4.9–48 mg 100⁻¹ g iron (Fe); 11.44–19.35 mg 100 g⁻¹ potassium (K); 2.9–12.0 mg 100 g⁻¹ sodium (Na); 95.8–99.0 mg 100 g⁻¹ calcium (Ca) ([8], [9]) hence its importance in food and

nutritional needs. Bambara groundnut is underutilized compared with major cash crops and has often been associated with small-scale, subsistence farming, with women being the major producers and processors ([10]). In addition to these qualities, it has an ability to resist pest and diseases and can thrive in poor soils ([11]). Bambara groundnut is also a legume crop that fixes atmospheric nitrogen for its growth. It fixes 20 – 100 kg N ha⁻¹ ([12]) and improves soil nutrient status, especially nitrogen status, as a result of its nodulation process which traps nitrogen from atmosphere. Bambara groundnut can contribute to improve soil fertility through several mechanisms and processes, which would correlatively increase the yields of the crops *in situ* and subsequent. In the degraded and low fertility soil, Bambara groundnut can get better in the characteristics of soil and also a good source of N, P and K for the plant ([13]). It could be used to promote sustainable agriculture in a context of climate change, marked by poor soils and insufficient rainfall, and farmer's resilience. Despite their importance, legume yields on smallholder farms remain far below their potential, largely because the crops are grown on poor soils without adding fertilizer ([14]). Declining soil fertility, erosion, drought and a low rate of use of chemical fertilizers allowing only low harvests.

Bambara groundnut such as other legumes has a high P requirement (20 – 60 kg P₂O₅ ha⁻¹) which is essential due to higher ATP requirements for nitrogenase activity, nodule development, and function ([15]) and its deficiency limits the performance of the crop ([16]). In fact, legumes are highly sensitive to P deficient due to its role in nodulation, biological N₂ fixation and energy reactions ([17], [18], [19]). However, Phosphorus (P) is one of the most essential elements for crop production in many tropical soils. Many tropical soils are inherently deficient in P that can be so acute in some soils of the Savanna zone of Western Africa resulting in cessation of plant growth as soon as the P stored in the seed is exhausted ([20]). Low P is due to reduced native P, nutrient depletion due to mining and the increasing P-adsorption capacity of aluminium (Al), Manganese (Mn) and iron (Fe) oxides in the soils ([21]).

In Burkina Faso, national production of Bambara groundnut was increased from 2007 to 2020 ([22]). The lowest production was recorded at 37605 t in 2007 and the highest at 74647 t in 2020. A lack of technology support limits the productivity of Bambara groundnut in the smallholders farming with mean of yields of 941 kg ha⁻¹ ([23]). These yields remain lower than the estimated potential of more than 3000 kg per hectare ([8]). Lowest yields of Bambara groundnut are due to phosphorus deficiency especially in acidic soils ([24]). This research was conducted in this way to characterize the soil and determine their specific performance under rock phosphate fertilization for Bambara groundnut cropping.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 EXPERIMENTAL SITE

This study was carried out an experimental field of Tenkodogo University Center (11°48'37"N; 0°22'19"W) located in East-center region of Burkina Faso. Climate is Sudano-sahelian characterized by annual rainfall between 600 - 900 mm. Average minimum temperature is around 33 °C and maximum temperature can reach 41 °C (Figure 1). Insolation is 7 – 8 h day⁻¹ with low humidity. In 2021, 52.2 mm of rainfall (May) was recorded against 249.5 mm (August); Temperature was ranged from 26°C (August) to 31°C (May) (Figure 1). A strong annual rainfall was observed in June, July and August.

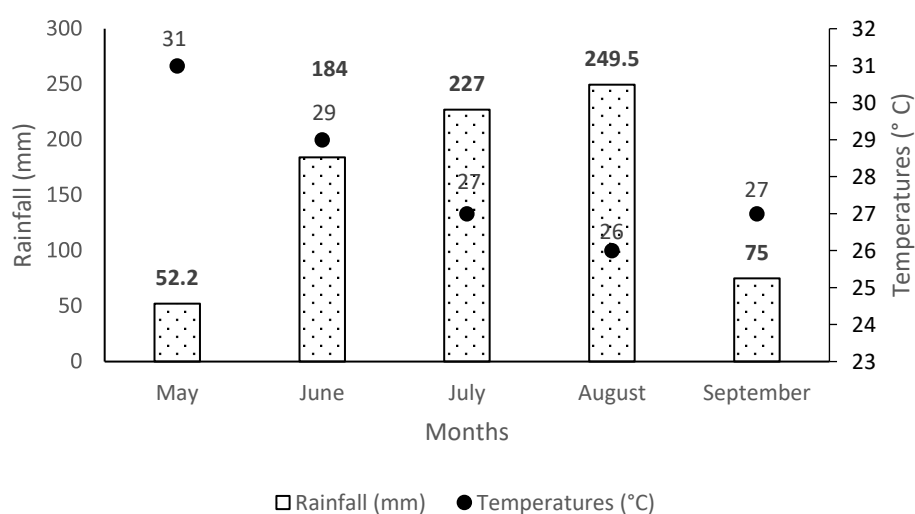


Fig. 1. Average rainfall and temperature of experimental site

Data source: Centre-Est meteorological station in 2021

2.2 PLANT MATERIAL AND FERTILIZER

Plant material of our study consisted of two Bambara groundnut varieties KVS235 and KVS246, respectively a cream-colored line variety and a cream-colored population variety with black markings selected in Institute of Environment and Agricultural Research of Burkina Faso (INERA). The cycle of both varieties is 90 days. The fertilizer used is a natural rock phosphate finely grinded (Burkina Phosphate "BP"). According to Mining society of the Phosphates of Burkina Faso, the characteristics of BP was in %: 28.35 (P₂O₅); 42.79 (CaO, Lime); 18.52 (SiO₂); 1.75 (Fe₂O₃); 3.09 (Al₂O₃); 0.31 (MgO); 0.03 (MnO); 0.48 (K₂O); 0.22 (Na₂O); 0.27 (TiO); 5.40 (loss on fire); 0.03 (water solubility).

2.3 EXPERIMENTAL DESIGN AND TREATMENTS

Experimental design used for the study was a completely randomized block design with four replications. It consisted of four blocks arranged along the length of the slope of the land. The dimensions of the design were 15.8 m long and 13.2 m large. In total, there were ten elementary plots of 1.2 m wide and 2 m long each. Interval between elementary plot was 0.8 m and blocks were separated by 1 m alley. Two factors were applied to each block: variety and Burkina Phosphate (BP). The treatments were composed of a combination of two varieties of Bambara groundnut (KVS 235, KVS 246), and five level of fertilization consisting of 0 (BP0), 30 (BP30), 60 (BP60), 90 (BP90) and 120 (BP120) kg ha⁻¹ of Burkina Phosphate.

2.4 PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERIZATION OF THE SOIL

The soil of experimental site has consisted to digging of a pedological pit. Soil and their environment were described according to the FAO soil description guidelines ([25]) and classified according to the French classification ([26]). A correlation with the World Reference Base ([27]) was also proposed. Soil samples were collected by layers, air-dried and sieved to 2 mm for analysis. Soil layers particles sizes was measured by Pipette Robinson method at 3 fractions. pH was determined by AFNOR method ([28]). Total carbon content is determined by the Walkley and Black ([29]) method. The determination of the total carbon permits to calculate total organic matter rate. Total nitrogen, phosphorus and potassium by KJELDAHL method ([30]).

2.5 FIELD MANAGEMENT

Seedbed preparation consisted of a plane tillage with a disc harrow connected to a tractor. Doses of Burkina phosphate (BP) were applied as a basic manure at Sowing (spreading and burying method). Sowing was carried out on July 7, 2021 and was done at one seed per hole. Spacing of sowing was 40 cm between the line and 20 cm between hole at same line. Two manual weeding were carried out respectively on the 15th and 30th day after sowing (DAS) to reduce the competition between crop and weeds for soil resource. A mounding was carried out manually on the 49th DAS in all elementary plots. The aim was to favor the burying of young pods in formation and their development. Phytosanitary treatment was not applied.

2.6 DATA COLLECTION

Data were collected according to two treatments (BP fertilization and varieties). Data was considered about yield-related traits of Bambara groundnut. The emergence rate at 21 DAS (EMG21) of the percentage of Bambara groundnut plants that emerged per plot (treatment and variety). Plant height (PIH) and spread width (PIS) in cm consisted of measuring the crown heights and widths of 5 plants per treatment at 70 DAS. Assessment of nodule numbers (NN) and nodules dry weight (NDW) in mg and Plant dry weight at flowering stage (PDWf) in g consisted of careful digging of 3 Bambara groundnut plants per unit plot at the stage when 50% of the plants had emitted their first flower. The nodules were detached, counted and dried in filter papers and plant biomass at flowering (shoot and root biomass) was sun-dried. At maturity, plant biomass (shoot and root biomass) and pods per unit plot were harvested, sun-dried for three (03) weeks and weighed. The harvest yields in t ha⁻¹ of plant dry weight (PDWh), pods (PY) and seeds (SY) of Bambara groundnut were evaluated. Pod length (PLen) and width (PWid) in mm of 10 randomly selected were measured with a caliper. The length (SLen) and width (SWid) in mm of the 10 seeds corresponding to these pods were also measured. All dry measurements were done by ensuring that each sample had a constant weight.

2.7 STATISTICAL ANALYSIS

Statistical analysis of data including analysis of variance (ANOVA) and comparison of means was performed using XLSTAT 2021 4.1 (ADDINSOFT, 2021). ANOVA was used to detect varieties, treatments, and their interactions effects while Tukey's test was used to compare means at 5% significance threshold. Principal component analysis (PCA) was performed to show the relationship of Bambara groundnut yields parameters and interactive between varieties and treatments with Pearson correlation.

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 RESULTS

3.1.1 PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF EXPERIMENTAL SITE SOIL

The characterization of environment of experimental site soil showed that it belongs to a savanna park with *Azadirachta indica*, *Eucalyptus camendulensis*, *Lanea microcarpa*, *Vitellaria paradoxa*, *Diospyros mespiliformis*. The herbaceous carpet is mainly composed of *Senna obtusifolia*, *Hibiscus Esculantus*. The environment is highly anthropized with a low slope (< 1%) and a quasi-flat topography.

The physical properties of the soil in the trial showed that it consists of 2 layers supported on a ferruginous shell (plinthite) of layer 3 (Figure 2). The surface layer (layer 1) is 0 - 16 cm depth. The soil texture at the experimental site was sandy, with sand, silt and clay contents of 86.5 and 10% by volume (Table 1). Its dry color of pink (5YR7/4) and moist of strong brown (7.5YR5/8). The structure is particle and friable. This layer has very numerous and small pores, very small and very many roots. Biological activity is well developed with excessive to perfect drainage. The succession with layer 2 is irregular. Layer 2 was 16-36 cm depth. The texture was sandy-clay, by sand, silt and clay contents of 50, 10 and 40% by volume (Table 1) with a dry color of yellowish red (5YR5/6) and moist of strong brown (7.5YR5/6). The structure of this layer is few massive, polyhedral sub-structure with the presence of about 30% of ferruginous nodules. This layer has a low hardness. We note the presence of many medium and large pores with numerous roots. Drainage is perfect and limited by the plinthite of layer 3 (Figure 2).

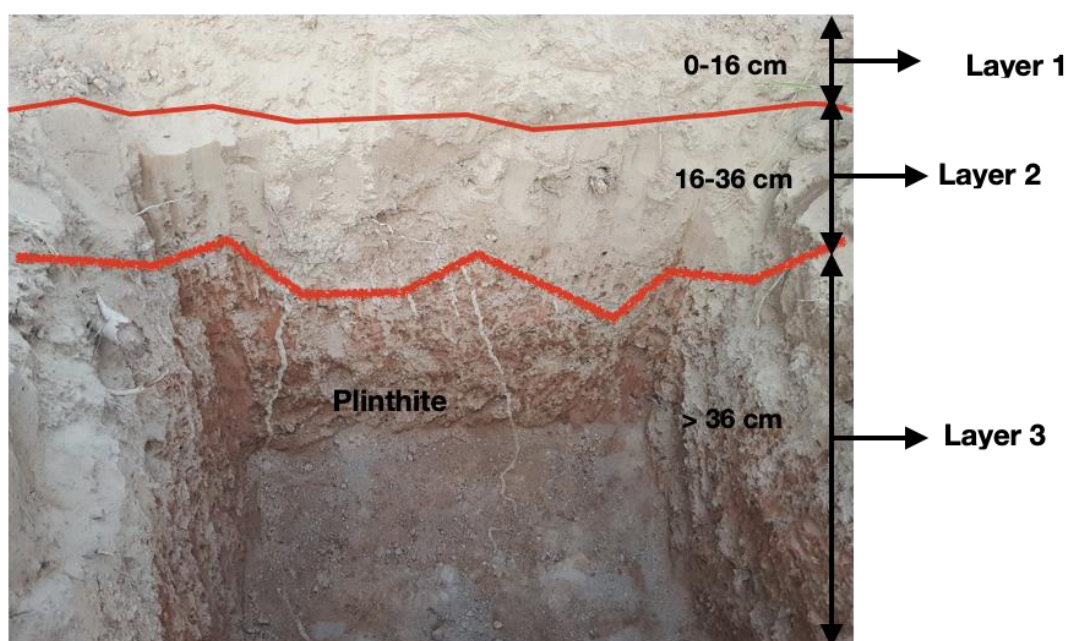


Fig. 2. Profile of experimental site soil

The particle size, texture, contents of totals organic matter, carbon, nitrogen, phosphorus, pH (H₂O) and KCl of experimental site soil are recorded in Table 1. Total organic matter, carbon, nitrogen and phosphorus of 2 layers was slightly different. The soils at the experimental site are acidic with a slight accentuation in the 10-30 cm depth layer compared to the 0 - 10 cm depth layer. The potassium content is about 2 times higher in the lower layer (10 - 36 cm depth) compared to the upper layer (0 - 10 cm depth).

Table 1. Physical and chemical properties of the soil of experimental site

Property	Value obtained	
Soil layer (cm)	0-10	10-36
Sand (%)	86	50
Silt (%)	5	10
Clay (%)	10	40
Soil textural class	Sand	Sandy-Clay
Total Organic Matter (%)	0.38	0.42
Total Carbon (%)	0.22	0.24
Total Nitrogen (%)	0,02	0.02
C/N	11	14
Total Phosphorus (mg Kg ⁻¹)	218.40	273,00
Total potassium (mg Kg ⁻¹)	544.11	1165,96
pH (H ₂ O) (W/V: 1/2.5)	5.81	5.53
pH (KCl) (W/V: 1/2.5)	5.39	5.30

3.1.2 EFFECTS OF TREATMENTS ON THE YIELD-RELATED TRAITS OF BAMBARA GROUNDNUT

OVERALL EFFECTS OF TREATMENTS

In table 2, mean values of emergence rate at 21 days after sowing (EMG21), plant height (PIH) and Plant spread (PIS); pod length (PLen) and width (PWid); and seed length (SLen) and width (SWid); number (NN) and dry weight (NDW) of nodules; Plant weight at flowering stage (PWf); Plant weight (PDWh), pods (PY) and seed yields (SY) at harvest stage were not significantly affected by all treatments. BP120 and BP60 performed better the PWid by 13% compared to control BP0 (Table 3). BP120, BP90, BP60 improved PDWf by 7, 9 and 8% respectively compared to the control. An increase of 10% of PDWh was recorded under BP30 compared to the control. Except BP90 that increased NN by 8%, all other BP treatments negatively affected NN compared to the control. All BP treatments induced a depressive effect on NDW, PY and SY of Bambara groundnut compared to the control. PIS, PLen, PWid, SLen, SWid was increased under all BP treatments compared to control.

EFFECTS OF TREATMENTS PER VARIETIES

The yield-related traits of Bambara groundnut by variety were not significantly different under treatments (Table 2). The results showed that compared to the control BP0, the highest performance for the KVS246 variety at 27% of PWid under BP60; 38% of NN and 37% of NDW under BP90; 14% of PDWf under BP90; 32% of PDWf under BP30; 5% of SY under BP120 was obtained. PLen, SLen, PDWf and PDWf was increased by all BP treatments compared to control under KVS246. Better performance for KVS 235 was increasing of 12% of EMG21 and 18% of PWid; 26% of NN under BP120; 9% of PDWf under BP60 and BP90 respectively; 5% of PY and 4% of SY under BP30 compared to BP0. PIS was increased by all BP treatments compared to the control under KVS235.

INTERACTIVE EFFECTS BETWEEN TREATMENTS AND VARIETIES

Mean values of yields-related traits of Bambara groundnut did not significantly affect by interactions between varieties and treatments (Table 2). Comparing the effects of the same treatment following to the 2 varieties, KVS246 was better performed by increasing 13% of EMG21; 11% of PIH; 43% of NN; 48 of NDW; 16% of PY; 15 % of SY under BP90; 9% of PIS under BP 0; 27% of PWid under BP 60; 4% of SLen and SWid under BP120 compared to KVS235. BP90 had positive effect on all yields-related traits with KVS246 variety compared to KVS235. PIH, PIS, PDWf of KVS246 variety was increased under all treatments compared to KVS235. The variety KVS235 performed better than KVS246 by increasing 8 % of EMG21; 18% of PWid; 133% of NN; 45% of NDW under BP120; 15% of PY; 20% of SY under BP30; 48% of NDW; 51% of PDWh under BP0.

Table 2. Effects of treatments and their interaction between varieties on the yield-related traits of Bambara groundnut

Yield-related traits	EMG21	PIH	PIS	PLen	PWid	SLen	SWid	NN	NDW	PDWf	PDWh	PY	SY
	(%)	cm		mm				mg	g	t ha ⁻¹			
Overall effects of treatments													
BP120	91	20,18	41.55	15.23	13.74	10.33	8.94	28.38	186.00	22.62	2.78	2.78	2.14
BP90	83	21.03	42.45	15.50	12.43	10.57	9.09	31.88	201.01	23.13	2.73	2.51	1.92
BP60	88	20.80	40.89	15.13	12.09	10.25	8.72	28.25	177.28	22.88	2.75	2.75	2.12
BP30	88	20.35	40.78	15.14	13.74	10.39	8.70	26.29	156.39	21.00	3.32	2.74	2.06
BPO	87	21.23	40.68	14.98	12.01	10.24	8.68	29.25	218.88	21.00	2.98	2.91	2.19
P	0.40	0.33	0.80	0.26	0.53	0.30	0.06	0.99	0.86	0.63	0.48	0.66	0.68
Significance	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Effect per varieties													
<i>KVS 246</i>													
BP120	88	20.75	42.00	15.64	12.62	10.57	9.13	18.75	160.63	23.25	2.92	2.94	2.23
BP90	88	22.25	43.50	15.78	12.73	10.69	9.08	42,00	281.90	24.67	2.81	2.70	2.08
BP60	92	21.00	42.67	15.48	16.62	10.60	8.65	26.75	170.20	23.00	2.73	2.73	2.05
BP30	85	21.25	41.50	15.22	12.16	10.39	8.68	27,00	158.98	22.00	3.51	2.65	1.97
BPO	88	22.00	41.75	15.05	12.16	10.26	8.63	26.25	176.65	21.25	2.37	2.94	2.13
P	0.62	0.71	0.92	0.14	0.22	0.52	0.09	0.63	0.61	0.83	0.38	0.92	0.93
Significance	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<i>KVS 235</i>													
BP120	95	19.60	41.10	14.81	14.86	10.10	8.75	43.67	233.27	21.33	2.50	2.65	2.10
BP90	77	19.80	41.40	15.21	12.14	10.46	9.10	24,00	145.40	22.75	2.70	2.27	1.76
BP60	85	20.20	40.30	15.04	12.06	10.33	8.78	29.75	184.35	22.75	2.81	2.77	2.20
BP30	90	20.65	40.80	15.24	12.16	10.37	8.82	20.50	121.38	20.00	3.25	3.04	2.36
BPO	83	20.07	38.20	14.99	12.12	10.41	8.95	32.25	261.10	20.75	3.59	2.88	2.26
P	0.26	0.80	0.70	0.55	0.52	0.59	0,48	0.71	0.52	0.75	0.18	0.38	0.38
Significance	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Interactive effect between treatments and varieties													
P	0.43	0.43	0.30	0.94	0.07	0.43	0.59	0.85	0.71	0.72	0.29	0.73	0.70
Significance	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

0 (BPO), 30 (BP30), 60 (BP60), 90 (BP90) and 120 (BP120) kg ha⁻¹ of Burkina Phosphate. EMG21: emergence rate at 21 days after sowing; PIH: plant heights; PIS: plant spread; PLen: pod lengths; PWid: pod widths; SLen: seed lengths; SWid: seed widths; NDN: nodule number; NDW: nodule dry weight; PDWf: Plant dry weight at flowering stage; PDWh: yields of Plant dry weight at harvest; PY: pod yields; SY: seed yields. P = Probability according to ANOVA at 5% level of significance. P ≥0.05: No significant (NS).

3.1.3 PCA BETWEEN INTERACTIVE OF VARIETIES AND TREATMENTS ON THE YIELD-RELATED TRAITS OF BAMBARA GROUNDNUT YIELDS

The results of principal component analysis (PCA) showed that the two dimensions (axis F1; axis F2) contribute to explain 56.36 % of data variance (Figure 2). Variables of EMG21, SLen, NN, NDW, PDWf, NN of Bambara groundnut are positively correlated of dim 1 with R² of 0.39; 0.65; 0.80; 0.51; 0.36; 0,80 respectively. Interactions between varieties and treatments KVS 246*BP60 (R²=0.76) and KVS 235*BP120 (R²= 0.55) were also highly and positively correlated to axis F1, but negatively to KVS 246*BP30 (R²= 0.75). Axis F2 was positively and highly correlated by PLen, PWid, SWid at respectively R²= 0.74; 0.76; 0.87 and KVS 246*BP90 (R²= 0.56) but negatively to KVS 235*BPO (R²= 0.55).

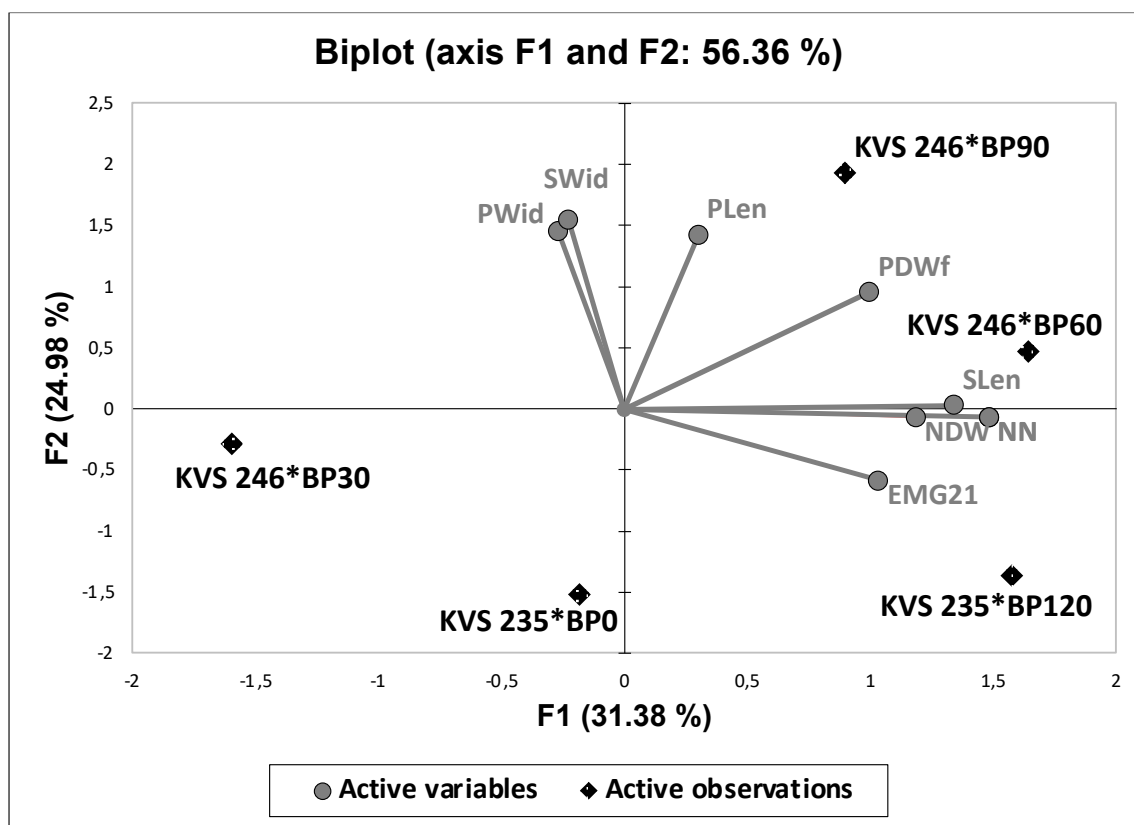


Fig. 3. Principal component analysis between the yield-related traits of Bambara groundnut and interactive of varieties and treatments

0 (BP0), 30 (BP30), 60 (BP60), 90 (BP90) and 120 (BP120) kg ha⁻¹ of Burkina Phosphate. EMG21: emergence rate at 21 days after sowing; PIH: plant heights; PIS: plant spread; PLen: pod lengths; PWis: pod widths; SLen: seed lengths; SWid: seed widths; NDN: nodule number; NDW: nodule dry weight; PDWf: Plant dry weight at flowering stage; PDWh: yields of Plant dry weight at harvest; PY: pod yields; SY: seed yields.

4 DISCUSSION

This soil belongs to the iron and manganese sesquioxides soils class and specifically to shallow leached ferruginous tropical soil according to the French classification ([26]). Based on equipotentiality's, this soil would correspond to an endo petroplinthic lixisol according to World Reference base of soil classification ([27]). These ferruginous tropical soils are characterized by a sandy, low in organic matter and base exchange capacity ([31]). Soil of experimental site is acidic and their total carbon, nitrogen, phosphorus and potassium are low according to interpretation standards of Burkina Faso National Soil Office ([32]). The sandy to sandy-clay texture and the well-drained of this soil prevent clogging and promotes pod penetration soil. This texture makes it potentially suitable for Bambara groundnut cropping. Sandy soils with light textured are the best for the production of Bambara groundnut and the optimal depth of the soil recommended is between 50 and 100 cm ([33]). However, it can grow on sandy-to-sandy loam and well-drained soil ([34]) and which make it easier to harvest ([35]). The ideal soil pH range for cropping is 5.0 to 6.5 ([34], [8]) and should not be less than 4.3 or greater than 7 ([35]). Also, Bambara groundnut can meet its nitrogen requirement from N₂ fixation and soil mineral N, and there is no need for supplementary mineral N fertilizer. Nitrogen requirement is provided by natural N₂ fixation with nitrogen-fixing bacteria belonging to the genus *Rhizobium* ([36]). High nitrogen level mostly leads to few pods production ([37]). Also, acidification of the rhizospheric soil of legumes as a result of H₃O⁺ proton excretion in response to its nitrogen-fixing activity ([38], [39]) results in an increase in the organic phosphorus pool that can lead to its phyto-availability. These soils under tropical and sub-tropical climates are often extremely P deficient with high P fixation as mostly acidic ([40], [41]). Phosphorus is deficient because soluble inorganic P is fixed by Al and Fe (Adnan *et al.*, 2003 [42]). Phosphorus availability is maximized at pH 6.5 for mineral soils and pH 5.5 for organic soils ([43]). To reduce P fixation, it is necessary to apply large amounts of P fertilizer (rocks phosphate and Triple Superphosphate) and lime to saturate Al and Fe ions and increase the soil pH ([44]). In case of K, K⁺ ions are entrapped by clay minerals is the fixation or immobilization that should be explained the high content of K under layer 2 with sandy-clay texture compared to layer 1 with sandy texture in experimental site soil. The availability of K depends upon the exchangeable K in soils and its release is facilitated by pH above 6.0, texture, and soil moisture ([45]). Soil K status is dynamic and determined by a number of factors such as soil texture, mineralogy, temperature, and pH ([46]). Moreover, the day temperature of 30 to 35 °C is considered as the optimum temperature for the growth of Bambara groundnut and also germination is being reduced at 15 °C below and 40 °C above ([8]). Under the full sun, 20 to 28 °C is the average day temperature and

also 600 to 750 mm is the average annual rainfall is optimum condition for cultivating Bambara groundnut but higher rainfall than optimum level results better yield ([8]). In comparison, climate of experimental site with annual rainfall between 600 and 900 mm and temperature around 33 °C to 41 °C is adapted for Bambara groundnut cropping. The analysis and interpretation of physical and chemical properties of soil and climate of experimental site shows that it has pedo-climatic potentially for Bambara groundnut cropping after supply phosphorus.

The production of Bambara groundnut on this soil with a sandy surface texture and a sandy-clay depth shows that the Burkina phosphate treatments (BP30, BP90 and BP120) performed overall in increasing several yields-related traits compared to the control (BP0), although there is not significant effect between the different doses of BP applied. A glasshouse experiment using sandy clay loam soil and conducted in Malaysia showed that applying of 30 kg N ha⁻¹ and P 60 kg P ha⁻¹ increased highly plant height (21.73 cm), leaves number (265.50) and leaf area (2802.9 cm²) number of pod (41.75) and pod weight (49.68 g) of Bambara groundnut compare to control ([47]). Thus, these applications have increased the growth parameters, yield, nodulation, and nutritional composition of Bambara groundnut. Use of phosphate rocks, has been also reported to increase crop yields though their reaction is slow in releasing available P ([48], [49]). Except BP30 treatment, all treatments had a depressive effect on plant height compared to control BP0. It showed that phosphorus discriminated most traits of Bambara groundnut except plant height. Also, all Burkina phosphate treatments had a depressive effect on nodulation (nodule numbers and dry weight), pod and seed yields of Bambara groundnut compared to control, excepted BP90 that increase nodule numbers. This shows that phosphate applying did not have a positive effect on these yields-related traits regardless of the varieties. According to a part of results, Bambara groundnut at 0 kg P ha⁻¹ had a significantly higher number of nodules (1.50 ± 0.93) compared to the 0.23 ± 0.37 nodules recorded at 25 kg P₂O₅ ha⁻¹ in Kenya ([50]). Bambara groundnut varieties yields-related traits were not significantly affected by any treatments. These varieties were not sensitive to the different doses of rock phosphorus applied but instead to the soil conditions of production. Interactions between phosphorus doses and varieties on yields-related traits also revealed no significant effect. These results are an accordance with those obtained by ([51]). They showed that yields of Bambara groundnut were not significantly affected by applying at sowing of P₂O₅ (0, 45, 60 and 75 kg ha⁻¹) on sandy loam soil texture in south eastern of Nigeria. Principal component analysis showed that KVS246 outperformed than KVS235 because it positively affected several the yield-related traits of Bambara groundnut. These results also showed that KVS246 would better interact with applying 60 kg ha⁻¹ (BP60) and 90 kg ha⁻¹ (BP90) and KVS246 under 120 kg ha⁻¹ of Burkina Phosphate (BP 120) to improve Bambara groundnut yields compared to control. Furthermore, no-significant differences recorded following Burkina Phosphate supply could be explained by the low dissolution and mineralization capacity of Burkina Phosphate during the first year of application resulting in low phosphorus availability for good plant mineral nutrition. These results are similar to those of Somda ([52]) who showed that Burkina phosphate has a solubility that varies between 25 and 33% per year depending on rainfall and soil type, and did not have significant effects on maize and groundnut yields during first year application. Thus, the sandy texture of the soil, its particle structure and high porosity would have facilitated leaching of Burkina phosphate, making minerals few available for crops.

5 CONCLUSION

Climate and soil of experiment site are potentially suitable for Bambara groundnut cropping according to the result of study. On this acidic soil, poor in major mineral elements, with a sandy in surface texture and a sandy-clay in depth supported by plinthite, Bambara groundnut production was indifferent to the improvement yields under rock phosphate applying in one cropping year. However, Bambara groundnut variety KVS246 outperformed than KVS235 variety in increasing several Bambara groundnut yield parameters. Different doses of Burkina phosphate 90 and 60 kg ha⁻¹ was improved several Bambara groundnut yield parameters with KVS246 contrary to 120 kg ha⁻¹ for KVS235 variety. It is therefore important to lead investigations over several years to better understand the effects of these rock phosphate on both Bambara groundnut varieties and residual soil fertility.

ACKNOWLEDGMENTS

We appreciate the financial support of McKnight Foundation in this work

REFERENCES

- [1] B. Vanlauwe, A.H. AbdelGadir, J. Adewopo, S. Adjei-Nsiah, T. Ampadu-Boakye, R. Asare, *et al.*, «Looking back and moving forward: 50 years of soil and soil fertility management research in sub-Saharan Africa», *Int. J. Agric. Sustain.*, vol.15, pp. 613-631, 2017.
- [2] W. Ntinyari, M. Giweta M, J. Gweyi-Onyango, B. Mochoge, J. Mutegi, G. Nziguheba, C. Cargele Masso C. 2022. «Assessment of the 2006 Abuja. Fertilizer Declaration with Emphasis on Nitrogen Use Efficiency to Reduce Yield Gaps in Maize Production», *Front. Sustain. Food Syst.* 5: 758724, 2022.
- [3] E. B. Barbier and J. P. Hochard, «Land degradation and poverty», *Nat Sustain*, vol. 1, pp. 623–631, 2018.
- [4] P. A. Sanchez, «Soil fertility and hunger in Africa», *Science*, vol. 295, pp. 2019–2020, 2002.
- [5] T. Yaya, M. Koné, S. Silué, J. Yatty, «Prospection, collecte et caractérisation agromorphologique des morphotypes de voandzou de la zone savanicole en Côte d'Ivoire», *European scientific journal*, vol.9, no. 24, pp. 1857-7881, 2013.

- [6] Y. Touré, M. Koné, S. Silué, Y. J., Kouadio, «Prospection, collecte et caractérisation agro-morphologique des morphotypes de voandzou (*Vigna subterranea* (L.) Verdc) de la zone savanicole en côte d'Ivoire», *European scientific journal*, vol. 9, pp. 308-325, 2013.
- [7] M.M.H. Khan, M.Y. Rafii, S.I. Ramlee, M. Jusoh, «Al-Mamun, M., »Bambara Groundnut (*Vigna subterranea* L. Verdc): A Crop for the New Millennium, Its Genetic Diversity, and Improvements to Mitigate Future Food and Nutritional Challenges», *Sustainability*, vol. 13, 5530, 2021.
- [8] M. Hasan, K. Uddin, M M. Tuda, A. Tan, K.Z. Tan, «Nitrogen and phosphorus management for Bambara groundnut (*Vigna subterranea*) production-A review; Legume Research - *An International Journal*, vol. 41, no. 4, pp. 483-489, 2018.
- [9] Feldman A., W. K. Ho, Massawe F., Mayes S., Bambara groundnut is a climate-resilient crop: How could a drought-tolerant and nutritious legume improve community resilience in the face of climate change?, In: A. Sarkar, S. Sensarma and G. vanLoon (Eds.), *Sustainable Solutions for Food Security*, pp. 151-167, 2019.
- [10] J. Mubaiwa, V. Fogliano, C. C. hidewe, A.R. Linnemann, «Bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.) flour: a functional ingredient to favour the use of an unexploited sustainable protein source. PLoS ONE, vol. 13, no. 10, 2018, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205776>.
- [11] E. A. Obidiebube, P. G. Eruotor, S.O. Akparobi, H. Okolie, C.C. Obasi, «Assessment of Bambara Groundnut (*Vigna Subterranea* (L) Verdc) Varieties for Adaptation to Rainforest Agro-Ecological Zone of Anambra State of Nigeria», *Canadian Journal of Agriculture and Crops*, vol. 5, no. 1, pp. 1-6, 2020.
- [12] M. Musa, F. Massawe, S. Mayes, I. Alshareef, A. Singh, «Nitrogen fixation and N-Balance studies on Bambara groundnut (*Vigna subterranea* L. Verdc.) Landraces grown on tropical acidic soils of Malaysia», *Commun Soil Sci Plant Anal*, vol. 47, no. 4, pp. 533–542, 2016.
- [13] M.A. Aziz, H.R. Ahmad, D.L. Corwin, S. M.abir, K.R. Hakeem, M. Ozturk, «Influence of farmyard manure on retention and availability of nickel, zinc and lead in metal-contaminated calcareous loam soils», *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 3: 289-296, 2017.
- [14] Sanchez, P. A., Shepherd, J. D., Soule, M. J., Place, F. M., Bureish, R. J., Izac, A. N., et al., Soil Fertility Replenishment in Africa: An investment in Natural Resource Capital, In: R.J. Buresh, P.A. Sanchez and F. Calhoun (Eds), *Replenishing Soil Fertility, Africa*, SSSA Special Publication, no. 51 (Madison: Soil Science Society of America.), pp. 1–46, 1997.
- [15] P.H. Graham and C.P. «Vance, Nitrogen fixation in perspective: an overview of research and extension needs», *Field Crops Res* vol. 65, no. 2, pp. 93–106, 2000.
- [16] J. López-Bucio, E. Hernández-Abreu, L. Sánchez-Calderón, M.F. Nieto-Jacobo, J. Simpson, L. Herrera-Estrella, «Phosphate availability alters the architecture and causes changes in hormone sensitivity in the Arabidopsis root system», *Plant Physiol*, vol. 129, no. 1, pp., 244–256, 2002.
- [17] G. Nziguheba, S. Zingore, J. Kihara, R. Merckx, S. Njoroge, A. Otinga, E. Vandamme, B. Vanlauwe, «Phosphorus in smallholder farming systems of sub-Saharan Africa: implications for agricultural intensification» *Nutr Cycl Agroecosyst*, vol. 104, pp. 321–340, 2016.
- [18] S.K. Bello, A.A. Yusuf, M. Cargele, «Performance of cowpea as influenced by native strain of rhizobia, lime and phosphorus in Samaru, Nigeria», *Symbiosis*, vol. 75, pp. 167–176, 2018.
- [19] M. Lazali and J. J. Drevon «Mechanisms and Adaptation Strategies of Tolerance to Phosphorus Deficiency in Legumes», *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 52, no. 13, 1469-1483, 2021.
- [20] Mokwunye, A.U. and Bationo, A., «Meeting the Phosphorus Needs of Soils and Crops of West Africa: The Role of Indigenous Phosphate Rocks. In: Vanlauwe, B., J. Diels, N. Sanginga and R. Merckx (Eds.), *Integrated Plant Nutrient Management in Sub-Saharan Africa: From Concept to Practice*, CABI, Oxon, UK., vol. 13, pp. 209-224, 2002.
- [21] P. Kisinyo, C.O. Othieno, S. Gudu, J. Okalebo, P. Opala, W. Ng'etich, R. Nyambati, E. Ouma, J. Agalo, S. Kebeney, E. Too, J. Kisinyo, «Immediate and residual effects of lime and phosphorus fertilizer on soil acidity and maize production in Western Kenya» *Experimental Agriculture*, vol. 50, no. 1, pp. 128–143, 2014.
- [22] MAAHM/DGESS/EPA (Ministère de l'Agriculture et des Aménagements hydro Agricoles/Direction Générale des Etudes et des Statistiques Sectorielles/ Enquête Permanente Agricole), p. 145p, 2020.
- [23] MAAHA/DGESS (Ministère de l'Agriculture et des Aménagements hydro Agricoles/Direction Générale des Etudes et des Statistiques Sectorielles). Résultats définitifs de la campagne agropastorale 2018/2019, de la situation alimentaire et nutritionnelle du Pays et perspectives. pp. 12, 2019.
- [24] N.C. Temegne, V.D. Taffouo, T.C. Tadoh, W.F. Gouertoumbo, G.A. Wakem, F.T.D. Nkou, P.P.K. Nuemiand, E.Youmbi, «Effect of phosphate fertilization on growth, yield and seed phosphorus content of Bambara pea (*Vigna subterranea*) land races. *J Anim Plant Sci*. Vol. 29, no 3, pp, 703–713, 2019.
- [25] FAO (ISRIC: Centre International de Reference et d'Information des Sols), 1994. Directives pour la description des sols. 3ème édition (révisée), Service des sols-ressources, aménagement et conservation, Division de la mise en valeur des terres et des eaux, 78p, 1994.
- [26] CPCS (Commission de Pédologie et de Cartographie des sols). Classification des sols. 100p, 1967.

- [27] WRB (2015) Base de référence mondiale pour les ressources en sols Système international de classification des sols pour nommer les sols et élaborer des légendes de cartes pédologiques. Mise à jour 2015. 203 p. Classification, corrélation and communication, 2nd édition. World Soil Resources Reports FAO, Rome, no. 103, 145 p, 2014.
- [28] AFNOR (Association Française de Normalisation), Détermination du pH, NF ISO 10390. In AFNOR qualité des sols, Paris, pp. 339-348, 1981.
- [29] A.J. Walkley and I.A. Black, «Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method», *Soil Sci.* vol. 37, pp. 29-38, 1934.
- [30] Hillebrand, W.F., Lundell, G.E.F, Bright, H.A., Hoffman J.I. Applied Inorganic Analysis (2nd Eds.). John Wiley, Sons, Inc: New York, USA; p. 1034, 1953.
- [31] ILCA 1979. Livestock Production in the Subhumid Zone of West Africa: A Regional Review.
- [32] BUNASOLS, Bureau National des sols. 1990. Manuel pour l'évaluation des terres, documentations techniques n° 6, BUNASOLS/Ouagadougou; Burkina Faso. 181p.
- [33] FAO (2007) Data sheet Vigna subterranea. Ecocrop. FAO. <https://ecocrop.review.fao.org/ecocrop/srv/en/cropView?id=10830>. (September 20, 2022).
- [34] Basu, S., Roberts, J.A., Azam-Ali, S.N., Mayes, S., Bambara Groundnut. In: Kole C. (Eds) Pulses, Sugar and Tuber Crops. Genome Mapping and Molecular Breeding in Plants, vol 3. Springer, Berlin, Heidelberg, 2007.
- [35] Anonymous, Bambara groundnuts. Department of Agriculture, Forestry and Fisheries, Pretoria, 20, 2016.
- [36] J.P. Baudoin, G. Mergeai, «Grain legumes in crop production in tropical Africa», pp. 313–317, 2001.
- [37] Anonymous, Production guidelines for Bambara groundnuts. Department of Agriculture, Forestry and Fisheries, Pretoria, pp: 10, 2011.
- [38] L. Li, J. Shen, F. Zhang, M. Clairotte, J.J. Drevon, E. Le Cadre, P. Hinsinger, «Dynamics of phosphorus fractions in the rhizosphere of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and durum wheat (*Triticum turgidum durum* L.) grown in monocropping and intercropping systems», *Plant Soil*, vol. 312, pp.139-150, 2008.
- [39] M. Latati, A. Bargaz, B. Belarbi, M. Lazali, S. Benlahrech, S. Tellaha, G. Kaci, J.J. Drevon, S.M. Ounane, «The intercropping common bean with maize improves the rhizobial efficiency, resource use and grain yield under low phosphorus availability» *Eur J Agron.*, Vvol. 72, pp. 80–90, 2016.
- [40] S.H. Chien, P. L. I.rochnow, R. Mikkelsen, «Agronomic Use of Phosphate Rock for Direct Application», *Better Crops*, vol. 94, no 4, pp. 21-23, 2010.
- [41] R.B.A. Rafael, M.L. Fernández-Marcos, S. Cocco, M.L. Ruello, D.C. Weindorf, V. Cardelli, G. Corti, «Assessment of potential nutrient release from phosphate rock and dolostone for application in acid soils», *Pedosphere*, vol. 28, no. 1, pp. 44–58, 2018.
- [42] A. Adnan, D.S. Mavinic, F.A. Koch, «Pilot-scale study of phosphorus recovery through struvite crystallization-examining to process feasibility», *J. Environ. Eng. and Sci.*, vol. 2, no. 5, pp. 315-324, 2003.
- [43] C.J. Penn, J.J. Camberato, «A critical review on soil chemical processes that control how soil pH affects phosphorus availability to plants», *Agriculture*, vol. 9, p. 120-2019.
- [44] H.Y. Ch'ng, S.Sanus, S.B.Othman, «Effect of Christmas Island rock phosphate and rice straw compost application on soil phosphorus availability andmaize (*Zea mays* L.) growth in a tropical acid soil of Kelantan, Malaysia». *Open Agric.* 2020, vol.5, pp. 150–158, 2020.
- [45] L. S. Ayeni and O. E. Adeleye, «Mineralization rates of soil forms of nitrogen, phosphorus, and potassium as affected by organomineral fertilizer in sandy loam», *Advances in Agriculture*, 149209 (5), 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/149209>.
- [46] R. Nabin, R.P. Keshab, S. Renuka, P.V. Shree, «Phosphorus and potassium mineralization as affected by phosphorus levels and soil types under laboratory condition». *Agrosyst Geosci Environ.*, vol.5, no. 1, pp.1-9, 2022.
- [47] M. Hasan, M.K. Uddin, M.T.M. Mohamed, A.T.K., Zuan, M. Motmainnaand, A.N.A. Haque, «Effect of Nitrogen and Phosphorus Fertilizers on Growth, Yield, Nodulation and Nutritional Composition of Bambara Groundnut» [*Vigna subterranea* (L.) Verdc.], *Legume Research*. vol. 44, no.12, pp. 1437-1442, 2021.
- [48] F.W. Githua, W. Ntinyari, N. K. Korir, J P. Gweyi-Onyango, «Influence of Elemental 124 Sulphur, Oxalic Acid, and Phosphoric Acid as Acidulating Agents on Phosphorous Dissolution from Rock Phosphate», *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, vol.18, no. 4, pp. 1-8, 2019.
- [49] K.F. Zongo, E. Hien, B. Maré, D.Guébré, «Performance de l'association mixte sorgho-niébé sur les productivités du sorgho et des sols en zone Soudano-Sahélienne du Burkina Faso», *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol.15, no. 3, pp. 987-1005, 2021.
- [50] Makari, C. M. Growth and yield responses of beans, cowpea and Bambara nuts to phosphorus fertilization in Kakamega county, Kenya. A thesis submitted in fulfilment of the requirements for award of the degree of master of science (agronomy) in the school of agriculture and enterprise development of Kenyatta university, pp. 29-103, 2022.
- [51] E.B. Effa, F.A. Nwagwu, E.O. Osai, J.O. Shiyam, «Growth and yield response of Bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc) to varying densities and Phosphate fertilizer rates in Calabar, South Eastern Nigeria», *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, vol. 6, no, 16, pp. 14-20, 2016.
- [52] Somda Z.C. 1982., Influence du phosphore, du zinc et du bore sur le comportement du maïs et de l'arachide, Mémoire de fin de cycle du diplômé d'ingénieur du développement rural, Université de Ouagadougou, Burkina Faso. pp: 181.

Origines des Nitrates dans les Aquifères Discontinus du Socle du Damagaram Mounio, Est du Niger

[Origins of Nitrates in the Discontinuous Aquifers of the Damagaram Mounio Basement, Eastern Niger]

Abdou Hamidou¹, Ibrahim Adédé², and Issa Habou²

¹Université André Salifou (UAS), Faculté des Sciences et Techniques (FST), Département de Géosciences et Environnement,
Zinder, Niger

²Direction Régionale de l'Hydraulique et de l'Assainissement de Zinder (DRHA, Z). Laboratoire de chimies des eaux de la
Direction Régionale de l'Hydraulique et de l'Assainissement, Zinder, 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 base of Damagaram Mounio, study area, outcrops in the eastern part of the Zinder region. In this zone, discontinuous aquifers are located in fractured, fissured and/or altered horizons of Precambrian granitoid and metamorphic formations and young fissured granites. They are essentially captured by fodder whose very high failure rates can exceed 50%. In addition, the flow rates of positive fodder are less than 2 m³/h for more than 85% of them. Thus, the problem of water resources is acute. In this densely populated area, this lack of water for the population's food is aggravated by the levels of certain chemical parameters, including nitrates in particular, which greatly exceed the drinking water standards for human consumption, hence the present study. The main objective of which is to determine the origins of nitrates in the groundwater resources of the area. The methodological approach based on the sampling of hydraulic structures capturing the aquifers of the basement, the analysis of the physico-chemical and isotopic parameters of the waters of several boreholes, the determination characteristics of nitrates, led to several interesting results. Thus, the isotopic contents of Nitrogen 15 (¹⁵N), obtained in the groundwater of the area, varying from 0 to 7.2, thus showing that these nitrates could come from the nature of the soil (quagmire around the points) and chemical fertilizers, ureas and fertilizers used in the study area. This study has shown that in the basement area of Damagaram Mounio, nitrates have a superficial origin. The nitrate contents of the waters of the Damagaram Mounio basement aquifers vary from 0.22 to 313.3 mg/L, with an average of 72.23 mg/L, and a standard deviation of 62.23. Thus, 32% of the modern structures sampled have nitrate levels above the acceptable limit value for drinking water set at 50 mg/L, according to the standards of the World Health Organization (WHO); these waters are unfit for human consumption. The spatial distribution of nitrate levels in groundwater in the area showed that these are more accentuated between the towns of Damagaram Takaya and Birni Kazoé, which are characterized by values above 100 mg/l. Furthermore, the relationship between nitrate levels and electrical conductivity values of water showed that the mineralization of groundwater in the area is controlled by nitrate ions.

KEYWORDS: Discontinuous aquifer, WHO, Nitrates, Damagaram Mounio.

RESUME: Le socle du Damagaram Mounio, zone d'étude, affleure dans la partie Est de la région de Zinder. Dans cette zone, les aquifères discontinus sont localisés dans des horizons fracturés, fissurés et/ou altérés des formations granitoïdiques et métamorphiques du Précambrien et des granites jeunes fissurés. Ils sont captés essentiellement par des forages dont les taux d'échec, très élevés, peuvent dépasser les 50%. Par ailleurs, les débits des forages positifs sont inférieurs à 2 m³/h à plus de 85% d'entre eux. Ainsi, le problème de ressource en eaux se pose avec acuité. Dans cette zone très peuplée, ce manque d'eau pour l'alimentation des populations est aggravé par les teneurs des certains paramètres chimiques, dont notamment les nitrates, dépassant largement les normes de potabilité des eaux pour la consommation humaine d'où la présente étude, qui a pour objectif principal, la détermination des origines des nitrates dans les ressources en eau souterraine de la zone. L'approche méthodologique basée sur l'échantillonnage des ouvrages hydrauliques captant les aquifères du socle, l'analyse des paramètres physico chimiques et isotopiques des eaux de plusieurs forages, la détermination des caractéristiques des nitrates, a permis d'aboutir à plusieurs résultats intéressants. Ainsi, les teneurs isotopiques en Azote 15 (¹⁵N),

obtenues dans les eaux souterraines de la zone, varient de 0 à 7,2, montrant ainsi que ces nitrates pourraient provenir de la nature du sol (bourbier autour des points) et engrais chimiques, urées et fertilisants utilisées dans la zone d'étude. Cette étude, a permis de montrer que dans la zone du socle du Damagaram Mounio, les nitrates ont une origine superficielle. Les teneurs en nitrates des eaux des nappes du socle de Damagaram Mounio, varient de 0,22 à 313,3 mg/L, avec une moyenne de 72,23 mg/L, et un écart type de 62,23. Ainsi, 32% des ouvrages modernes échantillonnés, ont de teneurs en nitrates supérieures à la valeur limite admissible pour les eaux de consommation fixés à 50 mg/L, selon les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS); ces eaux sont inaptes à la consommation humaine. La distribution spatiale des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines de la zone, a montré que celles-ci sont plus accentuées entre les villes de Damagaram Takaya et Birni Kazoé, qui se caractérisent par de valeurs supérieures à 100 mg/l. Par ailleurs, la relation entre les teneurs en nitrates et les valeurs de conductivités électriques des eaux, a montré que la minéralisation des eaux souterraines de la zone, est contrôlée par les ions nitrates.

MOTS-CLEFS: Aquifère discontinu, OMS, Nitrates, Damagaram Mounio.

1 INTRODUCTION

L'eau est une ressource vitale pour tout être vivant et revêt une importance capitale pour d'innombrables activités humaines. Au sahel et précisément au Niger, les conditions climatiques aléatoires et la forte demande entraîne un amincissement des ressources en eau. En plus de ces conditions climatiques défavorables à la recharge des eaux souterraines, la nature géologique, constituant les réservoirs, influence de manière considérable les types d'aquifères. C'est ainsi que, les régions sédimentaires s'avèrent beaucoup plus favorable en ressources en eau souterraine que les régions du socle. Malheureusement l'occupation humaine est importante dans ces espaces du socle. C'est le cas dans le Damagaram-Mounio, qui compte parmi les régions le plus peuplées et où le problème d'eau se pose avec acuité (Ousmane 1988). Ainsi pour assurer leurs besoins quotidiens en eau d'alimentation, en eau d'irrigation et d'abreuvement des animaux..., les populations font recours aux aquifères profonds ou de nappes alluviales, sources de nombreuses maladies d'origine hydrique. En plus de la faible disponibilité de cette ressource en eau, sa qualité reste douteuse dans plusieurs zones (Ousmane 1988). Ainsi, des concentrations en certains éléments comme les sulfates, les nitrites..., il n'est pas exclu la présence de nitrates, comme c'est le cas dans le haut bassin de la rivière, le Gorouol, et dans d'autres régions de formation cristallophyllienne dans le monde. Il paraît donc urgent d'entreprendre des investigations sur la concentration, dans les ressources en eau, à la faveur des actions naturelles et anthropiques, qui ne cessent de se développer dans les zones du socle du Niger, pour préserver la santé des populations. Cette étude, qui a pour objectif principal, la détermination des origines des nitrates dans les aquifères discontinus du socle du Damagaram Mounio, s'inscrit dans cette perspective. Les objectifs spécifiques visent à échantillonner les points d'eau moderne, captant les aquifères du socle, analyser les paramètres physico chimiques et isotopiques des eaux, étudier les variations des concentrations dans les eaux souterraines de la zone, étudier la relation entre les teneurs en nitrates et les valeurs des conductivités électriques des eaux et enfin cartographier les zones à fortes teneurs en nitrates.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Le socle du Damagaram-Mounio affleure dans la partie Est de la région de Zinder (fig.1). Cette zone, compte parmi les régions le plus peuplées du Niger, et où le problème d'eau se pose avec acuité.

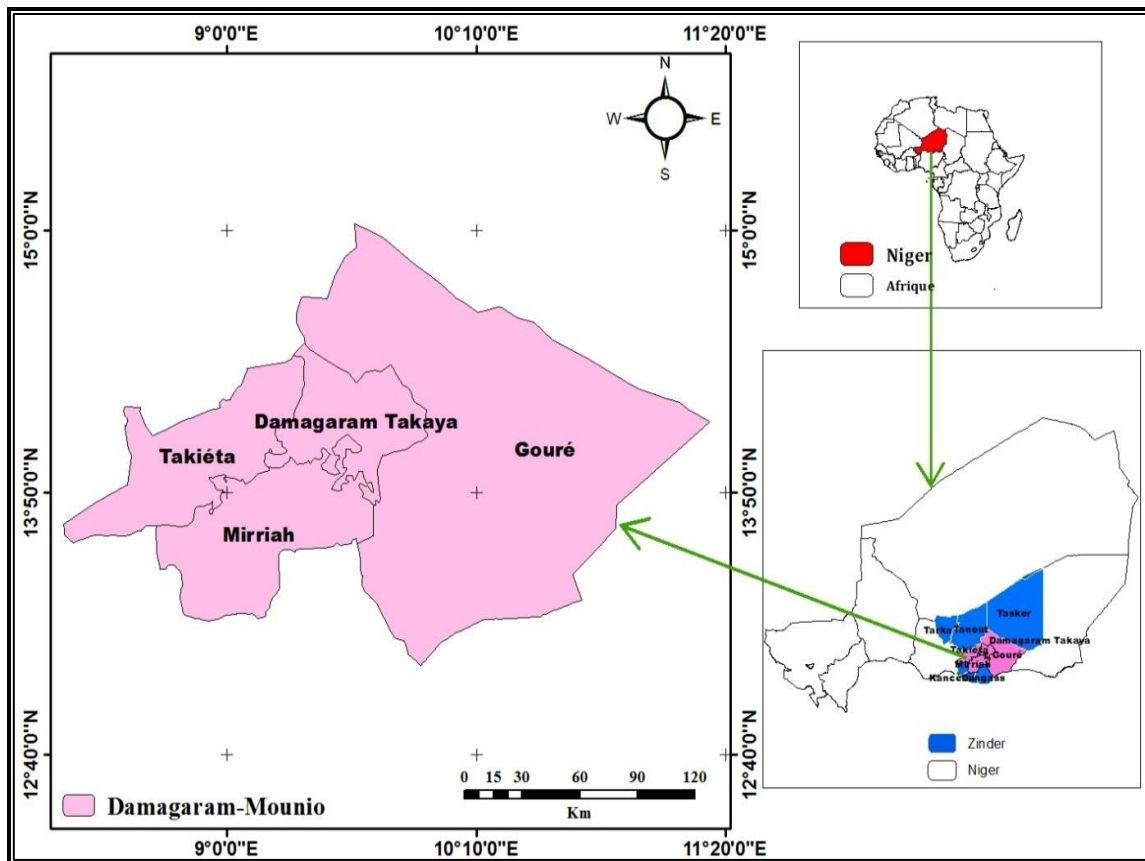


Fig. 1. Carte de localisation de la zone d'étude

Dans la zone du socle du Damagaram Mounio, les aquifères sont discontinus et les ressources en eau souterraine sont localisées dans des horizons fracturés, fissurés et/ou altérés des formations granitoïdiques et métamorphiques du Précambrien et des granites jeunes fissurés. Ils sont captés essentiellement par des forages dont les taux d'échec, très élevés, peuvent dépasser les 50% (Ousmane, 1988). Par ailleurs, les débits des forages positifs sont inférieurs à $2 \text{ m}^3/\text{h}$ à plus de 85% d'entre eux. Dans cette zone, les valeurs de transmissivités, sont comprises entre 1.10^{-6} et $6,4. 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Les débits d'exploitation des forages relativement faibles, dépassent rarement les $2 \text{ m}^3/\text{h}$. Le niveau piézométrique se situe à une profondeur moyenne de 16,5 m, tandis que la profondeur optimale des forages est de 60 m, les réserves sont faibles (Ousmane, 1988).

3 MÉTHODOLOGIE

Les mesures de teneurs en nitrates ont été réalisées sur des échantillons d'eau prélevés dans trente-quatre (34) forages, captant les aquifères discontinus du socle fracturé et ou fissuré de la zone d'étude. En effet, ces forages sont nommés (F). Les échantillons d'eaux ont été prélevés dans deux flacons poly éthyléniques de 11 ml préalablement stérilisés. Les paramètres (T° , CE et pH) de ces différents échantillons ont été mesurés sur le terrain respectivement à l'aide de thermomètre, conductimètre, pH-mètre (initialement calibrés pour les quatre derniers). Les échantillons d'eau prélevée ont été conservés au frais dans les glacières à la température 4°C et transportés au laboratoire de la Direction Régionale de l'Hydraulique et de l'Assainissement de Zinder (DRHA/Z), pour analyse. Un délai de 48 heures à compter de la date d'arrivée au laboratoire des échantillons, a été fixé pour analyse. Ainsi, les ions nitrites (NO_2^-) et nitrates (NO_3^-), ont été déterminés par spectrophotométrie, avec le spectrophotomètre DR 2800 et des réactifs qui sont: nitraver3 et nitraver5. Toutes ces analyses ont été réalisées suivant le protocole décrit par de Jean Rodier (2009). Les teneurs isotopiques en Azote15 (^{15}N) des points d'eau, au nombre de neuf (9), ont été analysées par spectrométrie de masse, dans le cadre du projet national, assisté par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA). Le traitement de donner à nécessiter un travail de laboratoire, avec des logiciels tels ArcGis pour la cartographie.

4 RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les résultats analytiques de trente-quatre (34) points d'eau moderne échantillonnés, dans le cadre de cette étude, dans la zone du socle du Damagaram Mounio, sont présentés dans les tableaux 1 et 2 ci-dessous:

Tableau 1. Teneurs en nitrates des eaux des forages échantillonnés, dans le cadre de cette étude, dans la zone du socle du Damagaram Mounio (Analyse effectuée par le laboratoire de chimie des eaux, de la Direction Régionale de l'Hydraulique et de l'Assainissement de Zinder)

N°	Villages	Type de nappe	N° IRH	Longitude	Latitude	Temp°C	CE en uS/cm	pH	NO3-mg/l	NO2- mg/l
1	Afnori	Socle	727839	9,890277778	14,14861111	30,9	1627	7,6	64,24	0,02
2	Albarkaram	Socle	718982	9,341667175	14,04444408	27,8	1827	7,08	268,4	2,01
3	Atchafa	Socle	727901	9,365277778	14,06666667	32,2	504	6,8	34,32	0,03
4	Boubout	Socle	727830	9,818611111	14,12555556	31,1	1205	6,7	101,2	0,66
5	Bougoum	Socle	727891	9,743055556	14,1	31,1	1590	7,3	48,4	0,06
6	Bourbourwa	Socle	722426	9,191944122	13,98805523	32	2680	7,25	313,3	2,84
7	Chirkou Garin Malam	Socle	727529	9,389444444	13,91333333	30,2	940	7,00	77	0,04
8	Dan Kourtchi	Socle	-	9,00001	12,88333	31,5	28	5,28	0,35	0
9	Dankeni Gambo	Socle	722283	9,17	13,89472222	31,4	875	7,3	68,2	0,02
10	Danladi	Socle	794028	7,717222222	14,59277778	28,6	1751	7,55	204,6	1,98
11	Daratcham	Socle	727719	9,672222222	14,12194444	32,7	660	6,8	12,32	0,007
12	Doufoufouk	Socle	722303	9,236944199	13,99083328	28,5	703	7,36	42,67	0,26
13	Dungass	Socle	-	9,341657	13,06388	30,8	83	6,12	3,96	0
14	Faya Haoussa	Socle	727888	9,170000076	13,89472198	33,4	1031	6,5	8,8	0,01
15	Foulatari	Socle	727837	9,890277863	14,14861107	31,00	1022	6,8	30,8	0,01
16	Garin Malam Fagué	Socle	727662	9,829166412	14,12638855	32,2	661	6,8	76,4	0,018
17	Gorgoré	Socle	722282	9,425000191	13,85499954	32,1	727	6,2	42,8	0,01
18	Guidimouni	Socle	-	8,983361111	12,86672222	30,6	353	6,18	37,84	0,01
19	Ididigouri	Socle	790865	9,913888889	14,23333333	32,0	234	7,00	14,2	0,08
20	Kakissara	Socle	722316	9,25	14,075	30,1	909	6,8	49,72	0,06
21	Kassama	Socle	718984	9,136111259	13,97222233	28,1	1368	6,95	180,4	1,12
22	Kourni	Socle	790400	8,428603	13,58639	31,1	39	5,63	0,22	0

Source: DRHA/Z

Tableau 2. Teneurs en nitrates des eaux des forages échantillonnés, dans le cadre de cette étude, dans la zone du socle du Damagaram Mounio (Analyse effectuée par le laboratoire de chimie des eaux de la Direction Régionale de l'Hydraulique et de l'Assainissement de Zinder)

23	Kourssadi	Socle	727814	9,624444444	14,225	31,6	630	6,8	83,6	0,01
24	Maya Tchasko	Socle	727963	9,550000191	13,94722176	31,6	1250	7,3	101,2	0,09
25	Méoumé	Socle	727984	8,855278015	13,79305553	30,3	428	7,45	41,6	0,213
26	Midik	Socle	707464	9,230555534	13,91472244	28,6	551	6,94	42,8	2,64
27	Nassalé	Socle	722285	9,171944444	13,90333333	31,2	1116	6,8	43,2	0,014
28	Ourak	Socle	722215	9,45	14,09444444	31,6	730	6,8	40,48	0,1
29	Sabon Roua	Socle	791272	9,361103	13,72777	29,1	941	6,8	41,12	0,1
30	Tchidassawra	Socle	722079	9,616666794	14,22638893	31,1	763	7,3	40,6	0,42
31	Tirmou	Socle	722225	9,354999542	13,71694469	31,7	789	6,8	7	0,1
32	Tis	Socle	793907	8,898611069	13,77777767	28,5	766	7,31	37,84	0,26
33	Yékoua	Socle	722619	8,450055556	13,21669444	31,1	73	6,07	3,52	0
34	Zengon Soumagaila	Socle	725907	8,925000191	13,78888893	32,7	1684	7,42	48,56	2,84

Source: DRHA/Z

4.1 VARIATION DES TENEURS EN NITRATES DANS LES EAUX SOUTERRAINES DE LA ZONE

Les valeurs maximales et minimales, moyennes et écarts types des paramètres physico chimiques, sont consignés dans le tableau 3 ci-dessous:

Tableau 3. Variations des paramètres physico chimiques des eaux du socle du Damagaram Mounio

Désignations	Température en ° C	pH en U pH	Conductivité en µs/cm	NO3 en mg/L
Valeur minimum	27,8	5,28	28	0,22
Valeur maximum	33,4	7,55	2680	313,3
Moyenne	29,99	6,79	898,17	72,23
Ecart type	1,51	0,62	439,31	62,23

Il ressort du tableau 3, que les teneurs en nitrates, des eaux des nappes du socle du Damagaram Mounio, varient de 0,22 à 313,3 mg/L, avec une moyenne de 72,23 mg/L, et un écart type de 62,23.

Les résultats analytiques de trente-quatre (34) points d'eau moderne, échantillonnés (**tableau 1 et 2**) montrent que (Fig.2):

- Vingt-trois (23) échantillons, soit **68%** des ouvrages, ont des teneurs en nitrates inférieures à la valeur limite admissible pour les eaux de consommation fixés à 50 mg/L, selon les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS); *ces eaux sont donc de bonne qualité sur le plan nitraté;*
- Onze (11) échantillons, soit **32%** des ouvrages, ont de teneurs en nitrates supérieures à la valeur limite admissible pour les eaux de consommation fixés à 50 mg/L, selon les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS); il s'agit des eaux de forages suivants: F₁, F₂, F₄, F₆, F₇, F₉, F₁₀, F₁₆, F₂₁, F₂₃, F₂₄; *ces eaux sont impropres à la consommation humaine*

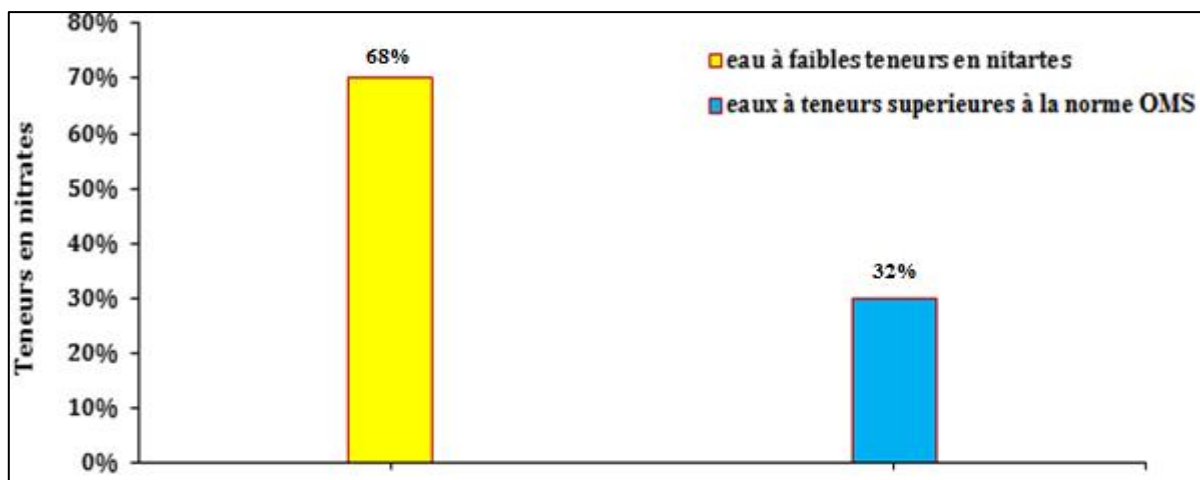


Fig. 2. Représentation graphique des forages dont les eaux sont à faibles teneurs en nitrates et celles dont les teneurs sont supérieures à la norme OMS

4.2 IDENTIFICATION DES ORIGINES DES NITRATES DANS LES EAUX SOUTERRAINES DE LA ZONE

Les résultats isotopiques de l'Azote¹⁵ (¹⁵N), analysés dans le cadre du projet national assisté par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA), sont présentés dans le tableau 4, ci-après (DRH, 2009):

Tableau 4. Valeurs en Azote 15, des points d'eau de la zone d'étude

Forages	Longitude	Latitude	Altitude	Aquifère	NO3	NO3meq	15N	NO3T
Dalari	9,35	14,10	430,00	SOCLE	149,16	2,41	0,00	1,14
Kassama F1	9,27	13,98	437,00	SOCLE	281,56	4,54	0,00	<5
D. Takaya	9,48	14,13	407,00	SOCLE	61,16	0,99	0,00	0,2
Koursadi	9,61	14,42	454,00	SOCLE	97,43	1,57	0,00	0,31
Dan ladi	9,017	13,89	447,00	SOCLE	982,80	15,85	3,20	6,6
Dogon Shuri	9,05	13,92	455,00	SOCLE	69,68	1,12	3,50	6,8
Bourbourwa	9,13	13,97	479,00	SOCLE	693	11,18	5,90	0,4
Albarkaram	9,23	13,97	437,00	SOCLE	261,36	4,22	7,20	<5
Birni Kazoé	9,96	14,21	394,00	SOCLE	308,88	4,98	7,20	1,3

Les valeurs isotopiques en Azote 15 (¹⁵N), obtenues dans les eaux de la zone (tableau 4), varient de 0 à 7,2, montrant ainsi que ces nitrates pourraient provenir de la nature du sol (boubrier autour des points d'eau) et engrais chimiques, urées et fertilisants utilisées dans la zone d'étude (DRH, 2009).

4.3 IDENTIFICATION DES ZONES À TENEURS ÉLEVÉES EN NITRATES

La distribution spatiale des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines de la zone, montre que celles-ci sont plus accentuées entre les villes de Damagaram Takaya et Birni Kazoé. La carte ci-dessous (Fig.3), met en évidence des zones à fortes teneurs en nitrates qui se caractérisent par de valeurs supérieures à 100 mg/L.

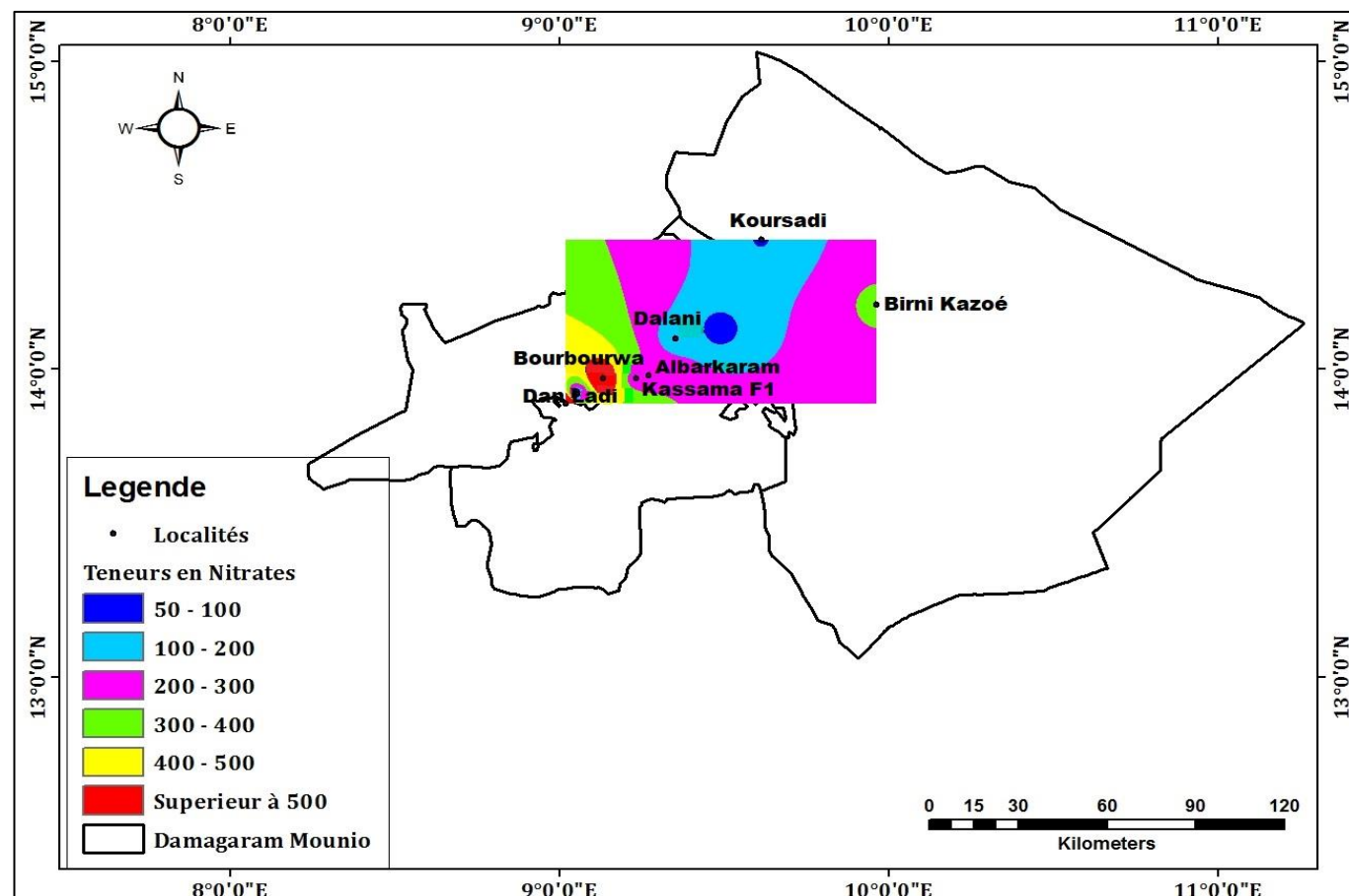


Fig. 3. Carte de localisation des zones de teneurs élevées en nitrates de la zone d'étude

Cette pollution surtout de type nitraté, amène les populations à abandonner plusieurs ouvrages construits à grand frais, qui devrait réduire le manque d'eau dans la zone du socle du Damagaram Mounio. En effet, ces teneurs en nitrates contribuent à la réduction des taux d'accès à l'eau potable, dans la zone du socle du Damagaram Mounio.

4.4 RÉLATION ENTRE LES TENEURS EN NITRATES ET LA MINÉRALISATION DES EAUX DE LA ZONE D'ETUDE

La relation entre les teneurs en nitrates et les valeurs de conductivité électrique des eaux (Fig.4), montre que la minéralisation des eaux souterraines de la zone, est contrôlée par les ions nitrates. Il se dégage une relation entre les nitrates et la minéralisation des eaux, qui s'exprime par la relation suivante:

$$NO_3 = 0.0945 * CE \text{ (us/cm)} + 10.55 \text{ (R}^2=0,74)$$

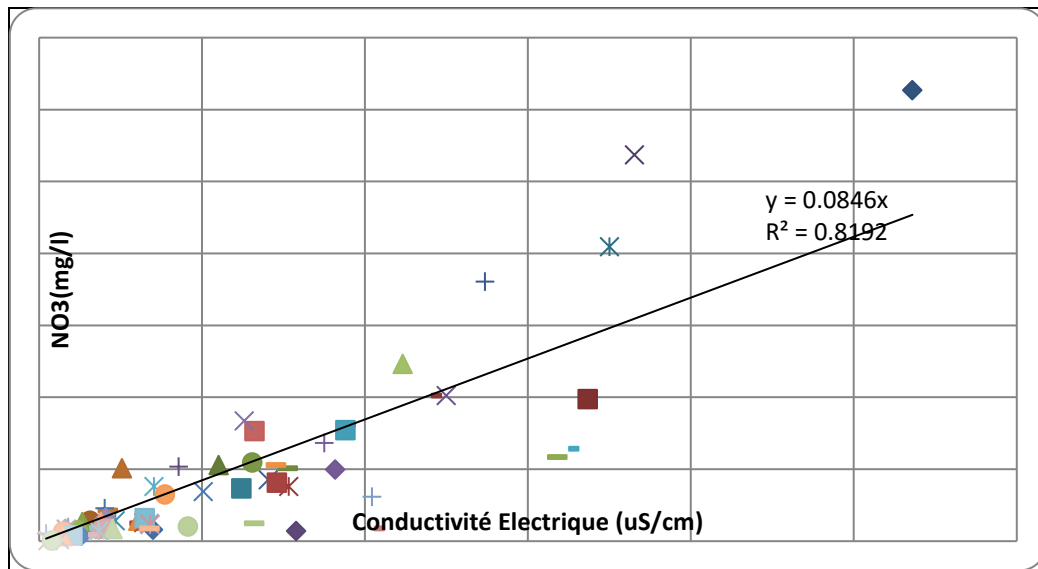


Fig. 4. Relation entre les nitrates et la minéralisation des eaux de la zone d'étude (DRH, 2009)

5 CONCLUSION

Les teneurs isotopiques en Azote 15 (^{15}N), obtenues dans les eaux souterraines de la zone, varient de 0 à 7,2, montrant ainsi que ces nitrates, pourraient provenir de la nature du sol (bourbier autour des points d'eau) et engrais chimiques, urées et fertilisants, utilisées dans la zone d'étude. En effet, cette étude a permis de montrer que dans la zone du socle du Damagaram-Mounio, les nitrates ont une origine superficielle. Les teneurs en nitrates des eaux des nappes de la zone, varient de 0,22 à 313,3 mg/L, avec une moyenne de 72,23 mg/L, et un écart type de 62,23. Ainsi, **32%** des ouvrages modernes échantillonnés, ont de teneurs en nitrates supérieures à la valeur limite admissible pour les eaux de consommation fixés à 50 mg/L, selon les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS); ces eaux sont impropres à la consommation humaine. La distribution spatiale des teneurs en nitrates dans les eaux souterraines de la zone, a montré que celles-ci sont plus accentuées entre les villes de Damagaram Takaya et Birni Kazoé, qui se caractérisent par de valeurs supérieures à 100 mg/l. Par ailleurs, la relation entre les teneurs en nitrates et les valeurs des conductivités électriques des eaux, a montré que la minéralisation des eaux souterraines de la zone, est contrôlée par les ions nitrates.

REFERENCES

- [1] AHOUSSE, E.K., SORO, N., KOFFI, B.Y, SORO, G. & BIEMI, J. (2010): Origine de la minéralisation des eaux des aquifères discontinus sous couvert forestier de la zone Sud de la Côte d'Ivoire: cas de la région d'Abidjan-Agboville. *Int. J. Biol. Chem. Sci*, 4 (3): 782-797.
- [2] ADELAM S.M.A. (2006): Nitrate pollution of groundwater in Nigeria. *Groundwater pollution of Africa*. Editors YonxinXu and Brent Usher, Yaylor and Francis/Balkema, Great-Britain, pp, 37-45.
- [3] Boukari, M. (1998): Fonctionnement du système aquifère exploité pour l'approvisionnement en eau de la ville de Cotonou sur le littoral béninois. Impact du développement urbain sur la qualité des ressources. Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar. Sénégal. 345p.
- [4] BRGM, (1983): Projet 1000 forages, Analyse des résultats des forages par traitement statistique.
- [5] BRGM, (1983): Programme hydraulique villageoise du conseil de l'entente, 1^{er} phase.
- [6] Cadilhac, O. (1990-1991): Atlas des ressources hydrauliques du département de Zinder, Arrondissement de Mirriah, Magaria et Matamèye. Rapport. Direction départementale de l'hydraulique de Zinder.
- [7] Chemseddine, F., Abderrahmane, B., Abdelkader, R. & Elias, S. (2009): Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines du complexe aquifère Morsott-Laouinet (Région Nord de Tébessa, Sud- Est algérien. *Afrique Science*, 05 (2) 217-231.
- [8] CANTER LW. (1997): Nitrate in Groundwater. Edition Lewis publishers.
- [9] DRH/Z. (2013): Rapport annuel d'activité de la Direction Régionale de l'Hydraulique de Zinder.
- [10] DRH/Z. (2014): Rapport annuel d'activité de la Direction Régionale de l'Hydraulique de Zinder.
- [11] Kruger, I. (1977): Etude hydrogéologique de Damagaram Mounio et du Sud Maradi.
- [12] Jessen P. (1992). Analyse des conditions hydrogéologiques en vue d'un programme d'hydraulique rurale dans le département de Zinder. Rapport. Direction départementale d'hydraulique de Zinder. 344.
- [13] Kouassi, M.A., Yao, A.K., Ahoussi, E.K., Seki, C.L., Yao, A.N., Kouassi, I.K. & Biemi, J. (2010): Apport des méthodes statistiques et hydrochimiques à la caractérisation des eaux des aquifères fissurés de la région du N'zi-Comoé (centre-Est de la Côte d'Ivoire). *Int. J. Biol. Chem. Sci*. 4 (5): 1816-1838.
- [14] Ousmane, B. (1988): Etude géochimique et isotopique des aquifères du socle de la bande sahélienne du Niger (Liptako, Sud Maradi, Zinder Est), Thèse de Doctorat d'Etat, ès Sciences Naturelles, Université de Niamey, 1988, 175 p. et annexes.
- [15] Pontié, M., Rumeau, M., Ndiaye, M. & Diop, C.M. (1996): Sur le problème de la fluorose au Sénégal: bilan des connaissances et présentation d'une nouvelle méthode de défluoruration des eaux de boisson. *Cahier Santé*, vo1.6: p. 27-36.
- [16] M.O. *Elimination des nitrates des eaux potables, Document Technique FNDAE Hors-Série N°4*. Direction de l'Espace Rural et de la Forêt.
- [17] Rodier, J., Legube, B. & Merlet, N. (2009): L'analyse De L'eau (9 E Edition). Ed Dunod. Paris. 1579 pp.
- [18] Sanoussi, R. (2009): Etude complémentaire en vue de l'évaluation des eaux souterraines de la région de Zinder (Niger), Rapport. Direction Régionale de l'Hydraulique de Zinder.

Méthode de dimensionnement d'un système photovoltaïque comme source de secours pour l'alimentation d'un laboratoire informatique : Cas de laboratoire informatique de l'ISTA Lukula, Boma, RD Congo

[Sizing method of a photovoltaic system as a backup source for the power supply of a computer laboratory : Case of computer laboratory of ISTA Lukula, Boma, DR Congo]

KHIEKIE NGEMBO Ready, FITA LIBWA Justin, and PHONGO MAVUNGU Germain

Institut Supérieur de Techniques Appliquées de Lukula à Boma, 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 satisfaction of the energy needs of a computer laboratory requires a systematic study of the consumption of the various electrical receivers listed. A compromise must be found between the time of use of these receivers and the number of needed to be connected to the photovoltaic power source in order to minimize, as much as possible, the daily energy consumed by the installation. We note the peak power (P_c), the number of the panels ($N_{pa,t}$), the power of the inverter (P_{Ond}) and the current of the regulator ($I_{rég}$) are lineary a function of the daily energy (E_{cj}). The total number of batteries ($N_{b,t}$) is a linear function of the daily energy (E_{cj}) and the autonomy of the battery bank (N_{Au}).

In this paper, we propose a simplified and reliable method for sizing, selecting and wiring of the photovoltaic components in order to ensure an effective and secure supply of electrical energy.

KEYWORDS: Method, sizing, photovoltaic system, backup source, power supply, computer laboratory.

RESUME: La satisfaction du besoin énergétique d'un laboratoire informatique requiert une étude systématique de la consommation des différents récepteurs électriques répertoriés. Un compromis devra être trouvé entre le temps d'utilisation de ces récepteurs et le nombre des récepteurs nécessaires à brancher à la source d'alimentation photovoltaïque afin de minimiser, le mieux que possible, l'énergie journalière consommée de l'installation. Nous constatons que la puissance crête (P_c), le nombre des panneaux ($N_{pa,t}$), la puissance de l'onduleur (P_{Ond}) et le courant du régulateur ($I_{rég}$) sont linéairement fonction l'énergie journalière (E_{cj}). Le nombre total des batteries ($N_{b,t}$) est linéairement fonction de l'énergie journalière (E_{cj}) et de l'autonomie du parc des batteries (N_{Au}).

Nous proposons dans cet article une méthode simplifiée et fiable de dimensionnement, de choix et de câblage des composants photovoltaïques afin d'assurer une fourniture en énergie électrique de manière efficace et sécurisée.

MOTS-CLEFS: Méthode, dimensionnement, système photovoltaïque, source de secours, alimentation, laboratoire informatique.

1 INTRODUCTION

Les potentialités en énergie solaire de la République Démocratique du Congo, avec une bande d'ensoleillement élevée comprise entre 3.500 et 6.750 $Wh/m^2/jour$, offrent une solution attrayante afin d'améliorer le taux d'électrification du pays à 30% à l'horizon 2022. En 2020, le taux d'électrification était estimé à 9% et le très faible taux de desserte électrique en système photovoltaïque très faible est estimé à 18% en 2013.

L'objectif ici est de proposer une méthode simplifiée permettant de dimensionner les composants du générateur photovoltaïque nécessaires à assurer l'alimentation en énergie électrique d'un laboratoire informatique.

Dans le cadre de laboratoire informatique de l'ISTA Lukula/Boma, nous sommes amenés à proposer les caractéristiques tant matérielles que fonctionnelles des différents composants du système photovoltaïque capable de fournir une alimentation continue en énergie électrique dans les bonnes conditions environnementales, c'est-à-dire sans pollution sonore et sans émissions de gaz à effet de serre comme il en est le cas pour le groupe électrogène (AVR/MODEL GEP_18-2) de 20 kVA qui assure actuellement une alimentation de secours en cas d'absence de l'énergie de la Société Nationale d'Electricité (SNEL).

2 CONCEPTS FONDAMENTAUX [4], [5], [6], [7], [8], [9]

2.1 DIMENSIONNEMENT DES COMPOSANTS SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES

Le choix des composants photovoltaïques dépend à priori du bilan des puissances, du bilan énergétique global du laboratoire informatique ainsi que de l'estimation de l'ensoleillement au lieu d'implantation de notre générateur photovoltaïque.

2.1.1 EVALUATION DE BESOIN ÉNERGÉTIQUE ET DE LA PUISSANCE INSTALLÉE

La puissance totale P_T des appareils installés et le besoin énergétique journalier E_{cj} estimé par la consommation en heure sont calculé par :

$$E_{cj} = \sum_{i=1}^n P_i * T_i \quad (1)$$

$$P_T = \sum_{i=1}^n P_i \quad (2)$$

Où :

- $E_{cj}[Wh/j]$: l'énergie consommée journalière, en wattheure par jour ;
- $P_i[W]$: la puissance unitaire d'un appareil ou d'un groupe d'appareils « i », en watt ;
- $T_i[h]$: la durée d'utilisation d'un appareil, en heure.

2.1.2 CALCUL DE LA PUISSANCE CRÊTE ET CHOIX DE TENSION DE SERVICE

1°) Calcul de la puissance crête du champ photovoltaïque (P_c) :

Partant de l'énergie consommée journalièrement (E_{cj}), la puissance crête du système (P_c) est définie par :

$$P_c = \frac{E_{cj}}{K * I_{r,moy}} \quad (3)$$

Où :

- $P_c[W_c]$: la puissance crête total du champ photovoltaïque, en watt crête ;
- $E_{cj}[Wh/j]$: l'énergie consommée par jour, en wattheure par jour ;
- $I_{r,moy}[kWh/m^2.j]$: l'irradiation journalière moyenne, en kilowattheure par mètre carré jour ;
- $K \in [0.55; 0.75]$: le rendement du système photovoltaïque (coefficient correcteur).

2°) Choix de la tension de fonctionnement du système (U_s) :

La tension de service ou travail du système est choisie en fonction de la puissance crête du champ photovoltaïque en fonction du tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1. Plage de tension de fonctionnement du système PV [5]

Puissance crête totale [W_c]	0 – 500	500 – 2000	> 2000
Tension de travail [V_{DC}]	12	24	48

Remarque : Le watt crête est la puissance produite par les panneaux photovoltaïques dans les conditions standards (STC) : ($T = 25^\circ C$; $I = 1000W/m^2$; $Masse\ d'air = 1.5$).

2.1.3 DIMENSIONNEMENT DES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES

Avant tout dimensionnement, il est important de choisir des panneaux fournissant les caractéristiques techniques minimales suivantes :

Tableau 2. Fiche technique du panneau photovoltaïque choisi

Puissance crête du panneau :	$P_{c,pa}[W_c]$	450
Tension à vide (c. o) :	$U_{co}[V]$	49,3
Tension au point de Puissance maximale :	$U_{mpp}[V]$	41,6
Courant de court-circuit :	$I_{cc}[A]$	11,6
Courant au point de Puissance maximale :	$I_{mpp}[A]$	10,85
Efficacité maximale :	$E[\%]$	20,70
Maximum fusibles en série :	$I[A]$	20
Nombre de diodes :	$N_p[-]$	3
Poids :	$P_{kg}[Kg]$	25
Longueur :	$L[m]$	2,24
Largeur :	$\ell[m]$	1,13

1°) Calcul de nombre total des panneaux photovoltaïques du système ($N_{pa,t}$) :

La puissance crête unitaire ($P_{c,pa}$) d'un panneau étant connu, on détermine le nombre total des panneaux photovoltaïques par :

$$N_{pa,t} = \frac{P_c}{P_{c,pa}} \quad (4)$$

Où :

- $N_{t,pa}[-]$: le nombre total des panneaux photovoltaïques ;
- $P_c[W_c]$: la puissance crête du système (ou champ) photovoltaïque ;
- $P_{c,pa}[W_c]$: la puissance crête d'un panneau photovoltaïque.

2°) Câblage des panneaux photovoltaïques :

Les panneaux doivent être câblés afin qu'ils fournissent un courant et une tension adaptés aux régulateurs. Le nombre des panneaux en série ($N_{pa,s}$) et des panneaux en parallèle ($N_{pa,p}$) à câbler se calcule comme suit :

$$N_{pa,s} = \frac{U_s}{U_{mpp}} \quad (7)$$

$$N_{pa,p} = \frac{N_{pa,t}}{N_{p,s}} \quad (8)$$

Où,

- $N_{pa,s}$: le nombre des panneaux photovoltaïques en série ;
- $U_T[V]$: la tension de travail du système (ou champ) photovoltaïque ;
- $U_{pa}[V]$: la tension d'un panneau photovoltaïque.

- $N_{pa,p}$: le nombre des panneaux photovoltaïques en parallèle ;
- $N_{pa,s}$: le nombre des panneaux photovoltaïques en série ;
- $N_{pa,t}$: le nombre total des panneaux photovoltaïques.

3°) Calcul de la surface ($S_{pa,t}$) et du poids total ($P_{pa,t}$) des panneaux

La connaissance de nombre des panneaux à installer doit amener à estimer la surface totale et le poids total de ces panneaux. On termine alors :

$$S_{pa,t} = S_{pa} * N_{pa,t} \quad (5)$$

$$P_{pa,t} = P_{pa} * N_{pa,t} \quad (6)$$

Où :

- $P_{pa,t}[Kg]$: Poids total d'un panneau ;
- $P_{pa}[Kg]$: Poids unitaire d'un panneau ;
- $S_{pa,t}[m^2]$: Surface totale d'un module ;
- $S_{pa}[m^2]$: Surface unitaire d'un module.

2.1.4 DIMENSIONNEMENT DES BATTERIES

1°) Calcul de la capacité de stockage ($C_{b,t}$) :

On procède d'abord à la détermination de la capacité de stockage $C_{b,t}$ du champ photovoltaïque. Elle est calculée par :

$$C_{b,t} = \frac{E_{cj} * N_{Au}}{D * U_T} \quad (9)$$

Où :

- $C_{b,t} [Ah]$: la capacité totale de stockage du système (ou champ) photovoltaïque ;
- $E_{cj} [Wh/j]$: l'énergie consommée par jour, en wattheure par jour ;
- $D [\%]$: la décharge maximale des batteries ou profondeur de décharge (0.8 pour les batteries à plomb) ;
- $U_T [V]$: la tension de travail ou de service du système (ou champ) photovoltaïque ;
- $N_{Au} [-]$: le nombre de jour d'autonomie.

2°) Choix des batteries :

Le choix des batteries doit également se faire en fonction des produits sur le marché et de la tension de service ou travail du système. Nous avons opté pour les batteries ayant les caractéristiques fournies au tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3. Caractéristiques de la batterie choisie [4] [5]

Tension U_b [V]	Capacité C_b [Ah]	D [%]
12	200	80

3°) Calcul de nombre des batteries ($N_{b,t}$) :

Le nombre total des batteries $N_{b,t}$ nécessaire à l'installation est :

$$N_{b,t} = \left(\frac{U_T}{U_b} * \frac{C_{b,t}}{C_b} \right) \quad (10)$$

Où :

- $N_{b,t}$: le nombre des batteries dans le système (ou champ) photovoltaïque ;
- $U_T[V]$: la tension de travail ou du service du système (ou champ) photovoltaïque ;
- $U_b[V]$: la tension de la batterie ;
- $C_{b,t} [Ah]$: la capacité de stockage du système (ou champ) photovoltaïque ;
- $C_b [Ah]$: la capacité unitaire de la batterie.

2.1.5 DIMENSIONNEMENT DE L'ONDULEUR ET DU RÉGULATEUR

1°) Choix de l'onduleur :

Le choix d'un onduleur devra tenir compte de deux paramètres suivants :

- ✓ *Comptabilité de la puissance* : la puissance de l'onduleur doit être (P_{Ond}) supérieure à la puissance crête totale (P_c) des récepteurs AC. ($P_{Ond} > P_c$)
- ✓ *Comptabilité de la tension* : la tension DC à la sortie des panneaux ($U_s = U_{pa,s}$) doit appartenir à la plage de la tension d'entrée (U_e) de l'onduleur.

La puissance de l'onduleur est alors égale à :

$$P_{Ond} \geq 1,25 * P_c \quad (11)$$

2°) Choix de régulateur :

Les deux critères de choix d'un régulateur sont est dictés par :

- ✓ *La tension de sortie des panneaux* ($U_{pa,s}$) : Il faut toujours que la tension de sortie du régulateur soit égale à la tension d'entrée des batteries ($U_{s,rég} = U_s$) ;
- ✓ *Le courant de sortie des panneaux* ($I_{pa,s}$) : Il faut toujours que le courant de sortie des panneaux soit inférieur ou égal au courant d'entrée régulateur ($I_s = I_{e,rég}$).

Le courant d'entrée du régulateur ($I_{e,rég}$) est déterminé par :

$$I_{e,rég} = I_{cc} * N_{pa,p} \quad (12)$$

Où :

- $I_{e,rég} [A]$: le courant d'entrée du régulateur ;
- $N_{pa,p} [-]$: le nombre de panneau en parallèle ;
- $I_{cc} [A]$: le courant de court-circuit du panneau.

Pour des raisons de sécurité, le régulateur doit avoir un courant ($I_{rég}$) égale à :

$$I_{rég} \geq 1,25 * I_{e,rég} \quad (13)$$

2.1.6 DIMENSIONNEMENT DES SECTIONS DES CONDUCTEURS

Les sections des conducteurs entre les différents composants photovoltaïques sont sensiblement liées aux courants qui doivent y transiter. Ainsi pour chaque tronçon du conducteur considéré, on utilise la relation suivante :

$$S_{Ci} = \frac{\rho * I * 2L}{\Delta u} \quad (14)$$

Où :

- $S_{Ci} [mm^2]$: La section du conducteur (i) ;
- $\rho [\Omega m^2 / m]$: La résistivité du conducteur (i) ;
- $I [A]$: Le courant électrique dans le conducteur (i) ;
- $L [m]$: La longueur du conducteur (i) ;
- $\Delta u [\%]$: La chute de tension maximale (i).

Pour des câbles en cuivre par exemple de chute de tension maximale ($\Delta U = 3\%$) et de résistivité ($\rho = 1.7 * 10^{-6} \Omega m$), on détermine alors les sections des conducteurs entre :

1°) Les Panneaux – le Régulateurs :

La détermination de cette section se fait sur deux tronçons. On a donc les sections des conducteurs suivantes :

✓ Entre les Panneaux – la Boite de Raccordement (BR) :

$$S_1 [mm^2] = \frac{\rho * I_1 * 2L}{\Delta U_{pa,s}} \quad (15)$$

Où le courant I_1 dans le tronçon est calculé par :

$$I_1 [A] = I_{(pa/BR)} = \frac{P_{c,pa}}{U_T} \quad (16)$$

✓ Entre la Boite Raccordement (BR) – le Régulateur :

$$S_C [mm^2] = \frac{\rho * I_{e,rég} * 2L}{\Delta U_{pa,s}} \quad (17)$$

Où le courant I_2 dans le tronçon est le courant d'entrée du régulateur. On a :

$$I_2 [A] = I_{(BR/rég)} = I_{e,rég} \quad (18)$$

2°) Le Régulateur– le parc des Batteries :

La section du conducteur entre ces deux composants est déterminée par :

$$S_C [mm^2] = \frac{\rho * I_{e,rég} * 2L}{\Delta U_{pa,s}} \quad (19)$$

Où le courant $I = I_{e,rég}$ et la tension $U = U_{pa,s}$.

On note : $U = U_{pa,s} = U_{mpp} * N_{pa,s} = U_s$ & $I = I_{e,rég} = I_{cc} * N_{pa,p} = I_{s,rég}$

3°) Le parc de Batteries – l'Onduleur :

La section des conducteurs entre ces deux composants est déterminé par :

$$S_C [mm^2] = \frac{\rho * I_{e,ond} * 2L}{\Delta U_T} \quad (20)$$

Le courant $I_{e,ond}$ dans le tronçon est calculé par :

$$I_{e,ond} [A] = \frac{P_{Ond}}{\eta_{Ond} * U_e} \quad (21)$$

Où :

- $I_{e,ond}$: Le courant d'entrée dans l'onduleur ;
- η_{Ond} : Le rendement de l'onduleur ;
- U_e : La tension d'entrée dans l'onduleur ($U_e = U_{pa,s} = U_s$).

3 MATÉRIELS ET MÉTHODES

3.1 MATÉRIELS

Pour aboutir aux résultats de notre étude, nous avons fait recours au tableur Excel pour le traçage des courbes et graphiques.

3.2 MÉTHODES

3.2.1 COLLECTES DES DONNÉES [1], [3]

Le laboratoire de l'ISTA Lukula à Boma situé au Kongo Central, dans le territoire de Muanda aux périphéries de Boma, bénéficie de l'irradiation moyenne de $5,45 \text{ kWh/m}^2$. Ce laboratoire informatique qui occupe une superficie de 45 m^2 est alimenté comme l'ensemble de l'Institution par source de la Société Nationale de l'Electricité et d'un Groupe Electrogène comme source de secours.

Le bilan de puissance de ce laboratoire se présente comme suit : (Données recueillies en Octobre 2022)

Tableau 4. Bilan des puissances du laboratoire informatique de l'ISTA Lukula/Boma

N°	Désignation	Quantité	Puissance unitaire P_u (W)
1	PC de Bureau (DELL Inc.)	15	125
3	PC Portable (LENOVO ThinkPad)	2	75
3	Plafonnier Surya XS	5	65
4	Routeur TP-LINK	1	70
5	Modem Hugues HT 2000	1	70
6	Vidéo Projecteur EPSON	1	40
7	Lampe	7	60
8	Sonorisation	1	250

3.2.2 MÉTHODES DE CALCUL

En utilisant les relations (1) et (2), nous présentons sur le tableau 5 le besoin énergétique du laboratoire de l'ISTA Lukula à Boma.

Tableau 5. Besoin énergétique du laboratoire informatique de l'ISTA Lukula à Boma

N°	Désignation	Qté	P_u (W)	P_t (W)	T_u (h)	E_{cj} (Wh/j)
1	PC de Bureau (DELL Inc.)	15	125	1875	8	15 000
3	PC Portable (LENOVO ThinkPad)	2	75	150	8	1 200
3	Plafonnier Surya XS	5	65	325	6	1 950
4	Routeur TP-LINK	1	70	70	24	1 680
5	Modem Hugues HT 2000	1	70	70	24	1 680
6	Vidéo Projecteur Epson	1	40	40	6	240
7	Lampe	7	60	420	8	3 360
8	Sonorisation	1	250	250	6	1 500
Total				3 200		26 610

4 RESULTATS & DISCUSSIONS

4.1 RÉSULTATS ALGÈBRIQUES

4.1.1 LA PUISSANCE CRÊTE (P_c) ET LE BESOIN ÉNERGÉTIQUE (E_{cj})

En fonction de la durée d'utilisation et de la puissance unitaire de chaque récepteur ou de groupe des récepteurs présenté au tableau 5, le bilan de puissance et le besoin énergétique du laboratoire informatique de l'ISTA Lukula à Boma sont évalués respectivement à $P_T = 3,2 kW$ et à $E_{cj} = 26,61 kWh/j$. D'où la puissance crête du système (P_c) est alors :

$$P_c = \frac{E_{cj}}{K * I_{r,moy}} = \frac{26\ 610}{5,45 * 0,65} = 7511,64 [W_c] = 7,5 [kW_c]$$

La puissance crête totale trouvée étant $P_c = 7511,64 W_c > 2000 W_c$, la tension de service adoptée est $U_s = 48V$. (Cfr. Tableau 1)

4.1.2 DIMENSIONNEMENT DES PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES

En se référant au tableau 2, indiquant les caractéristiques du panneau photovoltaïque, on détermine :

Nombre total des panneaux $N_{pa,t}$, [-]	18
Nombre de panneau en série $N_{pa,s}$, [-]	2
Nombre de panneau en parallèle $N_{pa,p}$, [-]	9
Surface totale des panneaux $S_{pa,t}$, [m^2]	45,6
Poids total des panneaux $P_{pa,t}$, [Kg]	450

4.1.3 DIMENSIONNEMENT DE PARC BATTERIES

Le choix des batteries se fait en fonction de la tension de service du système et du marché. Notre choix se porte sur les batteries ayant les caractéristiques fournies au tableau 3. ($U_b = 12V$, $C_b = 200 Ah$ et un taux de décharge $D = 80\%$). Nous proposons à notre source photovoltaïque de secours, une autonomie de deux jours ($N_{Au} = 2 jours$) en cas d'absence de la source principale (SNEL) et du rayonnement soleil.

Capacité de Stockage $C_{b,t}$, [-]	1185,94
Nombre total des batteries $N_{b,t}$, [-]	28
Nombre des batteries en série $N_{b,s}$, [-]	4
Nombre des batteries en parallèle $N_{b,p}$, [-]	7

4.1.4 DIMENSIONNEMENT DE L'ONDULEUR ET DU RÉGULATEUR

Choix de l'onduleur :

Pour une bonne sécurité, l'onduleur et le régulateur doivent avoir respectivement les valeurs de puissance et du courant multipliées par le facteur de sécurité 1,25.

On trouve :

	Valeurs trouvées	Valeurs retenues
Puissance de l'Onduleur $P_{Ond}[W]$	9389,56	10 000
Le courant du régulateur $I_{rég}[A]$	130,5	130

Nous proposons un (1) onduleur triphasé PUR SINUS de $P = 1000 W$ un (1) régulateur MPPT ($I = 130 A$; $U = 48 V$).

4.1.5 DIMENSIONNEMENT DES SECTIONS DE CONDUCTEURS

Le choix est porté sur le conducteur en cuivre (résistivité $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \Omega m$, chute de tension $\Delta u = 3\%$), on détermine les sections du conducteur entre :

1°) *Panneaux – Régulateurs* :

Pour le tronçon :	Courant [A]	Section [mm^2]
Panneau – Boite de Raccordement (BR), (7m)	9,38	2,5
Boite Raccordement (BR) – Régulateur, (7m)	104	20

2°) *Régulateurs – Batteries* :

Pour le tronçon :	Courant [A]	Section [mm^2]
Régulateurs – Batteries, (5m)	104	16

3°) *Batteries – Onduleurs* :

Pour l'onduleur choisi de rendement $\eta_{Ond} = 93\%$, et de puissance $P_{Ond} = 10.000W$, on calcule le courant d'entrée de l'onduleur ($I_{e,Ond}$) :

Pour le tronçon :	Courant [A]	Section [mm^2]
Batteries – Onduleurs, (2m)	224,014	16

Le tableau 6 ci-après présente les résultats du dimensionnement en fonction des paramètres et données collectées.

Tableau 6. Résultats du dimensionnement

N°	Composants PV	Quantité
01.	Panneaux monocristallin 450 [Wc]	18
02.	Batteries d'accumulateur 12V et 200 Ah	28
03.	Onduleur triphasé PUR SINUS (220/380V)	10.000W
04.	Régulateur MPPT 48 V	130A
05.	Sections :	
✓	Panneaux PV – Boite de Raccordement (mm^2)	2,5
✓	Boite de Raccordement – Régulateurs (mm^2)	20
✓	Régulateurs – Batteries (mm^2)	16
✓	Batteries – Onduleurs (mm^2)	16

4.2 RÉSULTATS SIMULÉS

La variation de l'énergie consommée journalière en fonction du temps d'utilisation et de la puissance des groupes des récepteurs sont présentés au tableau 6 ci-dessous.

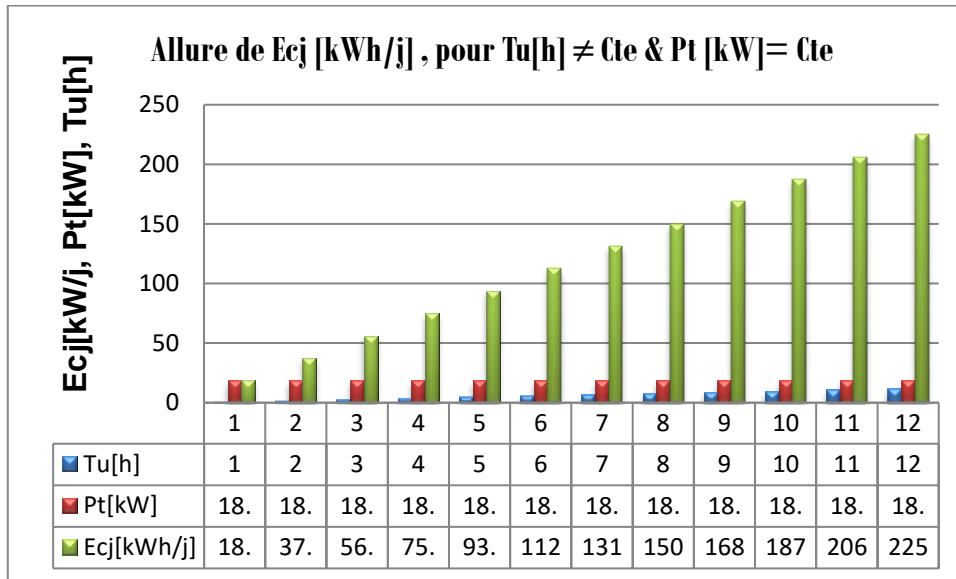


Fig. 1. L'énergie journalière E_{cj} en fonction du temps d'utilisation T_u , pour la puissance $P_T = Cte$

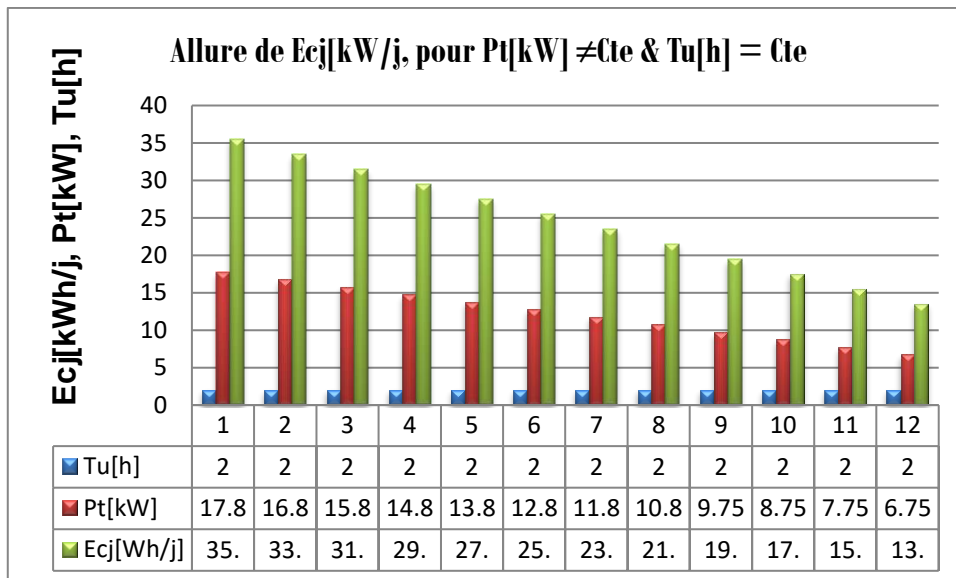


Fig. 2. L'énergie journalière E_{cj} en fonction de la puissance P_T , pour le temps d'utilisation $T_u = Cte$

En partant des relations (1) à (12), nous déduisons que la puissance crête (P_c); le nombre total des panneaux ($N_{pa,t}$), la capacité de stockage des batteries ($C_{b,t}$), le nombre total des batteries ($N_{b,t}$) ainsi que la puissance de l'onduleur (P_{ond}) sont explicitement proportionnels à l'énergie consommée journalière (E_{cj}). On trouve :

$$\begin{cases} P_c[W_c] = \alpha_1 * E_{cj} \\ N_{pa,t}[-] = \alpha_2 * E_{cj} \\ C_{b,t}[-] = \alpha_3 * E_{cj} \\ N_{b,t}[-] = \alpha_4 * E_{cj} \\ P_{ond}[W] \geq \alpha_5 * E_{cj} \end{cases} \quad (13)$$

Où $\alpha_{i(i=1 \text{ à } 5)}$ sont des valeurs à déterminées par :

$$\alpha_1 = \frac{1}{K * I_{r,moy}}; \quad \alpha_2 = \frac{1}{P_{c,pa} * K * I_{r,moy}}; \quad \alpha_3 = \frac{N_{Au}}{D * U_s}; \quad \alpha_4 = \frac{N_{Au}}{U_b * C_b * D}; \quad \alpha_5 = \frac{1,25}{K * I_{r,moy}}$$

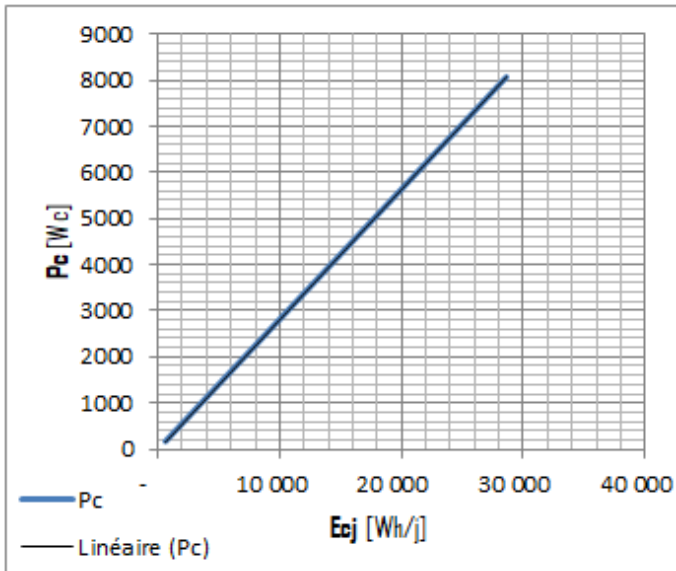


Fig. 3. Puissance crête P_c de l'énergie journalière $E_{c,j}$

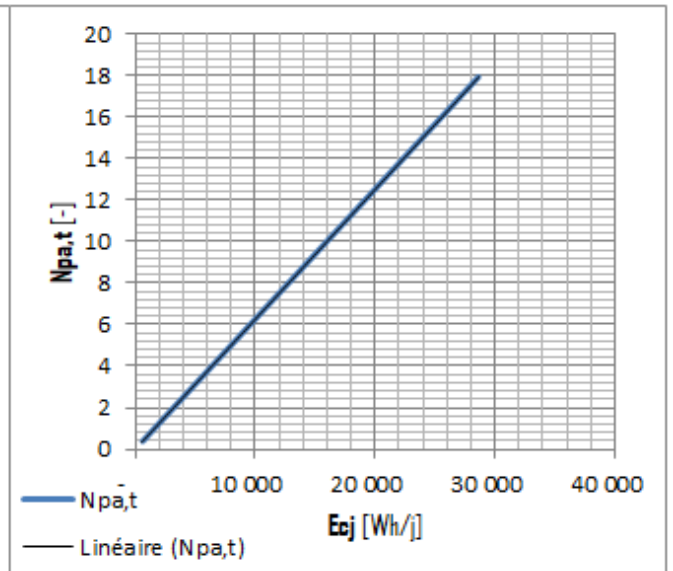


Fig. 4. Nombre de panneaux $N_{pa,t}$ en fonction de l'énergie journalière $E_{c,j}$

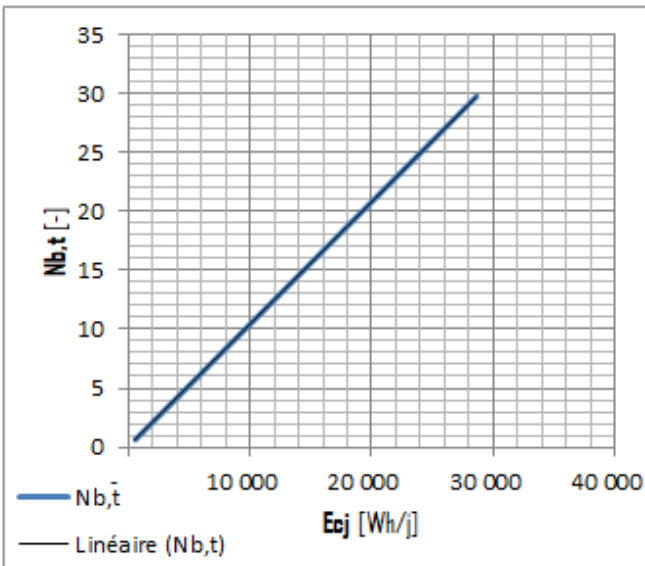


Fig. 5. Nombre total des batteries $N_{b,t}$ en fonction de l'énergie journalière $E_{c,j}$

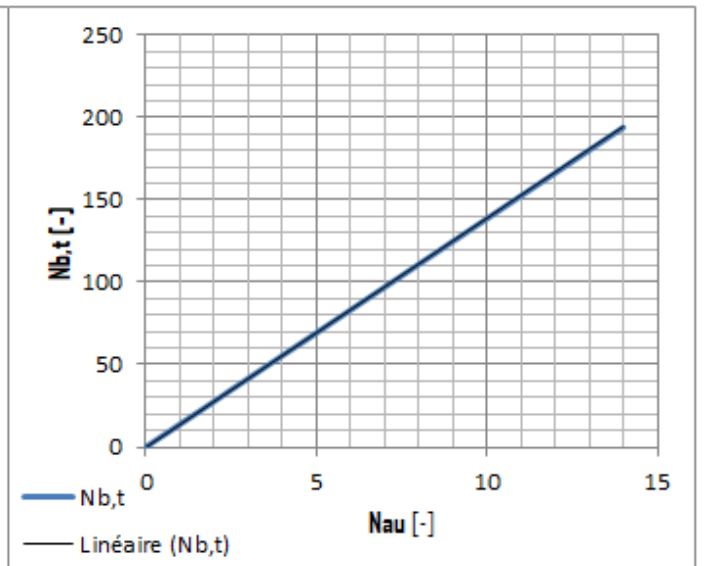


Fig. 6. Nombre total des batteries $N_{b,t}$ en fonction de jour de l'autonomie N_{Au}

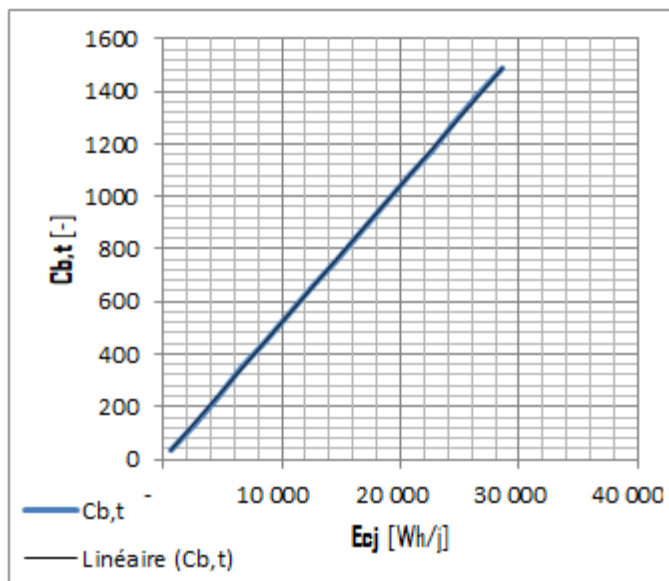


Fig. 7. Capacité de stockage des batteries $C_{b,t}$ en fonction de l'énergie journalière $E_{c,j}$

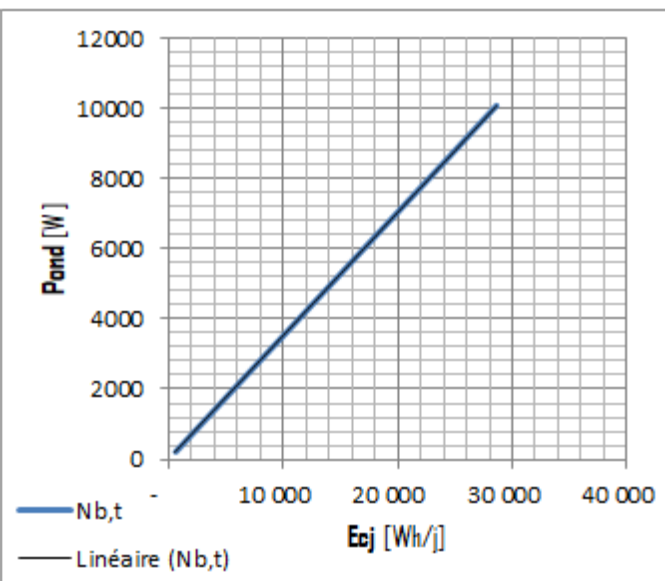


Fig. 8. Puissance crête P_{OND} en fonction de l'énergie journalière $E_{c,j}$

4.3 DISCUSSION

Sur les figures 1 et 2, nous constatons combien l'énergie consommée journalière ($E_{c,j}$) varie en fonction du temps d'utilisation et de la puissance totale installée des récepteurs. La bonne gestion de cette énergie journalière revient à la minimiser soit par la réduction de la durée d'utilisation des récepteurs ou soit par la réduction de la puissance installée des récepteurs à brancher.

Sur les figures 3 et 4, nous observons que la puissance crête totale de l'installation, nécessaire à la détermination de nombre de panneaux dans une installation, est linéairement fonction de l'énergie consommée journalière ($E_{c,j}$).

Les figures 5, 6 et 7 montrent que le nombre total des batteries à installer et la capacité de stockage des batteries augmentent linéairement en fonction de l'énergie consommée journalièrement ($E_{c,j}$) mais le nombre des batteries est aussi fonction linéaire de l'autonomie (N_{Au}) désirée pour la capacité de stockage de l'énergie. Plus l'autonomie est élevée, plus le nombre des batteries est important.

La figure 8 montre clairement que la puissance de l'onduleur à choisir est d'autant plus grande que l'énergie consommée est importante.

5 CONCLUSION

La méthode que nous venons de proposer présente une procédure simplifiée et fiable de dimensionnement d'un système photovoltaïque comme source de secours pour l'alimentation en énergie électrique d'un laboratoire informatique. Les résultats numériques et graphiques trouvés montrent combien les récepteurs consommateurs d'énergie électrique devront être choisis judicieusement afin de minimiser l'énergie consommée journalière, qui impliquerait directement une réduction de nombre des composants (panneaux photovoltaïques et batteries) et une réduction des puissances de certains composants tels que les onduleurs et les régulateurs.

REFERENCES

- [1] Association Congolaise pour les Énergies Renouvelables et Décentralisées (CERD). Le secteur des énergies renouvelables et décentralisées en République Démocratique du Congo. Mai 2021
- [2] Rapport National. *ENERGIE RENOUVELABLE POUR TOUS A L'HORIZON 2030*. Programme National et Stratégie, RDC, Août 2013
- [3] Ministère du Plan RD Congo. Cahier Sectoriel, INVESTIR DANS LE SECTEUR D'ELECTRICITE, Agence National pour la Promotion des Investissement (ANAPI). Kinshasa, Octobre 2020
- [4] AL-SHAMANI, Ali Najah ; HJ OTHMAN, Mohd Yusof ; MAT Sohif ; RUSLAN, M.H. ; ABED, Azher M. ; SOPIAN, K. *Design & Sizing of Stand-alone Solar Power Systems A house Iraq*. Solar Energy Research Institute (SERI), Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Malaysia. ISBN: 978-1-61804-303-0, pp 145 – 150
- [5] BHUIYAN, M.M.H.; ASGAR, M. Ali. *Sizing of a stand-alone photovoltaic power system at Dhaka*. Department of Physics, Bangladesh University of Engineering and Technology, Ramna, Dhaka-1000, Bangladesh, Renewable Energy 28 (2003)
- [6] SANWOGOU, Youmali, HOVA, Hoavo, YEMBI, Jean Paul, YORO BA, Hamet et LY, Ibrahima. *Conception d'un système solaire photovoltaïque pour alimenter le laboratoire de physique de l'Université de Kara, Togo*. Afrique SCIENCE 15(5) (2019), 238 - 251
- [7] ZAIRI, Soufiane et BOUBIADA, Slimane. Etude et Dimensionnement d'une centrale Photovoltaïque. Mémoire de master, Université Mohamed Khider de Biskra, Septembre 2020
- [8] AMZA, Boukhlifa. Dimensionnement technique d'une installation photovoltaïque de 300 kW. Mémoire de master, Université M'Hamed Bougara Bourmedes, Algérie, Juin 2017
- [9] KHANFARA, M ; BACHTIRI, R EL ; BOUSSETTA, M and HAMMOUMI, K EL. *Economic Sizing of a Grid-Connected Photovoltaic System: Case of GISER research project in Morocco*. International Conference on Renewable Energies and Energy Efficiency (REEE 2017), IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 161 (2018) 012006

Système de détection de la pneumonie dans les images radiographiques thoraciques

[System for pneumonia detection in chest X-ray images]

ILUNGA MBUYAMBA Elisée and MUSENGA SHAMBUYI Plamedi

Institut Supérieur de Techniques Appliquées (ISTA), 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 dark and worrying health picture characterized by the revelations made by international organizations concerning pneumonia challenged us as researchers. It is in this perspective that we decided to make our contribution to this problem by presenting a system for pneumonia detection in chest x-ray images. To achieve this goal, we used an approach based on deep learning to properly identify pathological or non-pathological radiographs by setting up a convolutional neural network called Xception. Two optimization algorithms were selected, namely Adam and SGD. The setting of hyperparameters of our convolutional neural network led us to a promising result compared to the size of our dataset. In conclusion, the obtained results in our experiments showed that the SGD optimization algorithm reached the best result of 92% accuracy on new data with a learning rate of 0.001 for 20 epochs.

KEYWORDS: Pneumonia, CNN, Xception, SGD, x-ray.

RESUME: Le tableau sanitaire sombre et inquiétant caractérisé par les révélations faites par les organisations internationales concernant la pneumonie nous a interpellés en tant que chercheur. C'est dans cette perspective que nous avons décidé d'apporter notre contribution à cette problématique en présentant un système de détection des pneumonies sur les images radiographiques thoraciques. Pour atteindre cet objectif, nous avons utilisé une approche basée sur le deep learning pour bien identifier les radiographies pathologiques ou non pathologiques en mettant en place un réseau de neurones convolutifs appelé Xception. Deux algorithmes d'optimisation ont été sélectionnés, à savoir Adam et SGD. Le paramétrage des hyperparamètres de notre réseau de neurones convolutifs nous a conduit à des résultats prometteurs par rapport à la taille de notre jeu de données. En conclusion, les résultats obtenus dans nos expériences ont montré que l'algorithme d'optimisation SGD a atteint le meilleur résultat de 92% de précision sur les nouvelles données avec un taux d'apprentissage de 0,001 pour 20 époques.

MOTS-CLEFS: Pneumonie, CNN, Xception, SGD, Radiographie.

1 INTRODUCTION

La pneumonie est la première cause infectieuse de mortalité chez l'enfant. En 2017, 808 694 d'enfants de moins de 5 ans sont décédés d'une pneumonie, soit 15% des décès dans ce groupe d'âge à l'échelle mondiale. Elle affecte les enfants et les familles partout dans le monde, mais sa prévalence est plus forte en Asie du Sud et en Afrique subsaharienne ⁽¹⁾.

1 <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/pneumonia>

Henrietta Fore, directrice générale de l'UNICEF, a déclaré : « Chaque jour, près de 2 200 enfants de moins de 5 ans meurent de pneumonie, une maladie que l'on sait pourtant soigner et éviter dans la majorité de cas ». En Afrique, tant qu'une première cause infectieuse, la pneumonie devient de plus en plus un danger permanent sur la santé de nombreux enfants ⁽²⁾.

La République Démocratique du Congo est le quatrième pays au monde parmi les pays les plus touchés par la pneumonie. Après le Nigeria, l'Inde et le Pakistan. En 2016, cette maladie a causé la mort de 29 500 enfants de moins de 5 ans, en 2018, cette maladie a causé la mort de près de 40 000 enfants de moins de 5 ans. Et chaque année près de cinq enfants âgés de moins de 5 ans meurent chaque heure de la pneumonie en RDC.

Selon le plan Global de lutte contre la pneumonie (GAPPD), il est possible de réduire le taux de mortalité infantile lié à cette maladie en République Démocratique du Congo. Et cette réduction du taux de mortalité infantile passe par un bon diagnostic afin d'une prise en charge adéquate.

L'administration de soins convenables dépend du niveau de formation du personnel de santé à diagnostiquer et à détecter correctement la pneumonie. Ce qui permettra une bonne prise en charge et un traitement adapté. Or, en République de Démocratique du Congo, outre dans des grandes villes, nous avons de sérieux problèmes pour identifier et traiter la pneumonie à cause du manque de formation du personnel soignant et de l'insuffisance des équipements médicaux appropriés.

Selon une étude menée par le PATH sur la pneumonie en RDC, approximativement 40 pour cent des prestataires de santé interrogés n'avaient jamais reçu de formation sur la pneumonie et que les erreurs d'interprétations des clichés radiographiques étaient l'un des obstacles pour un bon diagnostic de la pneumonie ⁽³⁾. C'est dans cette optique que nous avons jugé bon de mettre en place un système de détection de la pneumonie via les images radiographies thoraciques.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

Il est difficile à tout chercheur de réaliser un travail scientifique sans pour autant faire recours à certains procédés intellectuels pouvant bien orienter son objet d'étude, il s'agit donc des matériels et méthodes de recherches.

2.1 MATÉRIELS

Dans cette partie, nous présenterons le dataset que nous utiliserons et les outils qui nous permettront de mettre en place le système de détection de la pneumonie ⁽⁴⁾. Après avoir présenté le dataset et les outils que nous utiliserons, nous introduirons une variante du CNN ⁽⁵⁾ appelé « Xception ».

2.1.1 PRÉSENTATION DU JEU DE DONNÉES

Dans le cadre de notre travail, nous utilisons un dataset de la plate-forme web Kaggle ⁽⁶⁾ pour entraîner notre modèle. L'ensemble de données est organisé en 2 dossiers, le TRAIN_SET et le TEST_SET. Ces dossiers contiennent à leur tour deux sous-dossiers, un sous-dossier contenant les images pathologiques et un autre sous-dossier contenant les images normales (voir la figure 1).

Nous avons fait recours à cette plate-forme web à cause du nombre des clichés radiographiques que nous avons besoin pour entraîner notre modèle. Cet ensemble des données contient 5 863 images radiographiques (JPEG) et 2 catégories (Pathologique / Normale).

2 SIMON Jean-Jacques, <https://www.unicef.org/drcongo/communiqués-de-presse/pneumonie-plusieurs-organismes-tirent-sonnette-alarme>

3 Analyse du paysage du Marché de la pneumonie en République Démocratique du Congo (RDC), USA, 2018, p.21

4 <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/pneumonia>.

5 Nikhil Buduma and Nicholas Lacascio, Fundamentals of Deep Learning Designing Next-Generation Machine Intelligence Algorithms, Usa, 2017, p.81

6 <https://www.kaggle.org>

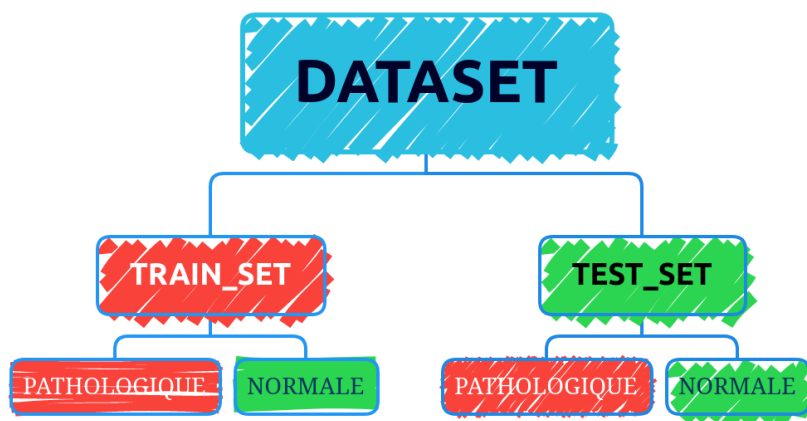


Fig. 1. Représentation du jeu de données

2.1.2 XCEPTION⁽⁷⁾

Xception est une architecture de réseau de neurones à convolution profonde qui implique des convolutions séparables en profondeur. Il a été développé par les chercheurs de Google. Google a présenté une interprétation des modules Inception dans les réseaux de neurones convolutifs comme étant une étape intermédiaire entre la convolution régulière et l'opération de convolution séparable en profondeur (une convolution en profondeur suivie d'une convolution ponctuelle). Dans cette optique, une convolution séparable en profondeur peut être comprise comme un module Inception avec un nombre maximal de tours. Cette observation les amène à proposer une nouvelle architecture de réseau de neurones à convolution profonde inspirée d'Inception, où les modules Inception ont été remplacés par des convolutions séparables en profondeur.

2.1.2.1 L'ARCHITECTURE XCEPTION

Une autre variante de l'architecture GoogLeNet⁽⁸⁾ est également à noter : Xception (qui signifie Extrême Inception) a été proposé en 2016 par François Chollet (l'auteur de Keras), et il a largement surpassé Inception-v3 sur une énorme tâche de vision (350 millions d'images et 17 000 classes). Tout comme Inception-v4, il fusionne également les idées de GoogLeNet et ResNet, mais il remplace les modules de création par un type de couche appelé convolution séparable en profondeur (ou convolution séparable tout court). Ces couches avaient déjà été utilisées dans certaines architectures CNN, mais elles n'étaient pas aussi centrales que dans l'architecture Xception. Alors qu'une couche convolutive régulière utilise des filtres qui tentent de capturer simultanément des motifs spatiaux (par exemple, un ovale) et modèles de canaux (par exemple, bouche + nez + yeux = visage), une couche convolutive séparable fait l'hypothèse forte que les modèles spatiaux et les modèles transcanaux peuvent être modélisés séparément (tel qu'illustré dans la figure 14). Ainsi, il est composé de deux parties : la première partie applique un seul filtre spatial pour chaque carte d'entités en entrée, puis la deuxième partie regarde exclusivement pour les modèles cross-canal - c'est juste une couche convolutive régulière avec filtres 1×1 .

2.2 MÉTHODES

D'après MADELEINE, GRAWITZ, la méthode est l'ensemble des opérations intellectuelles par lesquelles une discipline cherche à atteindre les vérités qu'elle poursuit, les démontre, les vérifie⁽⁹⁾.

Pour élaborer ce travail, nous avons commencé par :

Importer les modules python pour l'apprentissage automatique et la datascience que nous utiliserons dans notre système.

7 CHOLLET, François, Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions, 2016

8 Aurélien Géron, Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn and TensorFlow, canada, O'Reilly Media, p.368, 2017.

9 M.GRAWITZ, Méthode en sciences sociales, Paris, Dalloz 1986, p.15

```
import os
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import tensorflow as tf
from tensorflow import keras
from tensorflow.keras import layers
```

Une fois l'importation terminée, nous créons une fonction pour filtrer les images corrompues. Celle-ci ne prend aucun paramètre, elle a une variable qui est initialisée à 0, cette variable nous aide à comptabiliser le nombre des images corrompues.

Après avoir filtré le dataset, nous générons un nouveau dataset à partir de ce dernier. Celui-ci est également subdivisé en deux parties, le `train_set` et le `validation_set`.

Nous créons une fonction python pour visualiser les images contenues dans notre dataset. Pour ce faire, nous utilisons Matplotlib, une bibliothèque python pour le traçage et visualisation des données sous formes de graphiques.

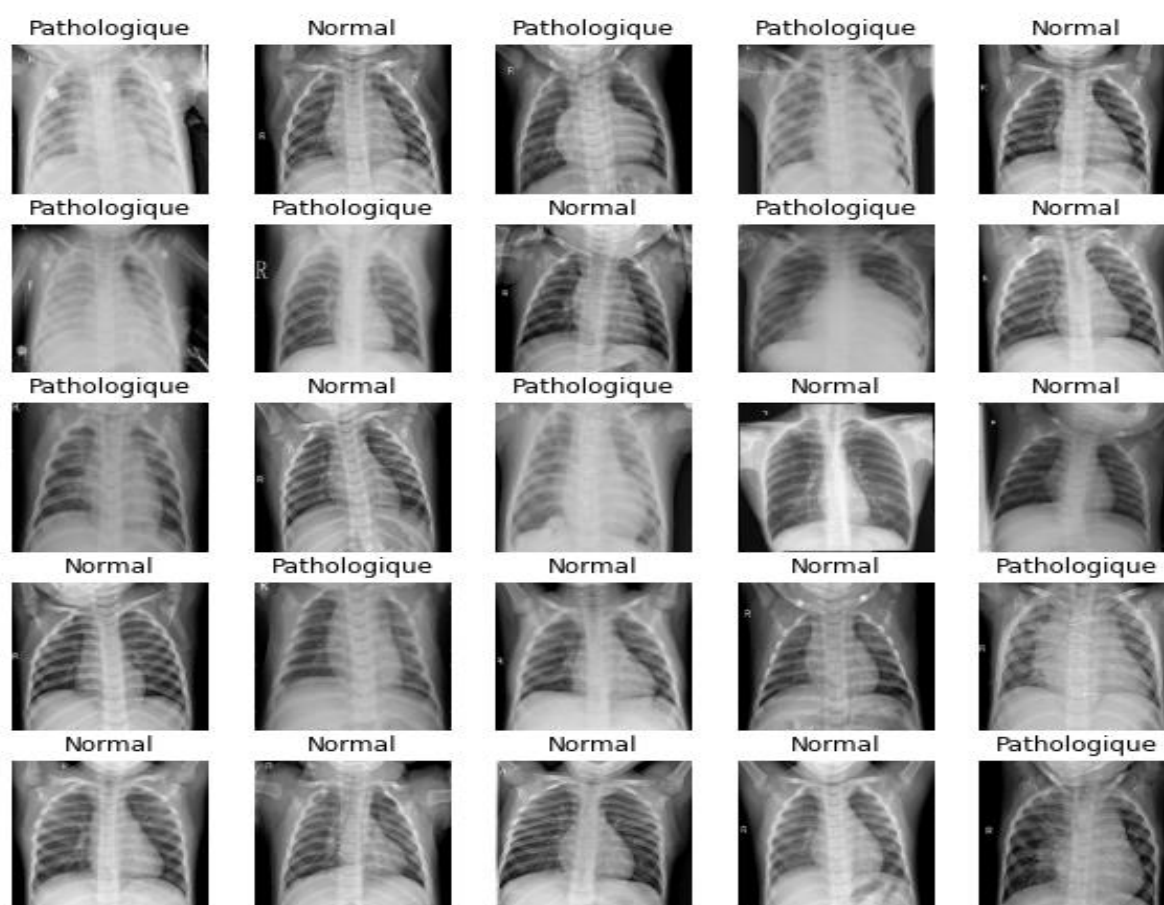


Fig. 2. Visualisation de notre dataset

Après cette étape de visualisation, nous allons maintenant faire le pré-traitement de nos données.

Comme nous ne disposons pas d'un grand ensemble de données nous appliquons des transformations aléatoires⁽¹⁰⁾ à notre jeu de données d'entraînement, ces transformations permettent d'exposer notre modèle à différents aspects des données d'entraînement tout en ralentissant le surajustement.

10 Ian Goodfellow et al, Deep Learning, 2016, p.240

```
data_augmentation = keras.Sequential(  
    [  
        layers.experimental.preprocessing.RandomFlip("horizontal"),  
        layers.experimental.preprocessing.RandomRotation(0.1),  
    ]  
)
```

Le pré-traitement nous aidera à redimensionner les valeurs d'entrée dans une nouvelle plage de valeurs. Pour ce faire nous allons définir une variable nommée `inputs`, dans laquelle nous appelons la classe `keras.Input` qui prendra comme paramètre une matrice à 3 dimensions représentant la taille d'une image d'entrée.

```
inputs = keras.Input(shape=(180, 180, 3))
```

Nous définissons une autre variable `x` pour stocker la classe `layers.experimental.preprocessing.Rescaling` dans laquelle nous passons `1./255` comme paramètre enfin de redimensionner nos images d'entrée en une valeur comprise dans l'intervalle fermée de `[0, 1]`.

```
x = data_augmentation(inputs)  
x = layers.experimental.preprocessing.Rescaling(1./255)(x)
```

Enfin, nous mettons en place un modèle prédéfini d'apprentissage profond `Xception` pour notre travail. Notre modèle sera contenu dans une fonction python nommée `make_model`. Celle-ci prend deux paramètres, le premier est `input_shape` et le second `num_classes`.

3 RÉSULTATS

Nous ajusterons deux hyperparamètres⁽¹¹⁾ de notre modèle pour trouver un excellent modèle. Ce deux hyperparamètres sont l'algorithme d'optimisation⁽¹²⁾ et le taux d'apprentissage ou le learning rate⁽¹³⁾.

Nous commencerons l'entraînement par l'algorithme d'optimisation Adam et un learning rate de 0.001, 0.01 et 0.5 pour 30 epoch, nous visualiserons les résultats pour des données d'entraînement et de validation. Nous terminerons avec un autre algorithme d'optimisation qui est le SGD et un learning rate de 0.001 pour 20 epoch, nous visualiserons une fois de plus les résultats pour des données d'entraînement et de validation.

3.1 L'ALGORITHME D'OPTIMISATION ADAM⁽¹⁴⁾

L'algorithme d'optimisation d'Adam est une méthode de descente de gradient stochastique basée sur l'estimation adaptative des moments du premier ordre. Selon Kingma et al., 2014, la méthode est « efficace du point de vue informatique, nécessite peu de mémoire, est invariante au redimensionnement diagonal des gradients et est bien adaptée aux problèmes volumineux en termes de données/paramètres ».

11 Opcit, p.120

12 Dimitri P. Bertsekas, Convex Optimization Algorithms, Usa, Athena Scientific, 2015, p.53.

13 Christopher M. Bishop, Pattern Recognition and Machine Learning, Californie, springer, 2006, p.240

14 Opcit, p.81

3.1.1 FORMATION DU MODÈLE À L'AIDE D'ADAM AVEC UN LEARNING RATE DE 0.001

3.1.1.1 FORMATION DU MODÈLE

```
Entrée [11]: # Nous formons notre modèle avec 30 itérations
# une learning rate de 0.001.
epochs = 30

callbacks = [
    keras.callbacks.ModelCheckpoint("save_at_{epoch}.h5"),
]
model.compile(
    optimizer=keras.optimizers.Adam(learning_rate=0.001),
    loss="binary_crossentropy",
    metrics=["accuracy"],
)
```

Fig. 3. Formation du modèle en utilisant Adam comme algorithme d'optimisation et un learning rate de 0.001

3.1.1.2 ENTRAÎNEMENT DU MODÈLE

```
Entrée [12]: my_model = model.fit(
    train_ds, epochs=epochs, callbacks=callbacks, validation_data=val_ds,
)

Epoch 1/30
27/27 [=====] - 328s 10s/step - loss: 0.4729 - accuracy: 0.7777 - val_loss: 0.7552 - val_
accuracy: 0.5116
Epoch 2/30
27/27 [=====] - 228s 8s/step - loss: 0.3011 - accuracy: 0.8913 - val_loss: 1.0145 - val_a
ccuracy: 0.5116
Epoch 3/30
27/27 [=====] - 214s 8s/step - loss: 0.2567 - accuracy: 0.9071 - val_loss: 1.2882 - val_a
accuracy: 0.5116
Epoch 4/30
27/27 [=====] - 216s 8s/step - loss: 0.2664 - accuracy: 0.8993 - val_loss: 1.8764 - val_a
ccuracy: 0.5116
Epoch 5/30
27/27 [=====] - 227s 8s/step - loss: 0.1866 - accuracy: 0.9339 - val_loss: 2.4609 - val_a
ccuracy: 0.5116
Epoch 6/30
27/27 [=====] - 213s 8s/step - loss: 0.2234 - accuracy: 0.8952 - val_loss: 3.3561 - val_a
ccuracy: 0.5116
Epoch 7/30
27/27 [=====] - 220s 8s/step - loss: 0.2207 - accuracy: 0.9005 - val_loss: 3.8762 - val_a
ccuracy: 0.5116
Epoch 8/30
27/27 [=====] - 213s 7s/step - loss: 0.2160 - accuracy: 0.9081 - val_loss: 4.7944 - val_a
ccuracy: 0.5116
Epoch 9/30
27/27 [=====] - 213s 8s/step - loss: 0.2258 - accuracy: 0.9143 - val_loss: 4.7980 - val_a
ccuracy: 0.5116
Epoch 10/30
27/27 [=====] - 217s 8s/step - loss: 0.1960 - accuracy: 0.9282 - val_loss: 5.5155 - val_a
ccuracy: 0.5116
Epoch 11/30
```

Fig. 4. Entraînement du modèle en utilisant Adam comme algorithme d'optimisation et un learning rate de 0.001

3.1.1.3 VISUALISATION DES RÉSULTATS

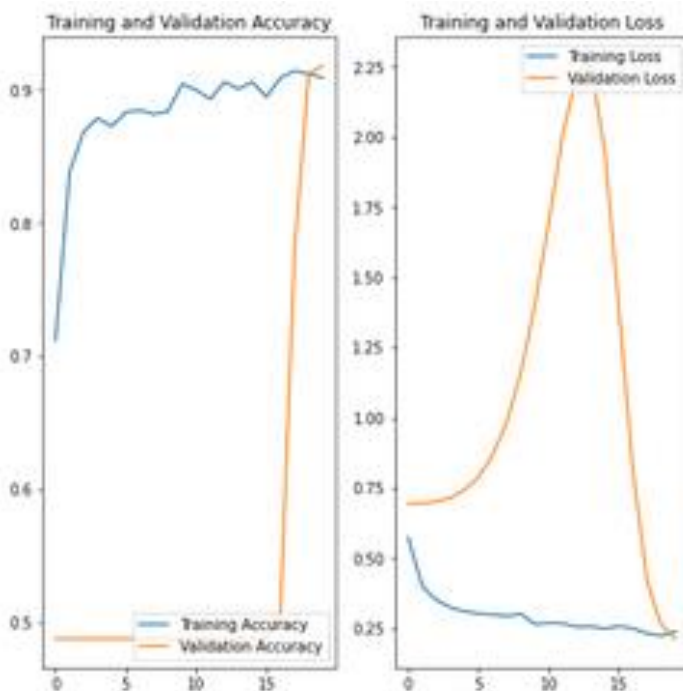


Fig. 5. Visualisation des résultats en utilisant Adam comme algorithme d'optimisation et un learning rate de 0.001

3.1.2 FORMATION DU MODÈLE À L'AIDE D'ADAM AVEC UN LEARNING RATE DE 0.01

3.1.2.1 FORMATION DU MODÈLE

Formation du modèle

```
Entrée [11]: # Nous formons notre modèle avec 30 itérations
# une learning rate de 0.01.
epochs = 30

callbacks = [
    keras.callbacks.ModelCheckpoint("save_at_{epoch}.h5"),
]
model.compile(
    optimizer=keras.optimizers.Adam(learning_rate=0.01),
    loss="binary_crossentropy",
    metrics=["accuracy"],
)
```

Fig. 6. Formation du modèle en utilisant Adam comme algorithme d'optimisation et un learning rate de 0.01

3.1.2.2 ENTRAÎNEMENT DU MODÈLE

```

Entrée [12]: my_model = model.fit(
              train_ds, epochs=epochs, callbacks=callbacks, validation_data=val_ds,
              )

Epoch 1/30
27/27 [=====] - 336s 11s/step - loss: 1.0023 - accuracy: 0.7216 - val_loss: 7.6757 - val_
accuracy: 0.5116 -
Epoch 2/30
27/27 [=====] - 225s 8s/step - loss: 0.5756 - accuracy: 0.7485 - val_loss: 1.7782 - val_a
ccuracy: 0.5116
Epoch 3/30
27/27 [=====] - 222s 8s/step - loss: 0.4663 - accuracy: 0.8128 - val_loss: 11.6806 - val_
accuracy: 0.5116
Epoch 4/30
27/27 [=====] - 217s 8s/step - loss: 0.4434 - accuracy: 0.8275 - val_loss: 3.2045 - val_a
ccuracy: 0.5116
Epoch 5/30
27/27 [=====] - 211s 8s/step - loss: 0.3036 - accuracy: 0.8893 - val_loss: 0.4953 - val_a
ccuracy: 0.8233
Epoch 6/30
27/27 [=====] - 213s 7s/step - loss: 0.3229 - accuracy: 0.8708 - val_loss: 4.0316 - val_a
ccuracy: 0.5116
Epoch 7/30
27/27 [=====] - 214s 8s/step - loss: 0.3296 - accuracy: 0.8640 - val_loss: 1.0328 - val_a
ccuracy: 0.6093
Epoch 8/30
27/27 [=====] - 211s 7s/step - loss: 0.3228 - accuracy: 0.8943 - val_loss: 0.6950 - val_a
ccuracy: 0.7628
Epoch 9/30
27/27 [=====] - 212s 8s/step - loss: 0.3197 - accuracy: 0.8705 - val_loss: 2.1595 - val_a
ccuracy: 0.5674
Epoch 10/30
27/27 [=====] - 220s 8s/step - loss: 0.3269 - accuracy: 0.8594 - val_loss: 1.6111 - val_a
ccuracy: 0.5395
Epoch 11/30
27/27 [=====] - 217s 8s/step - loss: 0.3269 - accuracy: 0.8594 - val_loss: 1.6111 - val_a
ccuracy: 0.5395
Epoch 12/30
27/27 [=====] - 217s 8s/step - loss: 0.3269 - accuracy: 0.8594 - val_loss: 1.6111 - val_a
ccuracy: 0.5395
Epoch 13/30
27/27 [=====] - 217s 8s/step - loss: 0.3269 - accuracy: 0.8594 - val_loss: 1.6111 - val_a
ccuracy: 0.5395
Epoch 14/30
27/27 [=====] - 217s 8s/step - loss: 0.3269 - accuracy: 0.8594 - val_loss: 1.6111 - val_a
ccuracy: 0.5395
Epoch 15/30
27/27 [=====] - 217s 8s/step - loss: 0.3269 - accuracy: 0.8594 - val_loss: 1.6111 - val_a
ccuracy: 0.5395
Epoch 16/30
27/27 [=====] - 217s 8s/step - loss: 0.3269 - accuracy: 0.8594 - val_loss: 1.6111 - val_a
ccuracy: 0.5395
Epoch 17/30
27/27 [=====] - 217s 8s/step - loss: 0.3269 - accuracy: 0.8594 - val_loss: 1.6111 - val_a
ccuracy: 0.5395
Epoch 18/30
27/27 [=====] - 217s 8s/step - loss: 0.3269 - accuracy: 0.8594 - val_loss: 1.6111 - val_a
ccuracy: 0.5395
Epoch 19/30
27/27 [=====] - 217s 8s/step - loss: 0.3269 - accuracy: 0.8594 - val_loss: 1.6111 - val_a
ccuracy: 0.5395
Epoch 20/30
27/27 [=====] - 217s 8s/step - loss: 0.3269 - accuracy: 0.8594 - val_loss: 1.6111 - val_a
ccuracy: 0.5395
Epoch 21/30
27/27 [=====] - 217s 8s/step - loss: 0.3269 - accuracy: 0.8594 - val_loss: 1.6111 - val_a
ccuracy: 0.5395
Epoch 22/30
27/27 [=====] - 217s 8s/step - loss: 0.3269 - accuracy: 0.8594 - val_loss: 1.6111 - val_a
ccuracy: 0.5395
Epoch 23/30
27/27 [=====] - 217s 8s/step - loss: 0.3269 - accuracy: 0.8594 - val_loss: 1.6111 - val_a
ccuracy: 0.5395
Epoch 24/30
27/27 [=====] - 217s 8s/step - loss: 0.3269 - accuracy: 0.8594 - val_loss: 1.6111 - val_a
ccuracy: 0.5395
Epoch 25/30
27/27 [=====] - 217s 8s/step - loss: 0.3269 - accuracy: 0.8594 - val_loss: 1.6111 - val_a
ccuracy: 0.5395
Epoch 26/30
27/27 [=====] - 217s 8s/step - loss: 0.3269 - accuracy: 0.8594 - val_loss: 1.6111 - val_a
ccuracy: 0.5395
Epoch 27/30
27/27 [=====] - 217s 8s/step - loss: 0.3269 - accuracy: 0.8594 - val_loss: 1.6111 - val_a
ccuracy: 0.5395
Epoch 28/30
27/27 [=====] - 217s 8s/step - loss: 0.3269 - accuracy: 0.8594 - val_loss: 1.6111 - val_a
ccuracy: 0.5395
Epoch 29/30
27/27 [=====] - 217s 8s/step - loss: 0.3269 - accuracy: 0.8594 - val_loss: 1.6111 - val_a
ccuracy: 0.5395
Epoch 30/30
27/27 [=====] - 217s 8s/step - loss: 0.3269 - accuracy: 0.8594 - val_loss: 1.6111 - val_a
ccuracy: 0.5395

```

Fig. 7. Entraînement du modèle en utilisant Adam comme algorithme d'optimisation et un learning rate de 0.01

3.1.2.3 VISUALISATION DE RÉSULTATS

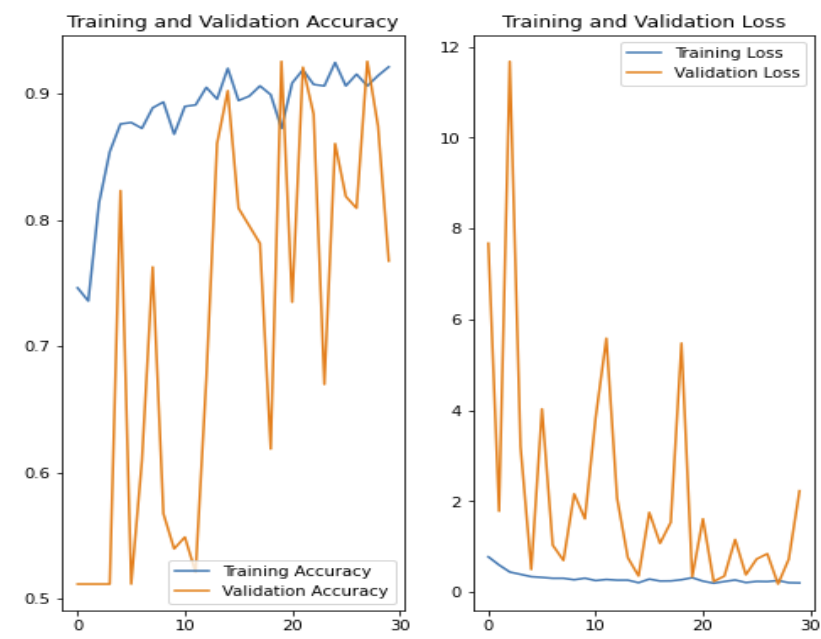


Fig. 8. Visualisation des résultats en utilisant Adam comme algorithme d'optimisation et un learning rate de 0.01

3.1.3 FORMATION DU MODÈLE À L'AIDE D'ADAM AVEC UN LEARNING RATE DE 0.5

3.1.3.1 FORMATION DU MODÈLE

```
Entrée [12]: # Nous formons notre modèle avec 30 itérations
# une learning rate de 0.5.
epochs = 30

callbacks = [
    keras.callbacks.ModelCheckpoint("save_at_{epoch}.h5"),
]
model.compile(
    optimizer=keras.optimizers.Adam(learning_rate=0.5),
    loss="binary_crossentropy",
    metrics=["accuracy"],
)
```

Fig. 9. Formation du modèle en utilisant Adam comme algorithme d'optimisation et un learning rate de 0.5

3.1.3.2 ENTRAÎNEMENT DU MODÈLE

```
Entrée [13]: my_model = model.fit(
    train_ds, epochs=epochs, callbacks=callbacks, validation_data=val_ds,
)

Epoch 1/30
42/42 [=====] - 456s 9s/step - loss: 21.6253 - accuracy: 0.5235 - val_loss: 3825.9451 - val_accuracy: 0.4879
Epoch 2/30
42/42 [=====] - 348s 8s/step - loss: 0.7501 - accuracy: 0.5753 - val_loss: 158.3917 - val_accuracy: 0.4879
Epoch 3/30
42/42 [=====] - 326s 8s/step - loss: 0.5995 - accuracy: 0.6780 - val_loss: 1.1470 - val_accuracy: 0.5152
Epoch 4/30
42/42 [=====] - 323s 7s/step - loss: 0.5389 - accuracy: 0.7372 - val_loss: 0.7813 - val_accuracy: 0.6758
Epoch 5/30
42/42 [=====] - 332s 8s/step - loss: 0.5772 - accuracy: 0.7199 - val_loss: 43.0439 - val_accuracy: 0.4879
Epoch 6/30
42/42 [=====] - 346s 8s/step - loss: 0.5282 - accuracy: 0.7376 - val_loss: 510.4443 - val_accuracy: 0.4879
Epoch 7/30
42/42 [=====] - 327s 8s/step - loss: 0.5327 - accuracy: 0.7514 - val_loss: 193.0438 - val_accuracy: 0.4879
Epoch 8/30
42/42 [=====] - 321s 7s/step - loss: 0.4948 - accuracy: 0.7600 - val_loss: 84.7816 - val_accuracy: 0.4879
Epoch 9/30
42/42 [=====] - 349s 8s/step - loss: 0.5301 - accuracy: 0.7662 - val_loss: 4.1127 - val_accuracy: 0.5455
Epoch 10/30
42/42 [=====] - 346s 8s/step - loss: 0.5710 - accuracy: 0.7354 - val_loss: 54.9729 - val_accuracy: 0.5121
Epoch 11/30
```

Fig. 10. Entraînement du modèle en utilisant Adam comme algorithme d'optimisation et un learning rate de 0.5

3.1.3.3 VISUALISATION DE RÉSULTATS

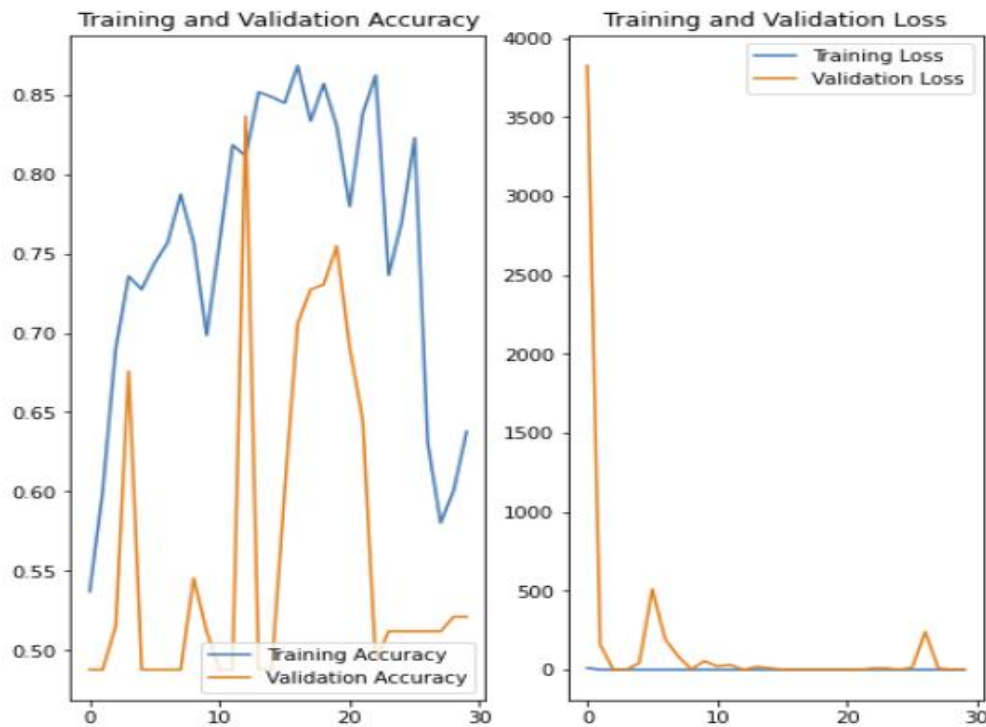


Fig. 11. Visualisation des résultats en utilisant Adam comme algorithme d'optimisation et un learning rate de 0.5

3.2 L'ALGORITHME D'OPTIMISATION SGD⁽¹⁵⁾

L'algorithme d'optimisation SGD est la stratégie d'optimisation la plus populaire et presque idéale pour les tâches d'apprentissage en profondeur. Il essaie d'apprendre le paramètre optimal (ici les poids) pour lequel le gradient de la fonction de perte est minimum. Un dégradé n'est rien d'autre que la pente, la tangente ou la valeur différenciée en ce point.

3.2.1 FORMATION DU MODÈLE AVEC UN LEARNING RATE DE 0.001

3.2.1.1 FORMATION DU MODÈLE

```
Entrée [11]: # Nous formons notre modèle avec 20 itérations
# une learning rate de 0.001.
epochs = 20

callbacks = [
    keras.callbacks.ModelCheckpoint("save_at_{epoch}.h5"),
]
model.compile(
    optimizer=keras.optimizers.SGD(learning_rate=0.001),
    loss="binary_crossentropy",
    metrics=["accuracy"],
)
```

Fig. 12. Formation du modèle en utilisant SGD comme algorithme d'optimisation avec un learning rate de 0.001

3.2.1.2 ENTRAÎNEMENT DU MODÈLE

```

Epoch 9/20
42/42 [=====] - 322s 7s/step - loss: 0.2978 - accuracy: 0.8780 - val_loss: 1.1571 - val_a
ccuracy: 0.4879
Epoch 10/20
42/42 [=====] - 417s 10s/step - loss: 0.2440 - accuracy: 0.9063 - val_loss: 1.3992 - val_
accuracy: 0.4879
Epoch 11/20
42/42 [=====] - 325s 8s/step - loss: 0.2666 - accuracy: 0.9025 - val_loss: 1.6961 - val_a
ccuracy: 0.4879
Epoch 12/20
42/42 [=====] - 452s 11s/step - loss: 0.2569 - accuracy: 0.8952 - val_loss: 2.0092 - val_
accuracy: 0.4879
Epoch 13/20
42/42 [=====] - 327s 8s/step - loss: 0.2372 - accuracy: 0.9151 - val_loss: 2.2223 - val_a
ccuracy: 0.4879
Epoch 14/20
42/42 [=====] - 388s 9s/step - loss: 0.2390 - accuracy: 0.9057 - val_loss: 2.2535 - val_a
ccuracy: 0.4879
Epoch 15/20
42/42 [=====] - 326s 8s/step - loss: 0.2495 - accuracy: 0.9092 - val_loss: 1.9416 - val_a
ccuracy: 0.4879
Epoch 16/20
42/42 [=====] - 323s 7s/step - loss: 0.2640 - accuracy: 0.8789 - val_loss: 1.3799 - val_a
ccuracy: 0.4879
Epoch 17/20
42/42 [=====] - 327s 8s/step - loss: 0.2270 - accuracy: 0.9166 - val_loss: 0.8044 - val_a
ccuracy: 0.5091
Epoch 18/20
42/42 [=====] - 340s 8s/step - loss: 0.2235 - accuracy: 0.9124 - val_loss: 0.4153 - val_a
ccuracy: 0.7788
Epoch 19/20
42/42 [=====] - 336s 8s/step - loss: 0.2272 - accuracy: 0.9102 - val_loss: 0.2623 - val_a
ccuracy: 0.9121
Epoch 20/20
42/42 [=====] - 382s 9s/step - loss: 0.2384 - accuracy: 0.9064 - val_loss: 0.2130 - val_a
ccuracy: 0.9182
    
```

Fig. 13. Entraînement du modèle en utilisant SGD comme algorithme d'optimisation avec un learning rate de 0.001

3.2.1.3 VISUALISATION DE RÉSULTATS

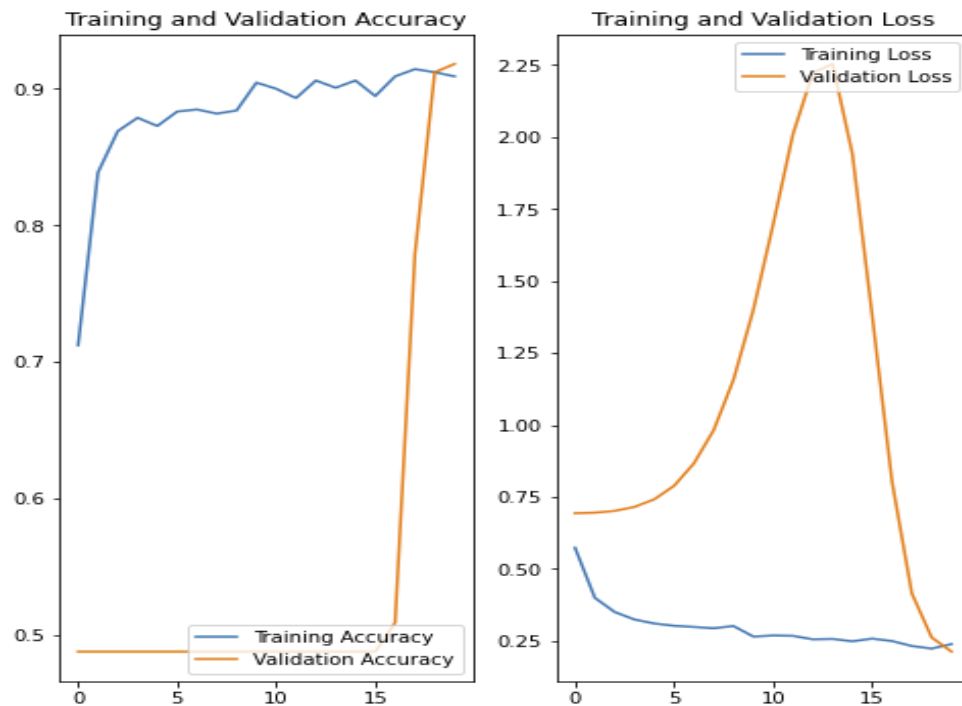


Fig. 14. Visualisation des résultats du modèle en utilisant SGD comme algorithme d'optimisation avec un learning rate de 0.001

3.3 TABLEAU COMPARATIF DES RÉSULTATS

Tableau 1. Tableau comparatif des résultats

Optimizer	2 Couches Xception		Nbre epoch	Learning rate	Train accuracy	Validation accuracy	Train loss	Validation loss	Image size	Batch size
	1 ^{er} couche	2 ^e couche								
Adam	C-cov	C-cov	30	0.001	93	75	25	100	180	32
	32	64								
	Stride	Stride								
	2	2								
	Padding	Padding								
same	same	30	0.5	65	52	60	70	180	32	
Sgd	C-cov	C-cov	20	0.001	91	92	23	21	180	32
	32	64								
	Stride	Stride								
	2	2								
	Padding	Padding								
same	same									

4 DISCUSSION

Au point 3.1.1, nous avons commencé avec l’algorithme d’optimisation Adam et un learning rate de 0.001. Après l’entraînement nous avons constaté que notre modèle n’apprend pas bien sur les données. La précision de ce modèle aux données d’entraînement est bonne mais quand nous le mettons face aux données de validation notre modèle fait des mauvaises prédictions (voir la figure 5). Or dans l’apprentissage machine, le plus important est la capacité qu’a le modèle à généraliser, c’est-à-dire à faire des bonnes prédictions sur des nouvelles données. Ce qui n’est pas le cas pour ce modèle. Comme conclusion, nous ne pouvons pas retenir un modèle avec cette valeur de learning rate, parce qu’il fera des mauvaises prédictions sur les données de validation.

Au point 3.1.2, nous avons opté pour une nouvelle valeur de learning rate, celle-ci est de 0.01. Pour cette valeur de learning rate, nous avons constaté que notre réseau de neurones n’apprend pas. La précision sur les données d’entraînement est bonne mais sa précision sur les données de validation n’est pas bonne (voir la figure 8). Comme conclusion, nous pouvons dire qu’il est difficile de retenir ce modèle pour notre système parce qu’il a un taux d’erreur très élevés sur les données.

Après avoir essayé l’algorithme d’optimisation Adam avec un learning rate de 0.001 et de 0.01, nous allons maintenant essayer avec un learning rate de 0.5. Après avoir entraîné notre modèle, nous avons pu constater que le modèle n’apprend toujours pas bien sur nos données, cette fois la précision sur les données d’entraînement et sur les données de validation a considérablement diminuer au lieu d’augmenter (voir la figure 11).

Nous savons que pour valider un modèle nous devons ajuster les hyperparamètres de ce modèle pour pouvoir minimiser l’erreur d’apprentissage ou la fonction de perte. Or dans notre cas, quand nous avons utilisé l’algorithme d’optimisation Adam, nous n’avons pas pu minimiser la fonction de perte de notre modèle. Nous allons à présent essayer un autre algorithme d’optimisation qui est le Sgd.

Notons que notre réseau de neurones artificiel atteint des bonnes valeurs de prédiction lorsqu’il est aux environs de 19 et 20 epoch, après ces deux valeurs la qualité de prédiction a tendance à rester constante, voilà pourquoi pour cet algorithme d’optimisation nous avons utilisé 20 epochs.

Pour l’algorithme d’optimisation SGD, nous avons utilisé un learning rate (taux d’apprentissage) de 0.001. Après l’entraînement de notre modèle, nous avons pu constater que la précision (accuracy) sur les données d’entraînement est bonne, elle est de 91 %. La précision sur les données de validation est de 92 %. Le taux d’erreur, soit l’erreur d’entraînement tout comme

pour l'erreur de validation est aussi minimiser (voir la figure 14). Vu la taille de notre dataset et la puissance de calcul que nous disposons actuellement, nous ne sommes pas à mesure d'améliorer la précision de notre modèle sur les données de validation en passant de 92 % à 97 ou 98 %.

Nous pouvons conclure en disant qu'en utilisant l'algorithme d'optimisation Sgd et un learning rate (taux d'apprentissage) de 0.001, notre modèle a atteint une bonne capacité de généralisation, parce qu'il arrive à faire des prédictions correctes sur de nouvelles données, qui n'ont pas été utilisées pour le construire.

5 CONCLUSION

Au terme de notre travail, nous avons dans un premier temps examiner les effets néfastes de la pneumonie sur la santé des enfants de moins de cinq ans dans le monde entier, puis nous nous sommes concentrés sur la situation de cette maladie en République Démocratique du Congo en nous appuyant sur des rapports et analyses effectués par des organismes nationaux et internationaux.

Pour concevoir ce système de détection de la pneumonie, nous avons utilisé une approche basée sur l'intelligence artificielle en utilisant les réseaux de neurone convolutif. Étant donné que les réseaux de neurones convolutifs ont plusieurs variantes, nous avons utilisé dans le cadre de notre travail un réseau convolutif appelé « Xception » qui est un réseau convolutif développé par Google. Ce réseau remplace les modules de création par un type de couche appelé convolution séparable en profondeur, alors qu'une couche convolutive régulière utilise des filtres qui tentent de capturer simultanément des motifs spatiaux et modèles de canaux, une couche convolutive séparable fait l'hypothèse forte que les modèles spatiaux et les modèles transcanaux peuvent être modélisés séparément.

Étant donné que l'approche utilisée demande une grande quantité des données pour bien fonctionner, nous étions dans l'obligation de faire appel à un jeu des données (dataset) ayant une grande quantité des données pour entraîner notre système à bien distinguer les clichés pathologies et non pathologies, voilà pourquoi nous avons utilisé le jeu des données du plate-forme web Kaggle ayant 5 863 images radiographiques thoraciques. Nous avons utilisé le langage de programmation Python et ses bibliothèques Numpy, Numpy, Matplotlib, TensorFlow et Keras pour implémenter notre système.

Pour tout système basé sur l'apprentissage machine, qui est une sous branche de l'intelligence artificielle, il nous faut faire la validation des résultats et régler certains hyperparamètres pour obtenir le meilleur résultat. Pour ce faire, nous avons utilisé deux algorithmes d'optimisation « Adam » et « Sgd » avec différentes valeurs du learning rate. Après analyse des différents résultats obtenus sur base de ces algorithmes d'optimisation, nous avons opté pour l'algorithme d'optimisation « Sgd » avec un taux d'apprentissage de 0.001 pour 20 epochs. Avec ces valeurs, notre système a une précision de 92 % sur les nouvelles données.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements à l'Institut Supérieur de Techniques Appliquées de Kinshasa (ISTA-Kin) pour le soutien et l'accompagnement dans nos recherches.

REFERENCES

- [1] Analyse du paysage du Marché de la pneumonie en République Démocratique du Congo (RDC), USA, 2018, p.21
- [2] Aurélien Géron, Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn and TensorFlow, Canada, O'Reilly Media, p.368, 2017.
- [3] CHOLLET, François, Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions, 2016
- [4] Christopher M. Bishop, Pattern Recognition and Machine Learning, Californie, Springer, 2006, p.240
- [5] Dimitri P. Bertsekas, Convex Optimization Algorithms, Usa, Athena Scientific, 2015, p.53.
- [6] Ian Goodfellow et al, Deep Learning, 2016, p.240
- [7] Jérémy WATT et al, Machine Learning Refined Foundations, Algorithms, and Applications, New York, Cambridge press, p.229, 2016
- [8] M.GRAWITZ, Méthode en sciences sociales, Paris, Dalloz 1986, p.15
- [9] Nikhil Buduma and Nicholas Lacascio, Fundamentals of Deep Learning Designing Next-Generation Machine Intelligence Algorithms, Usa, 2017, p.81
- [10] SIMON Jean-Jacques, <https://www.unicef.org/drcongo/communiqués-de-presse/pneumonie-plusieurs-organismes-tirent-sonnette-alarme>
- [11] <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/pneumonia>
- [12] <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/pneumonia>.
- [13] <http://www.kaggle.org>

La coexistence de la microfinance formelle et informelle au Nord du territoire de Kabare, Sud-Kivu en RDC

[The coexistence of formal and informal microfinance institutions in the North of the territory of Kabare, South Kivu in the DRC]

Mutagoma Bizimana Charles

Institut Supérieur de Développement de Mulungu, ISTD Mulungu, 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: This article aims at grasping why people living in the North part of Kabare territory continue to use informal financial services in spite of the presence of formal institutions which are more helpful than the former in the area.

The presence of formal financial institutions in the North part of Kabare territory should decrease indubitably the fact of recouring on the ways of saving money and asking loans informally. This should be due to the usurious practice that they undergo. Unfortunately, the fact of not being aware of how formal institutions work, their policies as well as the lack of confidence on their behalf, hinder them to use microfinance institutions. To get solution to their financial needs, inhabitants of North Kabare have developed strategies of informal financement which they find useful and more adapted to their needs regardless the highness of the benefit which they pay. It is obvious that most of formal financial institutions are being installed progressively in this part of South Kivu province even though people living there are less interested in that dynamic and consider the informal ones as being sensitive to their financial needs.

KEYWORDS: Informal microfinance, «AVEC», «MUSO», «Tontine», Secret banker, formal microfinance.

RESUME: Cet article veut comprendre pourquoi les habitants du Nord du territoire de Kabare continuent d'utiliser les services financiers informels malgré la présence des institutions formelles plus avantageuses financièrement dans le milieu.

La présence des institutions financières formelles dans le Nord du territoire de Kabare devrait réduire sensiblement le recours aux moyens informels d'épargne et de crédit étant donné les pratiques usurières vécues à leur sein. Malheureusement, l'ignorance du fonctionnement des institutions formelles, leurs conditionnalités ainsi que le manque de confiance de la population à leur égard bloquent la consommation des services de la microfinance formelle. Pour faire face à leurs besoins financiers, les habitants de Kabare Nord ont développé des stratégies de financement informelles qu'ils trouvent plus proches d'eux et plus adaptées à leurs besoins malgré leurs taux débiteurs très élevés.

Il est vrai que cette partie de la province du Sud Kivu voit s'implanter progressivement des institutions financières formelles mais ses habitants se sentent moins intégrés dans cette dynamique et trouvent la microfinance informelle plus proches d'eux.

MOTS-CLEFS: Microfinance informelle, AVEC, MUSO, tontine, banquier clandestin, Microfinance formelle.

1 INTRODUCTION

Dans la lutte contre la pauvreté, l'accès aux services financiers en général et en particulier pour le secteur informel est au centre de tous les débats ces dernières années. Eliminer les contraintes qui excluent une partie de la population d'une pleine participation au secteur financier est en effet un grand défi tel que l'a bien souligné l'ancien secrétaire général des nations

unies, Koffi Hanan, déjà en 2003, à l'occasion de la désignation de l'année 2005 comme année internationale des microcrédits [1] et ce, dans le souci d'améliorer l'accessibilité aux services financiers de la population longtemps exclue de ce secteur pourtant essentiel pour le développement et l'autonomisation des couches défavorisées.

Parmi les différentes stratégies pour accroître l'accès aux services financiers en Afrique, la microfinance se démarque comme étant un mécanisme à fort potentiel pour réduire la pauvreté et les inégalités et promouvoir la finance d'entreprise. Elle constitue les fournisseurs importants de financement aux petites et micro-entreprises qui sont incapables d'obtenir un crédit auprès des prêteurs commerciaux en raison de l'asymétrie de l'information et des coûts élevés associés aux prêts [2].

En RDC, afin de permettre une inclusion financière des personnes exclues du système financier classique, fonctionnent des institutions financières notamment les institutions de microfinance, les coopératives d'épargne et de crédit fournissant soit uniquement des services de crédit ou à la fois le crédit et l'épargne. Dans leur slogan et à travers leurs missions, toutes disent lutter contre la pauvreté.

Le nord du territoire de Kabare, dans la province du Sud Kivu, a vu s'implanter dans ses grandes agglomérations, au cours de la dernière décennie, une dizaine d'institutions financières avec comme objectif affiché, la lutte contre la pauvreté en facilitant l'accès aux services financiers des populations rurales. C'est la solution qui a été mise en place, après les différentes guerres qui ont conduit à la dégradation du tissu socio-économique, pour intervenir en faveur de la population oubliée en leur octroyant des crédits afin de suppléer à leurs activités génératrices des revenus [3].

En même temps, des structures informelles d'épargne et crédit foisonnent la même zone en complément à la pratique usurière de longue date qui s'est à son tour accrue fournissant les mêmes services d'épargne et de crédits aux côtés des institutions formelles. Nous nous retrouvons ainsi devant la coexistence des structures formelles et d'autres informelles qui évoluent dans la même sphère. C'est en fait, un dualisme.

Eu égard à ce qui précède, la question qui taraude notre esprit est de savoir pourquoi les habitants du Nord de Kabare continuent à pratiquer l'épargne et les crédits dans les structures informelles et auprès des usuriers malgré la présence de plusieurs institutions financières formelles dans leur entité.

2 HYPOTHÈSES DE LA RECHERCHE

Les hypothèses découlant de cette problématique sont les suivantes:

- Les offres des services des institutions financières œuvrant dans le nord du territoire de Kabare ne seraient pas adaptées aux besoins de ses habitants
- Les habitants du Nord du territoire de Kabare n'auraient pas de confiance dans les institutions financières y implantées
- Les habitants du nord du territoire de Kabare seraient moins informés sur les divers services offerts par les institutions financières y implantées

3 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

3.1 CADRE DE L'ÉTUDE

Le nord du territoire de Kabare se situe sur huit groupements qui le composent notamment Mudaka, Miti, Bushumba, Luhihi, Lugendo, Ishungu et Irhambi Katana en province du Sud Kivu à l'est de la République Démocratique du Congo. Il constitue ce qui est appelé le Kabare Littoral car tous ces groupements sont riverains du Lac Kivu. Cette partie est reliée à deux grandes villes à savoir la ville de Goma dans la province du Nord Kivu et la ville de Bukavu au sud Kivu grâce à la route nationale n° 5 et comprend sept grandes agglomérations : Kavumu, Mudaka, Miti, Katana, Kabamba, Luhihi et Birava.

Kavumu est le plus grand centre commercial et Mudaka abrite le plus grand marché du territoire à côté des autres divers petits marchés. Les activités commerciales sont largement dominées par le secteur informel. Dans ce secteur caractérisé par le défaut de structuration et d'organisation, le petit commerce, activité la plus dominante, occupe la grande partie de la population. En dehors du petit commerce, la population pratique l'agriculture, la pêche et un élevage.

Dans ce milieu d'étude, nous avons recensé 9 institutions financières formelles dont:

- 2 dans le groupement de Mudaka: SOREC et Kitumaini
- 1 à Katana: Coopec Fomulac
- 5 à Kavumu: Coopec Nyawera, MECRE, PAIDEK, Coopec Kavumu et Coopec Cahi

3.2 COLLECTE DES DONNÉES

Pour bien mener notre étude, un questionnaire a été soumis à un échantillon de 300 individus, membres des structures informelles d'épargne et de crédit (MUSO, AVEC,...) et/ou bénéficiaires des crédits des usuriers et aux membres/Clients des institutions financières. Les individus faisant partie de l'échantillon ont été choisis aléatoirement parmi les personnes rencontrées dans les salles d'attente ou participants à des réunions des structures informelles et/ou usurières. Un complément d'informations a été fourni grâce à l'entretien avec les responsables des institutions financières, des structures informelles voire les pratiquants de l'usure.

Les 300 individus sont repartis comme suit:

Tableau 1. Répartition des membres des structures informelles et formelles enquêtées

Appartenance	Nombre	%
Membre d'une institution financière	120	40
Membre d'une structure informelle ou bénéficiaire des crédits usuriers	180	60

Source: Nos analyses. N= 300.

Il convient de préciser que parmi les membres d'institutions financières, certains ont déjà eu à contracter des crédits dans les structures informelles ou auprès des usuriers.

Nous avons recouru principalement à la méthode quantitative dans le but de la collecte des données, à l'analyse et l'interprétation des observations ou donnée relative à un phénomène et susceptible d'être caractérisé par un nombre. Cette méthode a été appuyée par les techniques d'interview directe et de compulsions documentaires à notre disposition.

3.3 LES SERVICES FINANCIERS INFORMELS

Le secteur informel peut être conçu comme tout procédé consistant en un emprunt, un prêt ou don ou encore une simple constitution des fonds prêtables et/ou susceptibles de l'être facilement, en dehors des institutions officielles. Ces activités échappent à toute réglementation imposée à l'activité du secteur financier formel en matière de taux d'intérêt et d'allocation de crédit, des réserves obligatoires et d'autres mesures analogues et la fiscalité.

Ces pratiques qui revêtent plusieurs formes concernent généralement les personnes qui se connaissent bien et qui ont entre elles des relations habituelles pour d'autres raisons économiques ou sociales.

Elles ont un aspect financier quoi que très éloignées de celles dont nous avons toujours l'habitude. Elles caractérisent néanmoins une forme originale- et parfois sophistiquée – de finance. C'est le cas de l'activité des tontines (likirimba), qui fait naître un faisceau de créances et dettes dans lesquelles on peut voir des véritables produits financiers. On peut donc les considérer comme une véritable intermédiation financière, dans laquelle les coûts de transaction sont réduits, les risques moins grands, l'information plus symétrique [4]. Dans le nord du territoire de Kabare, le financement d'une activité économique peut être réalisé au plan informel par plusieurs voies regroupées en deux principales:

- Le financement interne
- Le financement externe

Le financement interne se réalise par la constitution d'une épargne préalable qui peut prendre la forme d'un placement monétaire ou financier. Ici, la thésaurisation est aussi possible. Que celle-ci soit faite en monnaie ou en nature, elle peut être considérée comme épargne dès lors que son objectif est le financement d'un projet. C'est le qualificatif d'informel qui peut le distinguer des autres formes de thésaurisation. La plupart de fois, cette épargne est faite dans l'habitation utilisant soit les bambous, les matelas, les chaises,... comme coffre fort.

Le financement externe quant à lui peut être direct ou indirect. Il est dit direct lorsque l'agent bénéficiaire et l'agent excédentaire communiquent directement pour contracter une opération de crédit, sans intervention d'un intermédiaire financier. L'opération peut donc concerner une entreprise légalement constituée et qui fait appel aux capitaux externes. L'opération prend un caractère informel lorsque l'entreprise, quelle que soit sa forme juridique, recourt à des procédés non orthodoxes de financement c'est-à-dire n'impliquant ni émission de la valeur boursière, ni association déclarée comme telle et qui fait appel aux capitaux externes.

Examinons certains cas de financement externe:

- Financement par un banquier clandestin: Ici, il s'agit d'une activité qui semble séculaire lorsqu'elle remonte à l'époque où la profession bancaire était surtout individuelle, échappant la plupart de temps à toute réglementation puisqu'elle était exercée discrètement. Ce sont des prêts par exemple des amis et des proches sanctionnés par un taux d'intérêt variant entre 120 et 240 pour cent l'an. Ce mode de financement est utilisé par les agriculteurs, lorsqu'une récolte est imminente, par les salariés en approche de paiement,

Dans certains cas, l'emprunt s'accompagne d'une pseudo-hypothèque immobilière. Cette opération consiste, pour un agent déficitaire, en l'hypothèque de sa maison, sa parcelle, son champ, etc., pour une durée déterminée en contrepartie du bénéfice d'un emprunt émanant du bailleur de fond. En général, le document représentant la propriété du bien est remis au prêteur qui le garde jusqu'à l'apurement de son dû. Cependant, il n'y a pas généralement d'inscription hypothécaire et le titre de propriété n'est pas forcément reconnu par la législation congolaise en la matière mais est coutumièrement accepté.

Lorsque les promesses ne sont pas honorées par l'emprunteur, deux cas se présentent:

- Le recours à la police et/ou armée pour contrainte de paiement
- L'entrée réelle en possession du bien hypothéqué. Ici, quelques fois, si le bien, ce qui est fréquent, a une valeur supérieure à l'emprunt brut (en capital et en intérêts), le prêteur ajoute le complément. Les bailleurs en quête de terre aiment ce type d'acquisition étant donné que le débiteur a moins de marge de manœuvre dans la discussion de conditions de cession du bien

Outre la pseudo-hypothèque, il faut signaler les cas des employés des institutions tant publiques que privées qui ont développé d'autres mécanismes de garantie de prêt notamment la remise de la carte sim pour ceux dont les salaires transitent par les maisons de télécommunication, la remise de la carte bancaire ou des chèques présignés selon les termes de paiement.

- Le financement par les associations informelles d'épargne et/ou crédit: les grandes formes sont les suivantes
 - Les AVEC
 - Les mutuelles et autres groupements
 - Les tontines
- a) Les AVEC (Association Villageoise d'épargne et crédit): Ce sont des groupes de personnes qui cotisent par réunion (généralement hebdomadaire) et s'entre accordent des crédits qui se remboursent avec un taux d'intérêt convenu. Généralement, ce taux se situe entre 10 et 15% le mois. Une des particularités de ces prêts est que l'ensemble de bénéfices qui résultent des opérations de prêt est partagé entre les membres au prorata de leurs mises
- b) Les tontines: c'est un groupe d'individus qui se cotisent selon une périodicité convenue une somme uniforme qui est remise à chacun d'eux à tour de rôle. C'est en quelque sorte une épargne psychologique surtout dans le chef de ceux qui sont servis en dernier lieu
- c) Les mutuelles et autres groupements: ces mutuelles sont soit de tendance tribale, des ressortissants d'un même coin et vivant dans un centre à forte agglomération, des travailleurs d'une même entreprise ou qui font même activité, etc

4 PRÉSENTATION, ANALYSE ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

4.1 DES CONDITIONS D'ACCÈS AUX SERVICES FINANCIERS FORMELS ET INFORMELS

4.1.1 DES CONDITIONS D'ACCÈS AUX SERVICES FINANCIERS FORMELS

Avant d'accéder aux services financiers des structures formelles, certaines conditions doivent être réalisées aussi bien dans le secteur formel qu'informel. Le tableau ci-dessous décrit cette réalité:

Tableau 2. Conditions d'accès aux services des structures de microfinance formelle

Etapes	Conditions
Adhésion	<ul style="list-style-type: none"> - Fournir la pièce d'identité - Fournir une photo passeport - Payer les frais d'adhésion - Déposer un minimum d'épargne
Epargne	<ul style="list-style-type: none"> - Retrait par chèque - Respecter les heures/heures d'ouverture et de fermeture - Respecter la file d'attente
Crédit	<ul style="list-style-type: none"> - Avoir une activité évaluée pouvant rembourser le prêt - Ecrire une lettre de demande de prêt - Ancienneté de 3 mois - Avoir une garantie matérielle ou solidaire ou un salaire domicilié ou retenu à la source - Payer les frais liés au crédit - Déposer une garantie financière - Se conformer au calendrier de remboursement
Durée de traitement de dossier de crédit	- Moyenne 3 semaines

Source: Nos investigations

Nous remarquons que de l'adhésion à l'accès aux services d'épargne et des prêts, certaines conditions doivent être remplies.

4.1.1.1 A L'ADHÉSION

Dans toutes les structures financières formelles œuvrant au nord du territoire de Kabare, l'adhésion se concrétise par le paiement des frais d'adhésion constitués de la part sociale et des frais de papeterie. Ces frais varient entre 15 et 27\$ qui doivent être versés le jour de l'adhésion en complément de l'épargne minimum fixée à 5 dollars américains.

4.1.1.2 CONDITIONS D'ÉPARGNE

En dehors du PAIDEK, l'accès aux autres services de la microfinance dans la zone est conditionné par la fréquence d'épargne. Si le dépôt est effectué par un simple récépissé offert gratuitement, le retrait quant à lui est conditionné par certaines structures du paiement d'un coupon de chèque dont le prix est d'environ 0.2\$ américain. En dépôt comme en retrait, il faut respecter les jours et les heures de travail de la structure dont on est client/membre.

4.1.1.3 LE CRÉDIT

Une fois qu'on a respecté les conditions imposées à l'adhésion et à l'épargne, on peut accéder aux prêts après avoir rempli certaines conditions supplémentaires telles que:

- Avoir une activité jugée licite et rentable: les preuves de l'existence de l'activité doivent être fournies (documents d'existence légale, factures ou reçus, photographie du lieu d'activité, preuve qu'on est en ordre avec le fisc,...)
- Détenir une garantie matérielle / solidaire ou encore obtenir le sous couvert de son employeur: la garantie matérielle dont question est généralement le document d'une propriété foncière (Acte de vente, certificat d'enregistrement, contrat de location, attestation de propriété) au nom de la personne qui sollicite le crédit ou en obtenir la cession. Quant à la garantie solidaire, le membre doit appartenir à un groupe solidaire d'épargne qui est actif dans la structure et qui accepte de cautionner le membre c'est-à-dire qu'en cas de difficulté de paiement dans le chef du membre, les autres doivent cotiser pour couvrir son impayé. Quant aux salariés des institutions publiques et privées, l'employeur doit préalablement avoir signé une convention de collaboration en matière de prêt avec l'IMF concernée et accepter soit d'opérer une retenue à la source en faveur du prêteur, soit domicilier carrément le salaire de ses employés dans l'IMF concernée
- Les frais liés au dossier: en moyenne ces frais varient entre 2 et 3% du montant obtenu à payer avant le déboursé du crédit. Le client doit aussi accepter de laisser dans son compte une caution financière de 10% du montant obtenu qui est également un autre préalable. Seul le PAIDEK n'impose pas cette caution

4.1.1.4 LA DURÉE DU TRAITEMENT DE DOSSIER

Elle se situe autour de trois semaines voire plus. Pendant ce temps, le client doit faire plusieurs tours dans la structure et/ou émettre des appels téléphoniques pour avoir des informations sur l'évolution de son dossier. Il doit également se rendre disponible pour accueillir l'agent de l'institution et lui faire visiter son domicile et ses activités

4.1.2 LES CONDITIONS D'ACCÈS AUX STRUCTURES INFORMELLES

Parmi les structures informelles, il y a lieu de distinguer le banquier clandestin et les structures informelles d'épargne et de crédit comme les mutuelles, les Associations Villageoises d'Épargne et de Crédit (AVEC) et les tontines.

Nous appelons banquier clandestin, une personne physique qui octroie des services de crédit et/ou d'épargne sans autorisation légale en termes d'usurier.

Les mutuelles regroupent des personnes exerçant soit une même activité (ex: commerce, transport,...) et qui font une épargne commune et à partir de celle-ci accorde des prêts.

Tableau 3. Conditions d'accès aux services financiers des structures informelles

Type de structure	Banquier clandestin	Tontine	AVEC	Mutuelle
Adhésion	NA	- Etre de bonne moralité et accepté par les autres - Exercer une activité connue des autres - Résider dans le même milieu que les autres - Etre à mesure de cotiser un certain montant à une certaine fréquence	- Etre de bonne moralité et accepté par les autres - Exercer une activité connue des autres - Résider dans le même milieu que les autres - Etre à mesure de cotiser un certain montant à une certaine fréquence	- Etre de bonne moralité et accepté par les autres - Exercer une activité connue des autres - Résider dans le même milieu que les autres - Etre à mesure de cotiser un certain montant à une certaine fréquence
Condition d'épargne	NA	Etre présent ou déléguer le jour de la réunion	Etre présent ou déléguer le jour de la réunion	Etre présent ou déléguer le jour de la réunion
Condition de prêt	Avoir une activité bien connue dans le milieu	Avoir une activité bien connue dans le milieu	Avoir une activité bien connue dans le milieu	Avoir une activité bien connue dans le milieu
Durée de traitement de dossier	Traitement direct	Traitement direct le jour de la réunion	Traitement direct le jour de la réunion	Traitement direct le jour de la réunion

Source: Nos investigations

A la lecture de ce tableau, il y a lieu de constater que la condition d'accès dominante dans la microfinance informelle est la proximité entre les membres. En effet, comme déjà dit plus haut les membres d'une même mutuelle, MUSO ou AVEC doivent mieux se connaître entre eux, connaître et maîtriser les activités de chacun d'eux.

La comparaison entre les deux tableaux (N° 3 et N° 2) montre clairement que les conditions imposées par les structures formelles de financement dans notre milieu d'étude ne sont pas faciles à réaliser pour certaines raisons:

- Celui qui est en besoin de financement n'est pas forcément en capacité d'épargner et / ou de payer les divers frais de formalisation de la demande de prêt
- Entre le délai d'introduction de la demande de prêt et le déboursement, les opportunités pour lesquelles on cherche à obtenir le crédit peuvent s'échapper. Pour certains cas comme les maladies, les emprisonnements, la maternité et autres cas sociaux, on ne sait pas attendre le délai d'étude du dossier de prêt
- Les garanties matérielles ne sont pas facilement trouvables surtout dans les milieux ruraux. Au fait, la plupart de fois, les propriétés foncières sont transmises verbalement du père au fils sans titre formel. La recherche d'un titre foncier est déjà un calvaire non seulement en termes de frais à payer mais également en termes de délai d'attente. Dans une étude menée dans tout le territoire de Kabare, seul 2.5% des femmes ont accès à la terre alors qu'elles constituent la majeure partie des

personnes qui exercent des activités informelles en besoin de financement. Elles sont alors une catégorie défavorisée par les institutions financières exigeant obligatoirement les titres fonciers en garantie de prêts. Dans un entretien avec quelques membres des groupes solidaires en quête de prêt, nous avons appris que même la caution solidaire est difficile à réunir étant donné qu'elle exige naturellement la solidarité entre tous les membres du groupe de telle sorte que si l'un ne parvient pas à rembourser le prêt, les autres se cotisent pour payer pour lui. Et pourtant, dans la majeure partie de ces groupes, on enregistre plusieurs déceptions

Par contre, en ne considérant que les conditions d'accès et la durée, les crédits informels apparaissent plus souples. En effet, les formalités à remplir sont moins nombreuses et il y a forte probabilité que le jour de dépôt de la demande (elle peut être verbale ou écrite), le décaissement peut déjà avoir lieu. Ceci répond donc plus rapidement en cas d'urgence.

Une autre facilité soulevée spécifiquement pour le cas des salariés, le fait que les institutions formelles tiennent compte de la quotité cessible du salaire ne permet pas aux salariés de bénéficier des sommes importantes alors qu'en dehors du salaire ils peuvent vivre de leurs produits de champs, de petit commerce,... La prise en compte de cet aspect par les financiers informels qui peuvent aller jusqu'à saisir la totalité du salaire est considéré comme élément important de la concurrence.

Au vu de ce qui précède, nous confirmons donc notre hypothèse selon laquelle les conditions d'accès dans les structures formelles de financement constituent déjà une barrière à l'entrée et qui amènent les gens à se trouver d'autres formes palliatives d'épargne et de crédit. Ainsi, ils jugent que les offres de services financiers de ces structures ne sont pas adaptées à leurs besoins à cause des conditionnalités financières et temporelles. Comme le soulignent Craig Churchill et Cherly Frankiewicz [5], ne pouvant accéder aux services financiers institutionnels, les pauvres ont recours aux sources informelles, telles que les amis, la famille, les associations d'épargne et de crédit, les usuriers et tontiniers ou l'épargne en nature. Ils essaient d'être facilement accessibles, demandent un minimum ou pas de documents et peuvent être rapidement disponibles.

Enfin, les besoins de la population en termes des services financiers ne sont pas en lien avec les produits des structures formelles; ce qui les pousse à les juger de mauvaise qualité. Au fait comme l'a dit Dominique [6], la qualité de service des IMF réside dans la fourniture des produits et services financiers adaptés. Cette adaptation porte essentiellement sur les éléments tels que les objets et les coûts des crédits. La majorité des institutions financières œuvrant dans le nord du territoire de Kabare sont des succursales des maisons mères œuvrant à Bukavu. Leurs politiques de crédit et d'épargne sont uniques aussi bien en ville qu'à l'intérieur. Ce qui traduit un manque d'adaptation au milieu d'implantation des agences oubliant que les besoins financiers des milieux urbains ne sont fortement pas les mêmes que ceux des milieux ruraux.

4.2 DE LA CONFIANCE DANS LES STRUCTURES FORMELLES D'ÉPARGNE ET DE CRÉDIT

Les avis sur la confiance dans les structures formelles d'épargne et de crédit du nord du territoire de Kabare sont divers tels que le montre le tableau suivant:

Tableau 4. Confiance dans les institutions financières du Nord du territoire de Kabare

Confiance	Nombre	%
OUI	89	29.66
NON	188	62.67
DOUTE	23	7.67
TOTAL	300	100

Source: Nos enquêtes

Le niveau de confiance de la population de Kabare Nord dans les institutions financières de la région est très bas. 29.66% de nos enquêtés n'ont pas confiance dans ces structures et 7.67% ont beaucoup de doute. Ces résultats sont expliqués principalement par les difficultés de fonctionnement actuelles de deux grandes institutions de la place (COOPEC NYAWERA KAVUMU et MECRE KAVUMU) qui sont caractérisées d'un côté par l'incapacité de rembourser les épargnes des membres et d'accorder les prêts de l'autre. Et dans les 15 ans passés, la tontine promotionnelle et autre ont emporté les épargnes de leurs clients qui n'ont jamais été remboursées. Les enquêtés préfèrent garder leurs monnaies dans les structures qu'ils contrôlent facilement, les cas des AVEC et MUSO dont ils participent à la gestion contrairement aux institutions formelles dont la gestion est loin d'eux.

Cette réalité est similaire à l'étude menée dans la ville de Bukavu par Alliance Murhula en 2010, qui montre que l'instabilité monétaire et le manque de confiance auprès des institutions financières formelles ont particulièrement poussé la population

de Bukavu à adopter l'esprit de la débrouillardise surtout sur le plan financier. A cela s'ajoute la difficulté qu'éprouve cette population de pouvoir répondre aux différentes conditions imposées par les institutions formelles.

Or, comme l'a su bien soulever AMULI IBALE Douglas, la satisfaction des clients est fortement influencée par la composante assurance et confiance. Ces facteurs influencent la satisfaction du client, contribuent à sa fidélisation et à sa loyauté.

L'un des éléments de confiance abordé par les membres des AVEC est d'avoir participé à la fin du cycle au partage des profits contrairement aux coopératives d'épargne et de crédit de la place qui n'ont jamais procédé à cet exercice depuis leur existence.

4.3 DE L'INFORMATION SUR LES SERVICES DES INSTITUTIONS FINANCIÈRES

Lors de nos entretiens avec les enquêtés, nous avons constaté qu'ils maîtrisent parfaitement comment fonctionnent les structures informelles d'épargne principalement les AVEC, les Mutuelles et les MUSO mais maîtrisent moins le fonctionnement des structures formelles. En effet, interrogés par exemple sur l'appartenance de la coopérative d'épargne et de crédit, 89% des enquêtés estiment que la coopérative appartient aux fondateurs de Bukavu et eux se considèrent comme des clients. Par contre ils reconnaissent qu'une AVEC ou une mutuelle appartient à ses membres. Cet esprit de non appropriation de la coopérative/IMF explique effectivement le fait que la population cherche les services financiers ailleurs que dans les structures formelles. De plus, 48% des personnes interrogées pensent que dans une institution financière ne peuvent entrer que des riches étant donné qu'on ne peut pas verser moins de 100\$.

Il existe donc un décalage entre ce que sont réellement ces institutions financières et ce que la population y compris les membres en connaît. Alors que comme le dit Tremblay Indatou Zuluaga cité par André A [7], et conformément aux principes de la coopération de l'ACI, les coopératives fournissent à leurs membres, leurs dirigeants élus, leurs gestionnaires et leurs employés, l'éducation et la formation requises pour promouvoir le développement de leur coopérative. C'est normalement à travers cela que les membres parviennent à maîtriser le fonctionnement de leur institution surtout pour les coopératives dont ils sont les propriétaires.

Et aux chercheurs Marie J. Bouchard et Marc Gagnon d'affirmer que l'éducation et la formation revêtent une importance particulière dans un contexte coopératif. Pour être conforme à la mission coopérative l'éducation et la formation coopératives doivent contenir un juste équilibre des courants gestionnaire ou développemental. On peut alors à la fois inculquer les compétences techniques requises, propager le message de la coopération comme formule d'organisation économique et sociale, et favoriser le développement des attitudes personnelles des membres [8],

Alors que la majorité de nos enquêtés ont une information éparse sur les IMF, ceux des structures informelles maîtrisent bien leurs structures. Ceci est transmis à travers les réunions hebdomadaires, les sensibilisations de bouche à oreille et surtout la facilité d'entretien grâce à une gestion de proximité (tous les membres de ces structures en dehors de ceux des banquiers clandestins se connaissent parfaitement).

5 CONCLUSION

Cet article démontre l'existence sur une même zone géographique du financement formel et informel des besoins de la population.

La présence des institutions financières formelles n'est pas parvenue à convaincre les habitants du territoire de Kabare par manque d'informations suffisantes, les conditions d'accès à leurs services et l'inadaptation de leurs produits à leurs besoins. C'est ainsi qu'ils se tournent vers l'informel malgré eux pour satisfaire leurs besoins financiers bien sûr à un coût plus élevé.

Pour faire face à cette triste réalité, les institutions financières devraient améliorer leur communication et adapter leur offre des services aux besoins de la population à mentalité rurale. Ceci permettrait aux clients de réduire leur dépendance par rapport aux sources informelles, en particulier celles dont les caractéristiques ne leur sont pas favorables. Les pauvres pourront également accéder à des services qui n'étaient pas disponibles au niveau des sources informelles.

Les Institutions formelles de financement en tireraient plusieurs avantages notamment l'élargissement du marché, la diversification de risque, la diversification des sources de revenus, la diversification des sources de financement, la réduction des coûts d'acquisition de la clientèle, la fidélisation de la clientèle, le renforcement d'impact et de visibilité. Même si une IMF a été initialement conçue pour la ville, se décider d'œuvrer en milieu rural demande qu'elle y adapte ses offres.

REFERENCES

- [1] Nations unies, Construire des secteurs financiers accessibles, New York, 2006.
- [2] Kfw, Autonomisation économique par l'accès aux produits de la microfinance en RDC, KfW Bankengruppe, Berlin, 2012.
- [3] Matiti F, Katulanya D.et al., Financement du secteur agricole par les institutions financières. Etat de lieu et perspective. Cas de la COOPEC KAVUMU et PAIDEK KATANA, *Journal of Innovations and Scientific research*, VOL 24, N° 1, PP.179-188, juin 2016.
- [4] Michel L., L'évolution de la finance informelle et ses conséquences sur l'évolution des systèmes financiers, *Mondes en développement*, N° 119, pp. 1-20, 2002/3.
- [5] Craig Churchil, Charly Frankiewicz, *Assurer le fonctionnement de la microfinance. Gérer pour améliorer les performances*, Centre international de formation de l'OIT, Turin, 2008.
- [6] Dominique G., Loseh B., Synthèse thématique de microfinance et politiques agricoles, Synergies et divergences, Dakar, 2002.
- [7] André T. et al., La bonne gouvernance dans les coopératives de solidarité, Sherbrooke, 2007.
- [8] Marie J. Bouchard, M. Gagnon, l'habilitation (empowerment) dans les organisations coopératives. Cinq cas de gestion des coopératives d'habilitation, chaire de la coopération Guy-Bernier, Montréal, 2000.

La gratuité de l'enseignement dans les écoles primaires de Goma, RDC: Effets, défis et perspectives

[The free teaching in primary schools of GOMA in Democratic Republic of Congo: Effects, impacts and perspectives]

Mutagoma Bizimana Charles

Institut Supérieur de Développement de Mulungu, ISTD Mulungu, 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: This article attempts to analyze the application of the free teaching in public primary schools of the educational sub province of Goma especially giving off the effects, impacts and perspectives. In that educational sub province, the free teaching is applied in agreement with the law. This way of doing things has got its advantages for parents on one hands and negative impacts for teachers, schools, state and pupils on the other hands. It causes the increasement of pupils' number in classes, something which influence negatively the quality of teaching/learning process. Schools undergo much short comings namely, pedagogical, material and financial ones. A number of efforts are still evolved by all partners of education so as to lay well the free teaching.

KEYWORDS: Gratuity, the free teaching, basic education, elementary teaching, public primary school.

RESUME: Cet article analyse l'application de la gratuité de l'enseignement dans les écoles primaires publiques de la Sous-province éducationnelle de Goma tout en dégageant ses effets, ses défis et ses perspectives. Dans cette sous-province éducationnelle, la gratuité est appliquée en conformité avec la loi. Cette application a des avantages pour les parents mais aussi des désavantages pour les enseignants, les écoles, l'Etat et les élèves. Elle provoque l'augmentation des effectifs des élèves dans des classes et y affecte négativement la qualité de l'enseignement-apprentissage. Les écoles se butent à beaucoup de défis notamment les défis pédagogiques, matériels et financiers. Des multiples efforts restent à consentir par tous les partenaires éducatifs de la RDC afin de bien asseoir cette gratuité.

MOTS-CLEFS: Gratuité, Gratuité de l'enseignement, Education de base, Enseignement élémentaire, Ecole primaire publique.

1 INTRODUCTION

Aucun peuple ne peut se passer de l'éducation de sa jeunesse étant donné qu'elle constitue un moyen de préparer la génération future à la vie sociale. C'est dans ce cadre que beaucoup de pays manifestent la volonté de rendre l'éducation de base gratuite et obligatoire.

L'opérationnalité de la gratuité de l'enseignement est déjà effective dans plusieurs pays. Ils considèrent que l'éducation joue un rôle prépondérant dans le développement économique d'une nation en équipant sa population des outils nécessaires pour son succès dans le monde professionnel. Son manque d'accès serait en ce sens une cause de la pauvreté. On considère ainsi l'éducation dans l'évaluation de développement d'un Etat à travers l'Indicateur de développement humain. Comme le dit Emmanuel Kant, l'homme ne peut devenir homme que par l'éducation. Il n'est que ce que l'éducation fait de lui [1].

Le législateur congolais, conscient de la place de l'éducation dans le développement de la RDC, a également rendu constitutionnel l'enseignement de base [2]. Egalement, le Président de la République actuel, en début de son quinquennat, a fait de sa matérialisation l'une de ses priorités. Du coup, des mouvements de contestation se manifestent à travers la République par des grèves créant au passage des tensions entre les chefs d'établissement, les enseignants et les parents, perturbant considérablement les programmes scolaires.

Et pourtant, la gratuité de l'enseignement est un droit de l'homme à protéger. Elle est une avancée importante vers l'éducation pour tous, l'éducation étant très indispensable pour l'homme [3].

En plus des dispositions internationales et nationales, plusieurs conférences et forums ont été organisés pour réfléchir sur l'offre quantitative et qualitative de l'éducation. C'est le cas de la conférence mondiale sur l'éducation pour tous, tenue à Jomtien et le forum de Dakar sur l'éducation pour tous. La République Démocratique du Congo a pris une part active à ces deux assises et a fait siens les objectifs de l'éducation pour tous en décidant de généraliser la gratuité de l'enseignement primaire à partir de l'année scolaire 2019-2020.

Cette bonne intention ne va pas pourtant sans conséquence sur la gestion quotidienne des institutions scolaires au pays. Voilà pourquoi cet article se pose la principale question suivante: Comment s'applique la gratuité de l'enseignement dans les écoles primaires publiques de la sous-province éducationnelle de Goma ?

2 HYPOTHÈSE

En réponse aux questions soulevées par cette étude, nous formulons l'hypothèse fondamentale suivante: La gratuité de l'enseignement dans les écoles primaires publiques de la sous province éducationnelle de Goma serait appliquée conformément aux dispositions légales en RDC. Cependant, cette pratique aurait plusieurs effets et serait confrontée à plusieurs défis. Partant de cette hypothèse fondamentale, nous supposons que:

- La gratuité de l'enseignement aurait des effets négatifs sur la qualité de l'enseignement apprentissage et le fonctionnement des écoles mais aussi elle provoquerait l'augmentation de la taille des classes en termes des effectifs pléthoriques
- Dans l'application de la gratuité, les écoles publiques de la sous province éducationnelle de Goma feraient face à plusieurs défis dont le plus prépondérant serait le défi financier
- L'augmentation du budget alloué à la gratuité de l'enseignement primaire, la construction des infrastructures adéquates et la création d'une institution chargée du suivi et de l'évaluation de cette gratuité seraient des stratégies susceptibles de relever les défis auxquels se confrontent les écoles primaires publiques de la sous province éducationnelle de Goma

3 OBJECTIFS ET ÉTENDUE DE L'ÉTUDE

Cet article tentera d'analyser l'application de la gratuité de l'enseignement dans les écoles primaires publiques de la sous province éducationnelle de Goma. Spécifiquement, il veut:

- Etudier les effets induits de la gratuité de l'enseignement primaire sur la qualité de l'enseignement apprentissage, les effectifs scolaires et le fonctionnement de ces écoles;
- Inventorier et catégoriser les défis de la gratuité de l'enseignement dans ces écoles
- Proposer des stratégies susceptibles de relever les défis auxquels s'affrontent ces écoles dans l'application de la gratuité de l'enseignement

Pour ce qui est de l'étendue de l'étude, elle concerne uniquement les écoles primaires de la sous province éducationnelle de Goma et s'appuie sur les données allant de septembre 2019, période de la généralisation de la gratuité de l'enseignement en RDC jusqu'à septembre 2021, mois correspondant à la fin de l'année scolaire. Précisons que l'enquête s'est déroulée au cours de l'année scolaire 2020-2021.

4 MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE

Notre étude a concerné une population finie constituée de 340 enseignants assis et débouts de 45 écoles primaires publiques de la sous province éducationnelle de Goma (Cfr Tableau 1). Pour récolter les données, la méthode d'enquête, le questionnaire et l'interview libre ont été utilisés. L'analyse statistique nous a permis de quantifier les données des questions

ouvertes et semi-ouvertes de l'analyse de contenu. Sur ce, nous avons effectué le pointage et dégagé les effectifs à l'apparition de chaque réponse.

Tableau 1. Population des écoles primaires publiques de la sous province éducationnelle de Goma

Régime de gestion	Dénominations des écoles primaires	Enseignants
Conventionné protestant	Alléluia, Injili, Kyeshero, Milita, Kalangala, Neema, Mbusu, Paluku, Bethanie, Himbi, Kasika, Patemo, Sayuni, Moria, Scott, La Vigne, Tshomba, Le Héros, Totoro, Chamahame, Subira, Uenezaji, Nyakamba, Mbusu.	163
Conventionné catholique	Saint Benoît, Katindo, Matunda I, Matunda II, Sabinyo, Mont Carmel, Nyabyunyu, Nyamulagira, Karibu, Bulengo, Busomba, Gianni.	96
Non conventionné	Aigo, Kigali, Kinyumba, Lac vert, Mabanga, Furaha, Aimog.	63
Conventionné kimbanguiste	Bandeleki	10
Conventionné islamique	Mavuno	8
5	45	340

Source: Archives du secrétariat de la Sous-province éducationnelle de Goma, 2020.

Ce tableau révèle que l'effectif total (N) de la population est de 340 enseignants (assis et debout) dont 163 des écoles conventionnées protestantes, 96 des écoles conventionnées catholiques, 63 des écoles non conventionnées, 10 de l'école kimbanguiste et 8 de l'école islamique.

De la population ci-haut décrite, nous avons tiré un échantillon aléatoire stratifié simple pour avoir un échantillon probabiliste constitué des 45 écoles des différents régimes de gestion.

Ainsi, l'échantillon tiré est constitué comme suit:

Tableau 2. Répartition de l'échantillon

Régime de gestion	Ecoles	Enseignants	Echantillon
Conventionné protestant	24	163	90
Conventionné catholique	12	96	53
Non conventionné	7	63	35
Conventionné kimbanguiste	1	10	5
Conventionné islamique	1	8	4
Somme	45	340	187

Source: Archives du secrétariat de la Sous-province éducationnelle de Goma et calcul.

L'échantillon est au départ de 187 enseignants soit 55% de la population dont 90 des écoles protestantes soit 48.13%; 53 des écoles catholiques soit 28.34%; 35 des écoles officielles soit 18.72%; 5 des écoles kimbanguistes soit 2.67% et 4 des écoles islamiques soit 2.14%.

Cependant, cet échantillon a subi une mortalité de 39.59%, ce qui l'a réduit à 113 individus qui ont effectivement répondu à notre questionnaire. Les autres sont ceux qui, malgré notre instance, n'ont pas remis le questionnaire.

Ci-dessous la description de leurs caractéristiques sociodémographiques notamment le genre, le statut matrimonial, le niveau d'étude, l'âge, l'ancienneté, la fonction et le régime de gestion (tableau 3).

Tableau 3. Description des caractéristiques de l'échantillon

Caractéristiques	Description	ni	%
Genres	Masculin	65	57,5
	Féminin	48	42,5
Statuts matrimoniaux	Marié	81	71,7
	Non-Marié	32	28,3
Niveaux d'étude	Diplômé d'Etat	79	69,9
	gradué	23	20,4
	Licencié	11	9,7
Fonctions	Personnel administratif	69	61,1
	Personnel enseignant	44	38,9
Ages	18-25 ans	13	11,5
	26-45 ans	64	56,6
	46-65 ans	27	23,9
	66 ans et plus	9	8
Anciennetés	0-6 ans	51	45,1
	7-12 ans	9	8
	13-18 ans	23	20,4
	19-24 ans	4	3,5
	25-30 ans	19	16,8
	31 ans et plus	7	6,2
Régimes de gestion	Non-conventionné	20	17,8
	Conventionné catholique	32	28,3
	Conventionné protestant	55	48,7
	Conventionné kimbanguiste	4	3,5
	Conventionné islamique	2	1,7

Source: Enquête N= 113

Du point de vue genre, le tableau indique que notre échantillon est constitué de plus d'hommes (57,5%) que de femmes (42,5%). Ceci veut dire que la plus part des enquêtés sont du genre masculin. Concernant le statut matrimonial, il faut noter que la majorité des enquêtés sont mariés (71,7%). Les non-mariés représentent seulement 28,3%.

5 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Les résultats de l'enquête ont été présentés selon la succession des questions de notre questionnaire. Chaque question est suivie d'un tableau des résultats et ce tableau est immédiatement suivi d'une analyse commentée.

Tableau 4. Connaissance et définition de la gratuité de l'enseignement

Réponses	ni	%
Oui	113	100
Non	0	0

Source: Enquête N= 113.

Les données de ce tableau montrent que tous les 113 enquêtés, soit 100% ont affirmé avoir entendu parler de la gratuité de l'enseignement. Bien que les définitions étaient données en des termes différents, toutes se concentrent sur la prise en charges des écoles par l'Etat.

Tableau 5. Vécu de l'application de la disposition légale sur la gratuité de l'enseignement de base

Réponses	ni	%
Oui	86	76,1
Non	27	23,9

Source: Enquête N= 113

Les résultats de ce tableau montrent que 86 enquêtés, soit 76,1% ont vécu l'application de la disposition légale sur gratuité de l'enseignement de base dans les écoles publiques de leur sous-province éducationnelle. Par contre, 27 enquêtés, soit 23,9% ont donné un avis contraire du fait que les parents cotisent à volonté pour soutenir la gratuité.

Tableau 6. Avis sur les avantages et désavantages de la gratuité de l'enseignement pour l'école

Réponses	ni	%
Avantageuse	42	37,2
Désavantageuse	71	62,8

Source: Enquête. N= 113

Les données de ce tableau rapportent que 71 enquêtés, soit 62,8% estiment que la gratuité de l'enseignement est désavantageuse pour l'école. Par contre, 42 enquêtés, soit 37,2% ont donné un avis contraire.

Tableau 7. Avis sur les avantages et désavantages de la gratuité de l'enseignement pour l'enseignant

Réponses	ni	%
Avantageuse	25	22,1
Désavantageuse	88	77,9

Source: Enquête. N= 113

Il ressort de ce tableau que 88 enquêtés, soit 77,9% ont montré que la gratuité de l'enseignement est désavantageuse pour l'enseignant. Par contre, 25 enquêtés, soit 22,1% ont montré que la gratuité l'enseignement est avantageuse pour l'enseignant.

Tableau 8. Avis sur les avantages et désavantages de la gratuité de l'enseignant pour l'apprenant

Réponses	ni	%
Avantageuse	14	12,4
Désavantageuse	99	87,6

Source: Enquête. N= 113

Les données de ce tableau montrent que 99 enquêtés, soit 87,6% soutiennent que la gratuité de l'enseignement est désavantageuse pour l'apprenant. Cependant, 14 enquêtés, soit 12,4% ont signalé que la gratuité de l'enseignement est avantageuse pour l'apprenant.

Tableau 9. Avis sur les avantages et désavantages de la gratuité de l'enseignement pour les parents

Réponses	ni	%
Avantageuse	102	90,3
Désavantageuse	11	9,7

Source: Enquête. N= 113

Les résultats de ce tableau rapportent que 102 enquêtés, soit 90,3% ont signifié que la gratuité de l'enseignement est avantageuse pour les parents. Par contre, 11 enquêtés, soit 9,7% ont donné un avis contraire.

Tableau 10. Avis sur les avantages et désavantages de la gratuité de l'enseignement pour l'Etat

Réponses	ni	%
Avantageuse	52	46
Désavantageuse	61	54

Source: Enquête. N= 113

Nous notons du tableau ci-dessus que 61 enquêtés, soit 54% partagent l'avis selon lequel la gratuité de l'enseignement est désavantageuse pour l'Etat. Par ailleurs, 52 enquêtés, soit 46% donnent un avis contraire.

Tableau 11. Conditions à remplir pour réussir la gratuité de l'éducation de base

Conditions à remplir pour réussir la gratuité de l'éducation de base	ni	%
Revoir à la hausse le salaire des enseignants	60	26,9
Construire les écoles	51	22,9
Equiper les écoles et les bureaux des gestionnaires	33	14,8
Donner des frais de fonctionnement suffisants	24	10,8
Payer les NU et les NP	13	5,8
Créer une institution de suivi et d'évaluation de la gratuité	13	5,8
Mécaniser tous les enseignants	11	4,9
Réduire les provinces éducationnelles	9	4,1
Respecter le nombre d'élèves par classe	7	3,1
Donner les uniformes et objets classiques aux élèves	2	0,9

Source: Enquête Inflation de N= 223

Tout en soulignant les inflations de N, ce tableau révèle que les enquêtés ont décelé plusieurs conditions à remplir pour réussir la gratuité de l'éducation de base. Il s'agit de: revoir à la hausse le salaire des enseignants (26,9%); construire les écoles (22,9%); équiper les écoles et les bureaux des gestionnaires (14,8%); donner des frais de fonctionnement suffisants (10,8%); payer les NU et les NP (5,8%); créer une institution de suivi et d'évaluation de la gratuité (5,8%); mécaniser tous les enseignants (4,9%); réduire les provinces éducationnelles (4,1%); respecter le nombre d'élèves par classe (3,1%); donner les uniformes et objets classiques aux élèves (0,9%).

Tableau 12. Influence de la gratuité de l'enseignement sur le fonctionnement de l'école

Réponses	ni	%
Oui	82	72,6
Non	31	27,4

Source: Enquête. N= 113

Ce tableau révèle que 82 enquêtés, soit 72,6% reconnaissent l'influence de la gratuité sur le fonctionnement de leurs écoles. Ils ont précisé que cette influence est négative. Par contre, 31 enquêtés, soit 27,4% ont donné un avis contraire. Chez eux la gratuité n'a eu aucune influence sur leurs écoles car ils continuent à recourir à la prime des parents comme avant.

Tableau 13. Augmentation des effectifs dans les classes

Réponses	ni	%
Oui	90	79,6
Non	23	20,4

Source: Enquête. N= 113

Les données de ce tableau montrent que 90 enquêtés, soit 79,6% affirment qu'il y a augmentation des effectifs. Par ailleurs 23 enquêtés, soit 20,4% n'ont pas fait cette expérience de l'augmentation des effectifs dans des classes. Au contraire, selon leur expérience, il y a eu diminution car beaucoup de parents ont retiré leurs enfants pour les écoles privées.

Tableau 14. Influence négative de la gratuité sur la qualité de l'enseignement dans les classes

Réponses	ni	%
Oui	108	95,6
Non	5	4,4

Source: enquête. N= 113

Ce tableau renseigne que 108 enquêtés, soit 95,6% soutiennent que la gratuité affecte négativement la qualité de l'enseignement dans les classes. En outre, 5 enquêtés, soit 4,4% ont donné un avis contraire en signifiant que certains enseignants donnent le meilleur d'eux-mêmes par pitié pour les enfants.

Tableau 15. Influence positive de la gratuité sur la qualité de l'enseignement-apprentissage dans les classes

Réponses	ni	%
Oui	4	3,5
Non	109	96,5

source: Enquête. N= 113

Les données de ce tableau montrent que 109 enquêtés, soit 96,5% déclarent que la gratuité affecte négativement la qualité de l'enseignement-apprentissage dans les classes. Par contre, 4 enquêtés, soit 3,5% affirment que la gratuité affecte positivement la qualité de l'enseignement-apprentissage dans des classes sans aucune justification.

Tableau 16. Frais de fonctionnement octroyés par l'Etat

Réponses	ni	%
Oui	113	100
Non	0	0

Source: Enquête. N= 113

Il ressort de ce tableau que tous les 113 enquêtés, soit 100% affirment que leurs écoles reçoivent les frais de fonctionnement de l'Etat.

Tableau 17. Problèmes empêchant la réussite de la gratuité de l'enseignement en RDC

Problèmes empêchant la réussite de la gratuité en RDC	ni	%
Non-paiement d'un salaire convenable aux enseignants	102	41,3
Insuffisance des écoles pour accueillir les enfants	45	18,2
Manque de suivi et d'évaluation de la gratuité	30	12,2
Démotivation des NU et NP	22	8,9
Délabrement des infrastructures	15	6,1
Non achèvement du programme dû aux absences des enseignants	11	4,5
Insuffisance des frais de fonctionnement	9	3,6
Manque des matériels didactiques et des manuels scolaires	7	2,8
Surpeuplement des classes	6	2,4

Source: Enquête Inflation de N= 247

Tout en signalant les inflations de N, ce tableau a révélé que les enquêtés ont identifié plusieurs problèmes qui empêchent la réussite de la gratuité de l'enseignement primaire en RDC.

Tableau 18. Pistes de solutions pour la réussite totale de la gratuité

Pistes de solutions pour la réussite totale de la gratuité	ni	%
Revoir à la hausse le salaire des enseignants	51	21,6
Soutenir la gratuité par des frais alternatifs	34	14,4
Augmenter les frais de fonctionnement des écoles	32	13,6
Construire les écoles	26	11
Créer un cadre de suivi et d'évaluation de la gratuité	22	9,3
Mécaniser les NU et les NP	18	7,6
Equiper les écoles et les bureaux des gestionnaires	18	7,6
Respecter le nombre d'élèves par classe	11	4,7
Accorder aux enseignants des avantages sociaux	10	4,3
Revoir la création des provinces éducationnelles de manière à les réduire en tenant compte de la proximité	9	3,8
Reformer le SECOPE pour une transparence dans la gestion des fonds mis à disposition pour la paie des enseignants	5	2,1

Source: Enquête. Inflation de N= 236

Tout en signalant les inflations de N, les données de ce tableau révèlent que les enquêtés ont décelé plusieurs pistes de solutions pour la réussite totale de la gratuité de l'enseignement primaire en RDC.

6 DISCUSSION DES RÉSULTATS

Les résultats ont montré que la gratuité est appliquée en conformité avec la loi mais avec beaucoup de difficultés. Parmi les difficultés il a été soulevé le manque des moyens financiers pour faire face aux besoins des écoles. Ces résultats sont différents de ceux de Kandolo et Nyakakonda qui, respectivement, en 2012 et 2017 ont conclu que la gratuité n'est pas pratiquée car les contributions obligatoires (primes) des parents subsistent et beaucoup d'enfants ne pouvaient pas accéder à l'école. Ainsi, ces résultats ont confirmé la première hypothèse.

Concernant le deuxième objectif, l'étude analyse les effets induits de la gratuité de l'enseignement sur la qualité de l'enseignement, les effectifs scolaires et le fonctionnement de ces écoles. Les résultats montrent que la gratuité de l'enseignement a des effets négatifs sur la qualité de l'enseignement et le fonctionnement des écoles mais aussi elle provoque l'augmentation de la taille des classes en termes des effectifs pléthoriques. Ces résultats sont similaires à ceux de Messi qui, en 2010, a souligné que la gratuité impacte négativement la qualité de l'enseignement-apprentissage au Cameroun. Ainsi, ces résultats ont confirmé la deuxième hypothèse.

Quant au troisième objectif, l'étude cherche à inventorier et catégoriser les défis de la gratuité dans les écoles ciblées. Les enquêtés estiment que la gratuité de l'enseignement est avantageuse pour les parents. Cependant, elle est défavorable pour les élèves, l'Etat et l'école. L'étude a montré que dans l'application de la gratuité, les écoles affrontent beaucoup de défis que nous avons catégorisés en trois: les défis pédagogiques, les défis matériels et les défis financiers. Par rapport aux défis pédagogiques, il y a les absences des enseignants, le non achèvement du programme, manque des matériels didactiques et des manuels scolaires.

Concernant les défis matériels, il y a délabrement des infrastructures, insuffisance des classes et des bancs. Pour les défis financiers, nous avons les mauvaises conditions de travail dues aux frais de fonctionnement insuffisants, au manque de moyens financiers pour équiper les bureaux et les classes, au manque des moyens pour se procurer les matériels didactiques et les manuels scolaires. A cela s'ajoutent le salaire insuffisant des enseignants et le manque des salaires pour les NU et NP. Pour soutenir la gratuité, qui est une réforme louable, les écoles recourent aux contributions des parents volontaires, des personnes de bonne volonté et à l'autofinancement. Ce qui signifie que dans l'application de la gratuité, les écoles primaires publiques de la Sous-province éducationnelle de Goma font face à plusieurs défis dont le plus pondérant est le défi financier car une fois relevé, il relèvera tous les deux autres. Ces résultats sont similaires à ceux de Dangbenon qui a aussi souligné plusieurs problèmes de la gratuité au Bénin. Ainsi, ces résultats ont confirmé la troisième hypothèse.

Quant au quatrième objectif, l'étude a voulu proposer des stratégies susceptibles de relever les défis de la pratique de la gratuité de l'enseignement. Les résultats montrent que les enquêtés ont proposé beaucoup des stratégies pour relever les défis auxquels s'affrontent les écoles primaires publiques dans la pratique de la gratuité. Ils ont cité entre autre la construction

des écoles, la révision à la hausse du salaire des enseignants, l'augmentation des frais de fonctionnement, le soutien la gratuité par des frais alternatifs; la création d'un cadre de suivi et d'évaluation de la gratuité, la mécanisation de tous les enseignants, etc. Ces résultats ont confirmé la quatrième hypothèse.

L'application de ces mesures permettra de dissiper le sens péjoratif de la gratuité tel que le précisent Yawidi et Luboya montrant qu'en RDC tout ce qui est gratuit est lié à ce qui est périmé, démodé, avarié mais aussi suscite un rejet et ne mérite pas une attention particulière dans le sens de le valoriser [4].

7 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Le but poursuivi dans cette étude était d'analyser l'application de la réforme de gratuité de l'enseignement dans les écoles primaires publiques de la Sous-province éducationnelle de Goma, tout en analysant ses effets, ses défis et ses perspectives.

Après analyse et discussion des résultats, il a été démontré que les participants (76,1%) ont témoigné que la gratuité est appliquée en conformité avec la loi.

Par ailleurs, les résultats ont montré les effets induits de la gratuité notamment, l'application de la politique de la gratuité de l'enseignement dans les écoles ciblées influence leur fonctionnement (72,6%); l'application de la gratuité dans ces écoles occasionne l'augmentation des effectifs des élèves dans des classes (79,6%). La quasi-totalité (95,6%) des acteurs scolaires enquêtés estime que l'application de la gratuité affecte négativement la qualité de l'enseignement dans les classes.

Dans sa pratique, les écoles se butent à beaucoup de défis de nature pédagogiques, matériels et financiers. Ces résultats ont permis de confirmer les quatre hypothèses émises dans notre travail.

Face aux reproches adressés à la pratique de la gratuité, enrichies du cadre théorique, l'étude recommande à l'Etat (i) de construire des écoles, (ii) de revoir à la hausse le salaire des enseignants, (iii) d'augmenter des frais de fonctionnement, (iv) de créer un cadre de suivi et d'évaluation de la gratuité (iv) de mécaniser tous les enseignants et (vi) de soutenir la gratuité par des frais alternatifs.

REFERENCES

- [1] KANT E., *Réflexions sur l'éducation*, Paris, PUF, 1803.
- [2] *Constitution de la République Démocratique du Congo du 18 février 2006*, modifiée par la loi n°11/002 du 20 janvier 2011 portant révision de certains articles.
- [3] Kandolo, F., *La gratuité de l'enseignement au Congo-Kinshasa, un droit humain à l'éducation sous ombrelle*, Univ. Européenne, 2012.
- [4] Yawidi J.P, LUBOYA C., *Marketing scolaire, un déficit pour l'école en R D Congo*, Editions Mabiki, Kinshasa, 2019.

Evaluation of groundwater mineralization processes in Moundou City (Southwestern Chad)

Edith Kadjangaba¹, Antoinette Dénéodji², Djimako Bongo³, Jean-Claude Doumnanguembaigane⁴, and Mahmoud Yaya⁵

¹Faculty of Sciences and Techniques, University of Doba, Doba, Chad

²Remote Sensing Department, National Development Research Center, N'djamena, Chad

³Mechanical Engineering Department, Higher Normal School of Technology Sarh, Sarh, Chad

⁴Geology, Geomorphology and Remote Sensing Laboratory, Faculty of Exact and Applied Sciences, University of N'djamena, N'Djamena, Chad

⁵Natural Substances Laboratory, Exact and Applied Sciences Faculty, University of N'Djamena, N'Djamena, Chad

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 aims to understand hydrogeochemical functioning of groundwater in Moundou city. This city is located in southwest of Chad between 16° 02' and 16° 12' East longitude and 8° 51' and 8° 60' North latitude. To carry out this study, 15 water points were sampled (8 wells and 7 boreholes,) from November 21 to 26, 2019; and chemical parameters analyzed are HCO_3^- , Cl^- , NO_2^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , NO_3^- . In order to determine origins and processes of mineralization of groundwater hydrochemical and statistical approaches were used. The results show through Chadah diagram, that groundwater presents 2 facies: a bicarbonate calcic and magnesian facies ($\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$) and a chloride calcic and magnesian facies (Cl-Ca-Mg). Results also show that main phenomena at origin of mineralization of waters are alteration of silicates, cationic exchanges, evaporation and anthropic activities.

KEYWORDS: Hydrochemistry, groundwater, mineralization, chemical facies, Moundou.

1 INTRODUCTION

Water is a natural resource of paramount importance, because it is essential to life on our planet and therefore, it constitutes an undeniable wealth for humanity. All beings and living organisms on earth need water for their survival and/or growth. It is necessary for all human activities and also plays a very important role in socio-economic development of human communities [1]. It should be noted that while water is one of most important and abundant compounds in ecosystem, freshwater resources are very limited. Although an estimated 70% of Earth's surface is occupied by water, only 3% of this water is fresh. Moreover, freshwater, whether renewable or not, is a resource that deserves special attention, since it is seriously threatened by human activities. Indeed, population growth accompanied by rapid urbanization causes numerous disturbances in natural environments [2], industrialization, abusive use of fertilizers and pesticides, as well as lack of awareness of population for protection of environment, lead to an imbalance of ecosystem and generate pollutants that can affect physico-chemical and biological quality of receiving aquatic environments [3].

In Africa, groundwater is largest and most important water resource ([4], [5]). Thus, groundwater is a preferred resource for supplying drinking water to populations, as it is free of pollution compared to surface water. Moreover, they are more resilient to climate variability than surface water [4]. Chad, one of largest countries in Central Africa with an area of 1284,000 km², has significant exploitable groundwater resources that vary between 260 billion and 550 billion m³. The annual renewable water resources are estimated at 20 billion m³ [6]. Unfortunately, latter is very unevenly distributed and access to drinking water remains limited despite efforts of the Chadian government. In Moundou city, situation is identical to that observed in other cities in Chad. Indeed, this city is also faced with problem of accelerated urbanization due to a growing population. In 2009, population was estimated at 15,015 inhabitants [7] and could reach approximately 380,000 inhabitants by 2030 [8]. This population growth is not without consequences on environment in general and on

groundwater resources in particular, especially in terms of quantity and quality. This rapid and significant growth of local population, coupled with rural exodus, is accompanied by an increase in production of large quantities of waste (solid or liquid), and when this waste is washed away during rainy season, it can alter groundwater table. It should be noted that chemistry of natural waters depends essentially on geological composition of environments crossed and residence time. However, it is very dynamic because it is largely controlled and modified by its contact environment. Thus, as soon as water comes into contact with an undesirable substance or a germ, its quality can be affected. Consumption of unsafe water is a threat to public health because it exposes people to a range of diarrheal diseases and chemical poisoning [9]. The greatest victims are young children and according to [10], each year more than two million people, mainly children under five, die from diarrheal disease. Faced with the inability of Chad Water Company (STE), main water Distribution Company, to provide good quality water, population of Moundou city uses traditional wells or human powered pumps to collect water from groundwater table to solve this problem, however quality of this water is not guaranteed. To ensure access to good quality water and to guarantee better management of this resource, it is essential to know hydrochemical processes that govern its mineralization. We hope that result of this work will provide necessary information for updating of hydrogeological maps of Chad.

2 PRESENTATION OF THE STUDY AREA

Economic capital of Chad, Moundou city is capital of department of Lac Wey and the region of Logone Occidental. Located 500 kilometers from N'Djamena, capital of Chad, it lies between 16° 02' and 16° 12' East longitude and between 8° 51' and 8° 60' North latitude (Figure 1). It is located on a relatively flat basin, with an average elevation of natural terrain between 390 and 400 m.

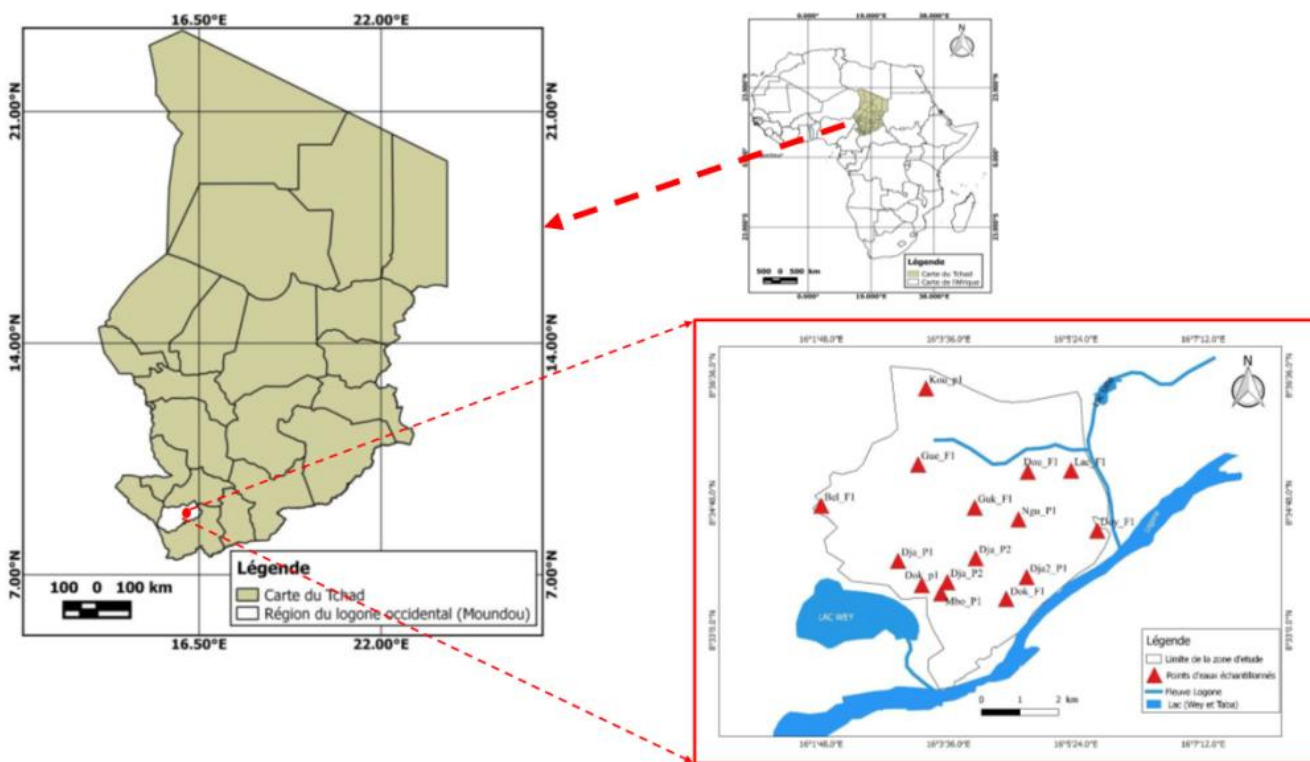


Fig. 1. Location of study area and spatial distribution of sampled water points

Study area is subject to a semi-humid tropical climate of Sudanian type, and is characterized by two seasons: rainy season that extends from April to October and dry season that extends from November to March. Rainfall generally varies between 1000 and 1200 mm per year. Temperature in Moundou ranges from 15°C to 41°C with an annual average of 27°C. Dry season lasts approximately 5 months i.e. from November to end of March [11].

Regarding geology and hydrogeology knowledge is quite limited. Moundou city is located in Koros region which constitutes southern part of Chad [12], latter extends between crystalline massifs corresponding to border with Central African Republic and Chari floodplains. It is an area formed by 8 plateaus (Koros) resulting from an original plateau that has been cut by valleys occupied by permanent watercourses located between 100 - 500 m below plateau. Altitude of these plateaus can exceed +450 to +500 m, with a peak at +627 m (Koro de Bebangher) and Moundou city is located in hilly part of Koros region, at an altitude of +398 m. Geology of Moundou town,

as described by [12], is that of Doba-Salamat sub-basin (area corresponding to middle part of Logone and Chari river basins). Only Terminal Continental (TC) outcrops in study area, it is made up of sedimentary formations with variable lithology, ranging from sands to lateritic armoury, passing through clayey sandstones, sandy clays and mudstones. Maximum strength of Terminal Continental is in center of sub-basin and coincides with tectonic trough filled by Cretaceous materials. Lower part of TC, about 800 meters thick, consists of sands interspersed with beds of silts and clays. Upper part is formed by sandy-clay materials whose height varies between 70 m and 260 m. Continental Terminal (CT) is rich in water resources, including water table, which is subject of this study. Lithological sections (Figure 2) obtained from data sheets of four boreholes and a pressiometric borehole drilled by SETUBA Company [13] in Moundou city show a great heterogeneity of layers.

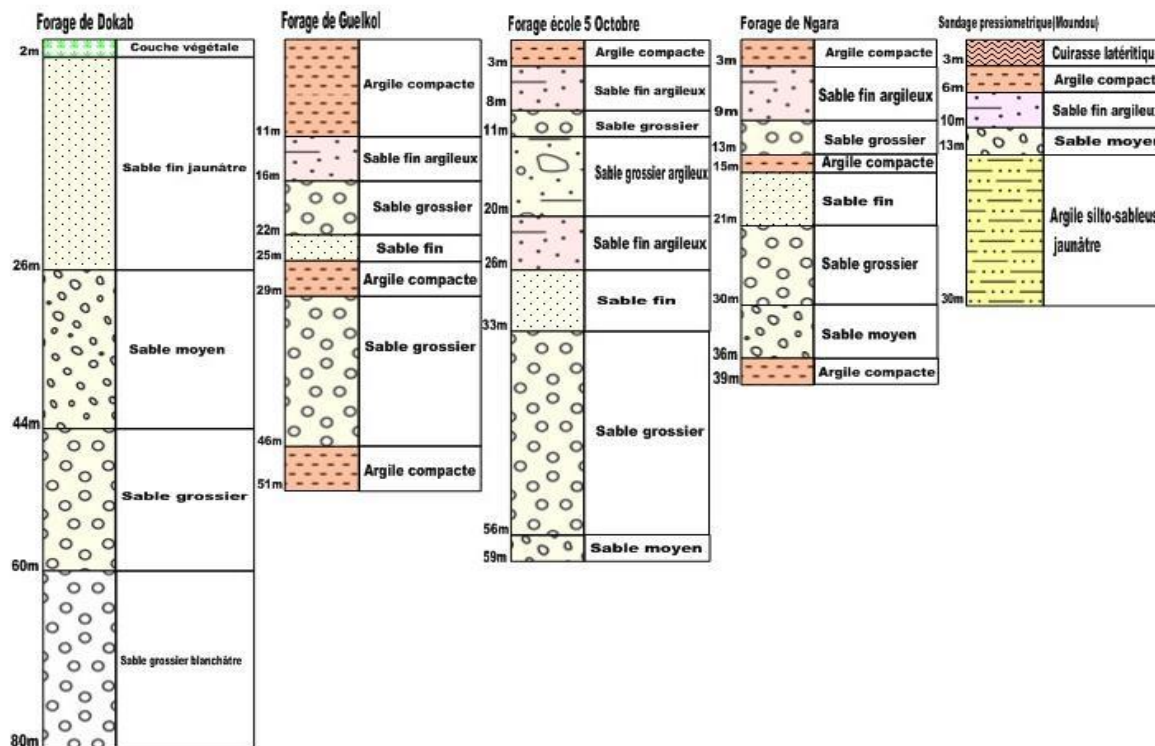


Fig. 2. Lithological cross-section of boreholes drilled in Moundou town

A weak layer of compact clay can be seen in Ngara borehole and in 5 October School borehole; a layer of clay 11 meters thick can be seen in Guelkol borehole, and alternating layers of fine clayey sand have also been identified. Beyond a depth of 10 meters, we note presence of layers of medium and coarse sand, this depth corresponds to minimum depths of traditional wells in city. An alternation between coarse and medium sand layers and sometimes thinner compact clay layers is observed at a depth greater than 20 meters (example of lithological layers of Guelkol and Ngara). Piezometric map of groundwater table in Moundou city (Figure 3) was produced from piezometric data collected during June 2015 campaign on basis of twenty-nine (29) wells distributed more or less homogeneously throughout city [14], except for residential areas where no wells were found.

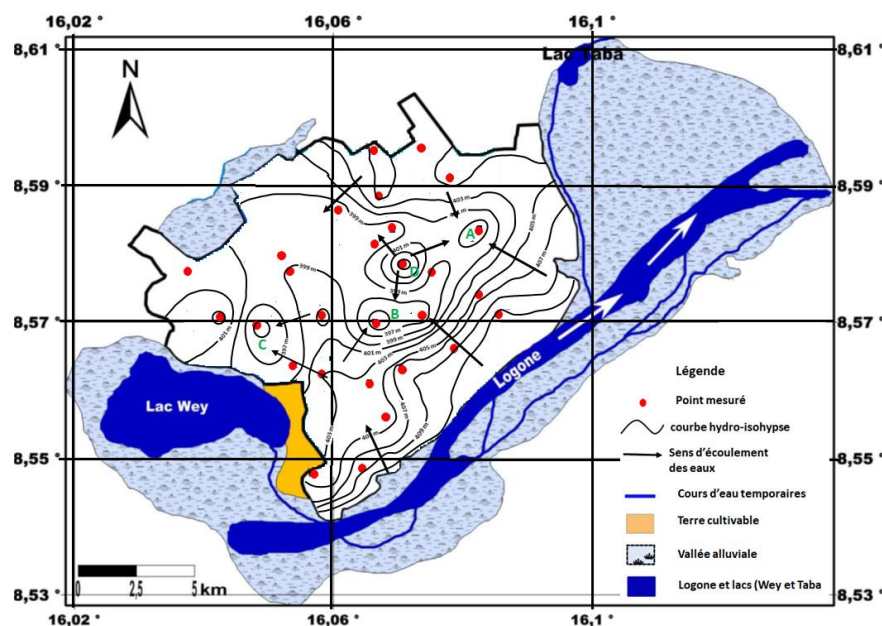


Fig. 3. Piezometric map of Moundou city (June 2015)

This map provides a certain amount of information on the piezometric evolution of the water table and allows us to highlight some of its characteristics. Thus, it can be seen that, depending on orientation of streamlines, in eastern and southern parts of study area, water table flows from southeast to northwest. In North, it tends to flow from North-East to South-West on one hand and from North-West to South-East on other hand. In general, water seems to flow from peripheral neighborhoods to city center of. This observation is consistent with observations made by engineering consulting firm of French group Veolia during a study conducted in this area [11].

Overall, water table is close to surface of ground in vicinity of river (Logone) and becomes deeper as one moves away from it, towards city center. In addition, we note that near river isopiez curves are fairly close together, which suggests that river feeds groundwater table. The presence of piezometric depressions, A in northeast, B in center and C in west, as well as a piezometric dome D in city central part, are certainly noted. However, current state of knowledge does not allow us to say whether domes correspond to recharge zones and depression to a zone of overexploitation of water table under city. The direction of water flow is linked to city's topography. In Moundou city, during wet season (rainy season), shallow water table is fed directly from rainfall, its level rises to ground level and its water then mixes with water that runs off.

From a hydrographic point of view, Moundou city is bordered in southeast (Figure 1) by Logone River (1,000 km long), one of country's main permanent watercourses. Logone River originates from convergence of two rivers: Vina and Mbéré, which originate on Adamaoua plateau in Cameroon, located at an average altitude of 1,200 meters. Logone receives on its right bank Lim from Mount Yadé [12]. At city level, there is also Lake Taba to northeast and Lake Wey to southwest. Although it has not been established, it seems that these two lakes also contribute to recharge of surface water table.

3 SAMPLING AND ANALYSIS

To carry out this study, a total of 15 water points were sampled (wells, boreholes,) between November 21 and 26, 2019 so as to have an overall picture of water (Figure 1). These points were located by Garmin GPS. pH and temperature were measured in situ with a device equipped with a mixed pH 323/SetB electrode and conductivity with the Lf 318/Set electrode conductivity meter. Samples for chemical analysis were filtered using millipore filters with a diameter of 0.45 μm , before being transferred to clean one-liter (1L) polyethylene bottles, which were previously rinsed at least three times with water to be collected, and bottles were filled to brim before being hermetically sealed to avoid air bubbles. A few drops of acid were added to samples for cation analysis. Samples were then placed in a cooler to be maintained at a temperature of 4° C before being sent to laboratory. Chemical analyses were performed at National Water Laboratory (LNE) of Ministry of Water and Sanitation. Analytical methods vary according to chemical elements: HCO_3^- and Cl^- were determined by the volumetric method; Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , were determined thanks to Photometer DR7100 and SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- by spectrometry (DR890). We have verified reliability of our results by calculating ionic balance of each water point, our values are between -3 and +5%.

4 PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF THE WATER

4.1 PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS

Statistical parameters of each of physico-chemical variables (minimum, maximum, average, standard deviation and coefficient of variation) are calculated and summarized in table below (Table 1).

Table 1. Statistical characteristics of physicochemical analyses

Paramètres	C25°C	pH	T°C	TDS	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	P _{CO2}
Unités	µS/Cm		°C	mg/L										atm
minimum	59,7	6,5	26,6	72	30,5	8	0,04	2,76	0,01	8	4	3,5	2,5	0,09
maximum	1999	8	31,7	1391	869	90	2,4	40,06	107,6	87,2	84	134,8	49,4	8,8
moyenne	775,6	7,3	28,5	540,9	329,5	30,9	0,4	14,6	28,4	39,9	35,5	48,5	11,7	3,0
Ecart - Type	662,9	0,5	1,5	446,0	286,2	19,8	0,7	13,8	33,3	28,3	28,2	51,1	11,9	3,0
Coefficient de Variation (%)	85,5	6,4	5,2	82,5	86,9	64,0	170,5	94,2	117,1	71,0	79,2	105,5	101,8	97,2

The coefficient of variation (CV) represents ratio of standard deviation to arithmetic mean. It is a parameter that measures dispersion of a series of observations of a variable around its arithmetic mean. If value of CV is less than 50%, observed variable has a homogeneous distribution around its arithmetic mean and if value of CV is greater than 50%, observed variable has a heterogeneous distribution around its arithmetic mean [15]. Calculation of CV shows that pH and temperature have a homogeneous distribution (CV < 50%) while Electrical Conductivity (EC), TDS and total ions analyses have a heterogeneous geographical distribution (CV > 50%).

Electrical conductivity ranges from 59.7 µS/cm to 1999 µS/cm for all works combined (boreholes and wells), with an average of 775.6 µS/cm. Waters from wells are more mineralized than those from boreholes, in fact, the waters from wells have an average conductivity of about 1204.2 µS/cm, on other hand those from boreholes have an average conductivity of about 285.9 µS/cm. High mineralization observed in some water points (Dok-P2, Dja-P4, Dja-P6, Mbo-P7 and Dja-P8) can be explained by fact that catchment structures are made up of open wells and therefore without protection against all sources of external pollution that can influence its mineralization, on one hand, and on other hand, water table is shallow, so in addition to influence of pollution, it can also be subject to evaporation. Just like Electrical conductivity, total dissolved solids (TDS) also shows a wide variation (72-1391 mg/L). According to [16], a water is said to be soft if we have TDS < 1,000 mg/L; brackish for 1000 < TDS < 10,000 mg/L and saline for 10000 < TDS < 1,000,000 mg/L. According to this classification, three (03) water points (Dja-P6, Mbo-P7 and Dja-P8) can be qualified as brackish with a TDS higher than 1,000 mg/L. pH values vary between 6.5 and 8 with an average of 7.3; on average, pH of water is around neutral except for two wells, Doy-F6 and Dom-F1, which are slightly alkaline with respective pH values of 8. Temperature of water ranges from 26.6°C to 31.7°C with an average of 28.5°C. Average temperature of water from wells is equal to 27.5°C and is slightly higher than that of borehole water (average temperature: 29.7°C). In all cases, temperatures obtained are close to average annual temperature of region, which is 28°C. This means that water in study area is in thermal equilibrium with atmosphere

Chemical parameters analyzed in case of this study are also characterized by variations in concentration of ions: HCO₃⁻ (30.5 - 869 mg/L), Cl⁻ (8 - 90 mg/L), SO₄²⁻ (0.01 -107.6 mg/L), NO₃⁻ (2.76 -40.06 mg/L), NO₂⁻ (0.04 - 2.4 mg/L), Na⁺ (3.5 - 134.8 mg/L), Mg²⁺ (4 - 84 mg/L), K⁺ (2.5 - 49.4 mg/L, and Ca²⁺ (8-87.2 mg/l /L). This heterogeneity of physico-chemical parameters highlights fact that groundwater chemistry is regulated by several processes.

Statistically, as far as well water is concerned, for anions, the water is dominated by HCO₃⁻ ions which represent 83% of total anions followed by SO₄²⁻, Cl⁻ and NO₃⁻ ions which represent respectively 7%, 6% and 4% of total anions. Percentage of NO₂⁻ ions is 0%. For cations, waters are dominated by Na⁺ ions which represent 36% of total cations followed by Ca²⁺, Mg²⁺ and K⁺ ions which represent respectively 29%, 26%, and 9% of total cations. The anions in the borehole water are dominated by HCO₃⁻ ions which represent 73% of the total anions followed by Cl⁻, SO₄²⁻ and NO₃⁻ ions which represent respectively 18%, 6% and 3% of the total anions. Percentage of NO₂⁻ ions is 0%. Cations are dominated by Ca²⁺ ions which represent 45% of total cations followed by Mg²⁺, Na⁺ and K⁺ ions which represent respectively 31%, 14%, and 10% of the total cations.

4.2 CHEMICAL FACIES

To get an overview of the different types of water in relation to the geochemical processes that control the mineralization of groundwater, the water points were plotted on the diagram of [17]. This diagram is a modified version of Piper’s diagram [18] and was produced using Diagramme software [19]. Chadah’s diagram is constructed from the percent difference in milliequivalents between alkaline earths ($Ca^{2+} + Mg^{2+}$) and alkalines ($Na^{+} + K^{+}$), expressed as reaction percent contents, on the X-axis, and the percentage difference in milliequivalents between weak acid anions ($HCO_3^{-} + CO_3^{2-}$) and strong acid anions ($Cl^{-} + SO_4^{2-}$), also expressed as percentage reaction contents, on the Y axis. Percentage differences of milliequivalents of coordinates (X and Y) are then extended in main sub-areas of study of diagram, this is what allows to define character of whole groundwater.

Thus four (04) main types of water can be defined from this diagram: $NaHCO_3$, $CaHCO_3$, $NaCl$ and $Ca-Mg-Cl$, based on relationship between alkaline earths (calcium and magnesium), alkali metals (sodium and potassium), weak acid anions (carbonate and bicarbonate) and strong acids (chloride and sulfate). In Figure 4, a total of fourteen (14) water points or approximately 93% of total water sampled is located in Zone 5, where alkaline earths and weak acid anions dominate both alkali metals and strong acid anions. Waters are of calcic and magnesian bicarbonate type. This type of water is characteristic of fresh waters generated by alteration of silicate minerals

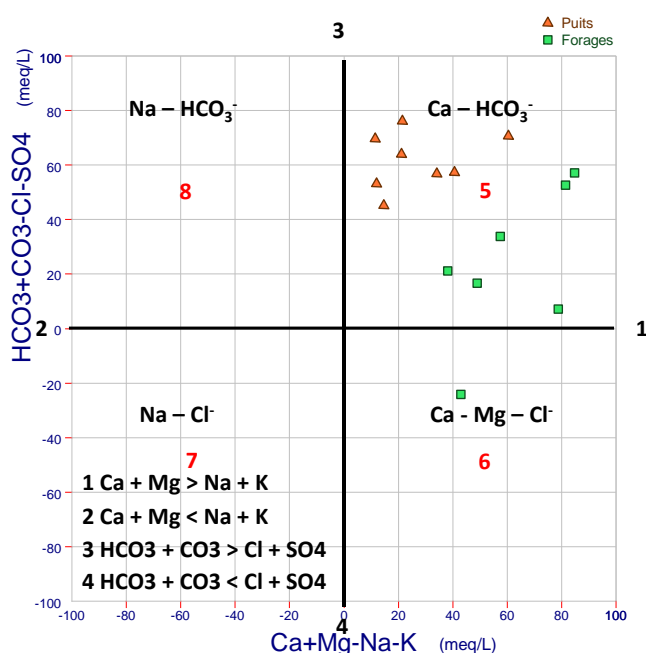


Fig. 4. Diagram of Chadah (1999)

One (01) water point or about 7% of total water sampled is in zone 6, where alkaline earth metals dominate alkali metals and strong acid anions dominate weak acid anions. This water, which is of chloride-calcium-magnesium type, probably results from reverse base exchange process. This water point may also be influenced by anthropogenic activities and/or evaporation.

5 GROUNDWATER MINERALIZATION PROCESS

5.1 GIBBS DIAGRAM

To gain insight into hydrogeochemical processes that control chemistry of major ions in groundwater, [20] proposed a scatter plot that takes into account three important natural mechanisms, namely: (1) atmospheric precipitation, (2) rock weathering and (3) evaporation. Thus, TDS were plotted as a function of $Na^{+} / (Na^{+} + Ca^{2+})$ for cations and $Cl^{-} / (Cl^{-} + HCO_3^{-})$ for anions (Figure 5).

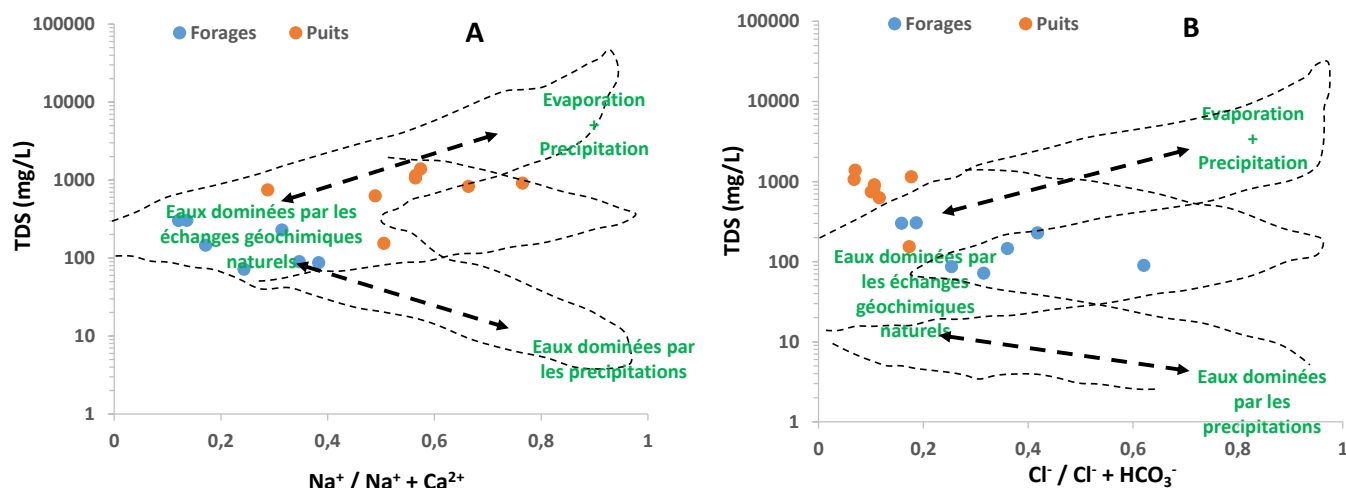


Fig. 5. Groundwater chemistry expressed as a function of rainwater chemistry, rock matrix and evaporation

Figures 5A and 5B show that most of water points have relatively low $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+})$ and $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ relative ratios (less than 0.4) and relatively low TDS as well (less than 400 mg/L); for these water points we can say that rock weathering is the main mechanism that controls water chemistry. There are points that have ratios that increase together with TDS, this indicates that water chemistry is controlled not only by rock weathering but also by evaporation-precipitation. In our case, precipitation phenomenon remains very limited because majority of water is under-saturated or saturated with respect to carbonate minerals and evaporites (Figure 6). Among these points are Dok-P3, Ngu-P5, Dja-P8 and Mbo-P7 which are all open wells. In Figure 5B, we can also see that a number of points that are essentially open wells have a relatively high TDS (> 600 mg/L) and a relatively low $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ ratio (less than 0.2), which suggests that water chemistry is probably influenced by anthropogenic activities. Among these water points, we have almost all well water points except Kou-P1.

5.2 MINERAL PHASE SATURATION INDICES

In order to determine degree of equilibrium between water and minerals and to appreciate at same time phenomena of dissolution and precipitation of minerals present in groundwater, saturation indices (SI) of groundwater with respect to mineral phases (Aragonite (CaCO_3), Calcite (CaCO_3), Dolomite ($\text{Ca, Mg (CO}_3)_2$) and Gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) were calculated using geochemical computer model PHREEQC [21]. Saturation index is defined by the following equation:

$$\text{IS} = \text{Log PAI} / \text{Ksp} \quad (1)$$

With PAI and Ksp which represent respectively product of ionic activity and constant of solubility product.

When $\text{IAP} < \text{Ksp}$, i.e. $\text{SI} < 0$ the groundwater is undersaturated with respect to a given mineral phase, thus leading to dissolution of mineral. Whereas with $\text{IAP} > \text{Ksp}$, i.e. $\text{SI} > 0$ water is rather supersaturated with respect to a determined mineral phase, thus leading to precipitation of mineral. When SI is equal to zero, water is saturated with respect to mineral considered ([22], [23]). This means that mineral is in equilibrium with groundwater, and thus will tend neither to precipitate nor to dissolve. SI evaluation is therefore useful in understanding geochemical processes, plus it is able to determine origin of dissolved ions in groundwater [24]. Calculated SI values (Table 2) for calcite varies between -1.29 and 0.48 with an average of -0.25, that of aragonite varies between -1.43 and 0.34 with an average of -0.39. For, gypsum and dolomite values vary, between -6.34 and -1.68 and between -2.97 and 0.79, with averages of -3.10 and -0.77 respectively.

Table 2. Saturation indices for some minerals and P_{CO_2}

Nom des échantillons	Calcite	Aragonite	Gypse	Dolomie	$P_{CO_2} 10^{-2}$	CAI-1	CAI-2
Dom-F1	0,21	0,07	-5,48	-0,04	0,129	0,41	0,41
Gue-F2	-1,05	-1,19	-3,24	-2,44	0,09	-0,61	-0,61
Bel-F3	-1,02	-1,16	-4,36	-2,57	0,082	0,23	0,23
Dou-F4	-1,29	-1,43	-6,34	-2,97	0,104	0,50	0,50
Guk-F5	-0,97	-1,11	-2,99	-2,11	0,371	0,63	0,63
Doy-F6	0,48	0,34	-2,8	0,78	0,211	0,45	0,45
Lac-F7	-0,52	-0,66	-2,81	-1,31	1,995	0,42	0,42
Kou-P1	-0,61	-0,75	-3,39	-1,86	2,44	-1,71	-0,31
Dok-P2	-0,28	-0,42	-2,09	-0,35	5,306	-3,88	-0,36
Dok-P3	-0,1	-0,24	-2,25	-0,35	3,016	-2,21	-0,24
Dja-P4	0,05	-0,09	-2,47	-0,02	4,114	-4,25	-0,44
Ngu-P5	0,34	0,2	-2,28	0,32	2,993	-1,37	-0,13
Dja-P6	0,45	0,31	-2,18	0,79	4,486	-1,06	-0,21
Mbo-P7	0,37	0,23	-1,68	0,55	8,456	-5,66	-0,36
Dja-P8	0,17	0,03	-2,14	0,02	8,797	-5,31	-0,35

Relationship between saturation indices and TDS (Figure 6) allows us to determine saturation state defined by band between saturation indices -1 and 1. Zone located above this band represents oversaturation state while undersaturation state is located below this band [25].

We note that eleven (11) water points (or 73%) are saturated and four (04) points (or 27%) are undersaturated with respect to calcite. For dolomite, six (06) water points sampled are under saturated and nine (09) points are saturated with respect to this mineral; this represents 40% and 60% of total points sampled respectively. For aragonite, four (04) water points are under saturated and eleven (11) water points are saturated with respect to this mineral, representing respectively 27% and 73% of total points sampled. As for gypsum, it was found that all sampled points (i.e. 100%) are saturated.

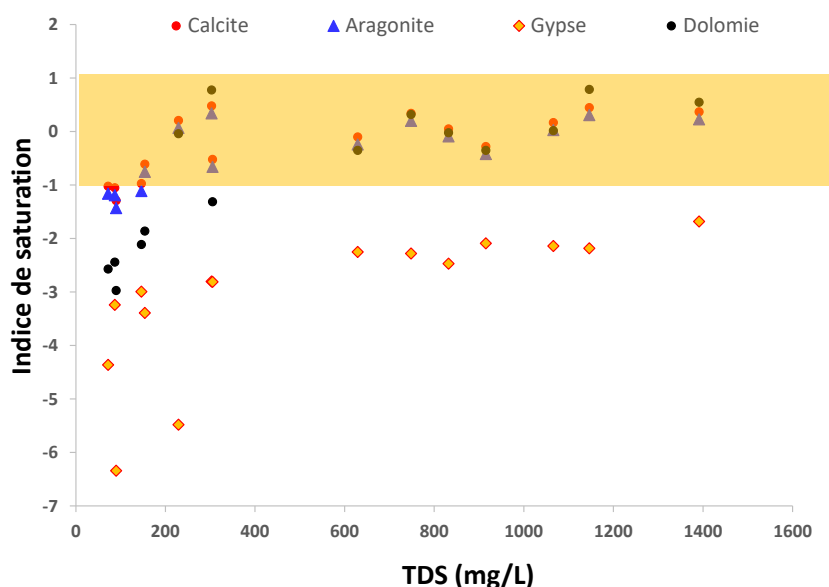


Fig. 6. Saturation index (SI) versus TDS

5.3 BASE EXCHANGE INDEX

During flow, the chemical composition of water can undergo changes due to the phenomenon of ion exchange. This ion exchange is defined as a process of replacement of one chemical element by another at the solid material interface when the composition of the water changes due to pollution, acidification, or displacement of the interface of two types of water with distinct characteristics [26].

Direct and reverse ion exchange can be expressed as equations (2) and (3), respectively below:



Where X indicates the soil exchange ion [27].

Base Exchange Index can be highlighted through graph representing $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-}$ as a function of $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ (Figure 7). If we consider that cation exchange plays an important role in process of water mineralization this should be reflected in a strong linear relationship between variables with a slope of -1 [28].

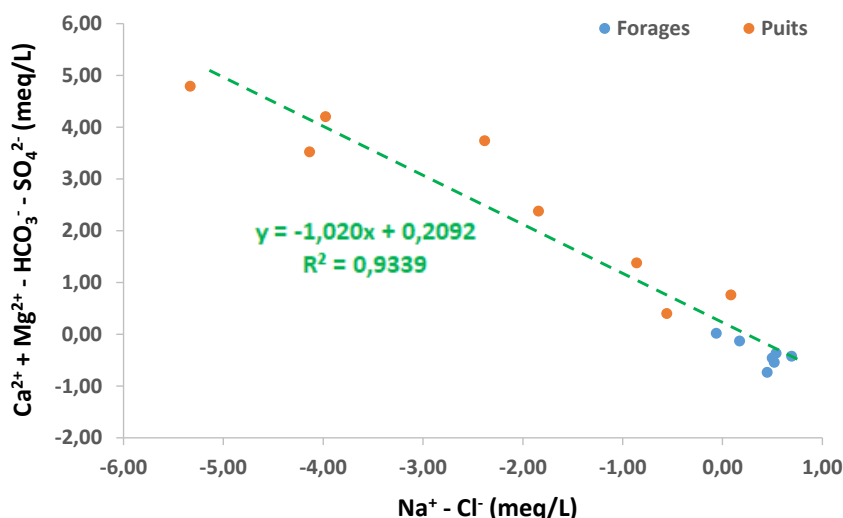


Fig. 7. Graphical representation of $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} - \text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^{2-}$ according to $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$

In our case (Figure 7), we notice that most of water points are distributed along a straight line with a slope of -1.02 and present a good correlation (0.93), this confirms that there is an ion exchange process. This shows that cation exchange is one of hydrochemical processes that influence the quality of water in Moundou city. However, fact that there are a few points distributed above and below linear trend suggests that mineralization of water depends on other processes besides ion exchange.

To confirm presence of cation exchange, we used chlor-alkali indices proposed by [29]. Schoeller’s indices, such as CAI-1 and CAI-2 were calculated using equations below:

$$\text{CAI-1} = \frac{\text{Cl}^- - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{\text{Cl}^-} \tag{4}$$

$$\text{CAI-2} = \frac{\text{Cl}^- - (\text{Na}^+ + \text{K}^+)}{\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} + \text{NO}_3^-} \tag{5}$$

In these equations all ions are expressed in meq/L.

When there is an exchange between Na^+ or K^+ ions of water with Mg^{2+} or Ca^{2+} ions of rock, it indicates that there is a direct ion exchange. Amounts of Na^+ or K^+ ions will decrease in water and both indices (CAI-1 and CAI-2) above will be positive. In contrast, reverse ion exchange will produce negative indices [30]. If values of chloroalkaline indices are zero, it means that no ion exchange process is promoted. Values of CAI-1 and CAI-2, in this study range from -3.63 to 0.93 and -0.64 to 0.92 respectively (Table 2). At level of Figure8, it can be seen that eight (08) sampled water points (i.e. 53%) have negative CAI 1 and CAI 2 values and for seven (07) sampled water points

(i.e. 43%) these values are positive, which means that both direct and reverse ion exchange processes play an important role in water mineralization.

It also confirms fact that cation exchange is an important geochemical process in groundwater of Moundou.

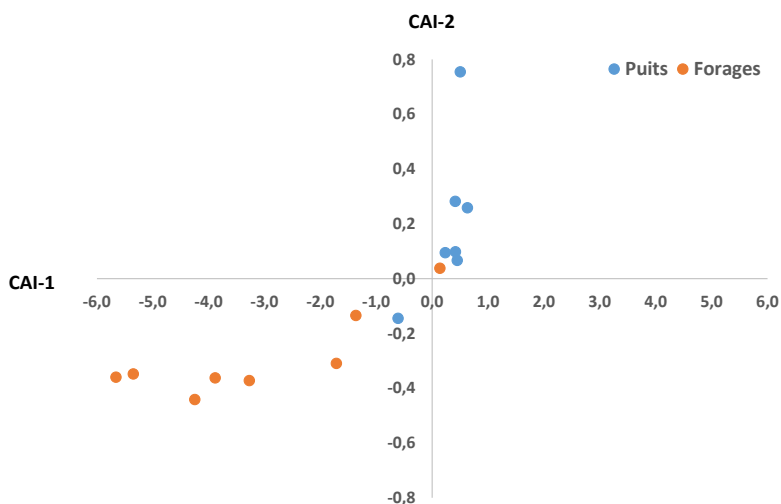


Fig. 8. Relationship between CAI-1 and CAI-2 of groundwater

53% of water points in this study have negative CAI-1 and CAI-2 values and for 43% of water points these values are positive, meaning that both normal and reverse ion exchange processes play an important role in water mineralization.

5.4 PARTIAL PRESSURE OF CO2 (PCO2)

Groundwater P_{CO_2} values were calculated using PHREEQC program. They are found to range from 0.078 to 8.255 10^{-2} atm (Table 2). These values are higher than the atmospheric P_{CO_2} which has a value of $10^{-3.50}$ atm [31], suggesting that groundwater is in contact with soil CO_2 . Latter comes from root respiration and decomposition of soil organic matter. Carbon mineralization occurs in an open system.

Furthermore, in Figure 9, we can see that for most of water points, pH values increase as partial pressure of CO_2 decreases. This behavior can be explained by a relatively long residence time of water in aquifer on one hand, and by importance of physical and chemical reactions that take place between water and minerals in aquifer on the other hand. To this we can add probable presence of biological reactions of micro-organisms that produce CO_2 .

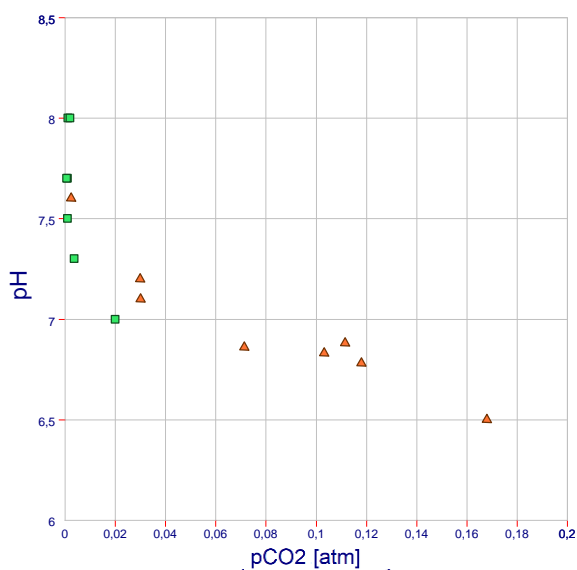


Fig. 9. Relationship between pH and PCO2 of groundwater

It is also noted that presence of CO₂ in water from soil facilitates hydrolysis of silicate minerals and formation of HCO₃⁻ ions, which are most dominant ions in our waters. This explains fact that water is dominated by HCO₃⁻ ion and that it sometimes becomes more and more alkaline. It is also noted that consumption of CO₂ following hydrolysis of silicates leads to an increase in HCO₃⁻ ions and consequently basicity of waters [32].

6 MULTIVARIATE STATISTICAL ANALYSIS

6.1 PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS (PCA)

Multivariate statistical techniques such as correlation coefficient, Principal Component Analysis (PCA) and Hierarchical Ascending Classification were used to further characterize water types in our study area, based on a wide variety of measured parameters. Chemical data were statistically analyzed using computer software Statistical Package for Social Sciences (IBM SPSS Statistics 21).

Eigenvalues of factors are grouped in Table 3 and finding is that first two factors F1 and F2 account for 78.94% of variance expressed. These factors group together maximum of variance expressed and are sufficient to reflect information sought.

Table 3. PCA results using varimax rotation with Kaiser normalization.

Parametres	F1	F2	F3
c25C	0,64	0,53	0,50
pH	-0,80	-0,34	-0,10
TC	-0,84	-0,01	-0,02
TDS	0,70	0,57	0,43
HCO3	0,68	0,56	0,47
Cl	0,12	0,97	-0,05
NO2	-0,07	-0,05	0,93
NO3	0,51	0,23	0,66
SO4	0,81	0,24	0,10
Ca	0,48	0,55	0,57
Mg	0,67	0,65	0,29
Na	0,72	0,51	0,38
K	0,77	0,26	0,20
PCO2	0,74	0,28	0,55
Valeurs propres	9,71	1,34	1,03
% de la variance	69,34	9,60	7,37
% cumulés	69,34	78,94	86,31

Factor 1, which alone accounts for 69% of total variance (Table 3), contains high loadings of Electrical Conductivity, TDS, P_{CO2}, and ions such as Na⁺, Mg²⁺, K⁺, Ca²⁺, SO₄²⁻, NO₃⁻ and HCO₃⁻. Grouping of these variables shows that Factor 1 expresses main source of mineralization of aquifer water. Majority of ions very often come from hydrolysis of silicate minerals. However, we note influence of anthropic activities in acquisition of mineralization of water, especially in presence of NO₃⁻ ion. To search for origin of these ions, we were interested in analysis of correlation matrix (Table 4). When two variables have a correlation coefficient R ≥ 0.7 they can be considered strongly correlated and for R between 0.5 and 0.7 they are considered moderately correlated [33].

Table 4. Pearson correlation between physicochemical parameters.

Paramètres	c25C	pH	TC	TDS	HCO3	Cl	NO2	NO3	SO4	Ca	Mg	Na	K	PCO2
c25C	1													
pH	-0,75	1												
TC	-0,47	0,70	1											
TDS	0,96	-0,78	-0,59	1										
HCO3	0,95	-0,77	-0,59	0,99	1									
Cl	0,55	-0,43	-0,17	0,61	0,60	1								
NO2	0,37	-0,07	0,05	0,32	0,36	-0,08	1							
NO3	0,81	-0,54	-0,54	0,75	0,78	0,24	0,40	1						
SO4	0,71	-0,72	-0,47	0,77	0,74	0,29	0,14	0,35	1					
Ca	0,82	-0,58	-0,51	0,89	0,91	0,56	0,40	0,83	0,49	1				
Mg	0,89	-0,79	-0,56	0,97	0,96	0,68	0,22	0,65	0,77	0,86	1			
Na	0,96	-0,80	-0,58	0,96	0,95	0,57	0,28	0,72	0,76	0,75	0,89	1		
K	0,76	-0,53	-0,51	0,78	0,77	0,29	0,07	0,57	0,80	0,67	0,73	0,73	1	
PCO2	0,89	-0,78	-0,63	0,91	0,92	0,36	0,48	0,76	0,74	0,79	0,81	0,92	0,72	1

On this basis, we note in particular that electrical conductivity correlates very well with HCO_3^- ($R=0.95$), Ca^{2+} ($R=0.82$), Mg^{2+} ($R=0.89$), SO_4^{2-} ($R=0.71$), Na^+ ($R=0.96$) and K^+ ($R=0.76$), thus confirming that this group of elements is strongly involved in mineralization. In any case, this suggests that EC is mainly controlled by these ions. The strong correlation between Ca^{2+} and Na^+ ($R=0.75$) is probably due to basic ionic exchanges with clay matrix (as we have seen previously).

Of course, weight of NO_3^- is not as high as that of other ions, but the good correlation between NO_3^- and EC (0.81) and TDS (0.75) underlines the importance of NO_3^- in global mineralization of water on one hand and influence of anthropic activities in acquisition of mineralization of water on other hand. We also note a strong correlation between NO_3^- and Na^+ ($R=0.72$), and HCO_3^- ($R=0.78$) and a moderate correlation between NO_3^- and K^+ ($R=0.57$) and NO_3^- and Mg^{2+} ($R=0.65$), which suggests that these ions probably have an anthropic origin, apart from their natural origin. F2 factor alone explains 9.60% of total inertia of cloud, it is characterized by dominant weight of Cl- associated with Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} and HCO_3^- ions.

The Cl⁻ ion can be used alone to highlight influence of evaporation on water as well as it can be used jointly with Na^+ as indicators of pollution, especially in urban areas. These two ions have an average correlation of about 0.57 (Table 4) and have values that are sometimes high, especially in this freshwater context, suggesting that their origin is not exclusively natural. Furthermore, these high values are mostly found at relatively mineralized water points. In Table 4, strong correlations observed between Na^+ and HCO_3^- (0.95), Ca^{2+} ($R=0.75$), Mg^{2+} ($R=0.89$) and the average correlations observed between Cl⁻ and HCO_3^- (0.60), Ca^{2+} ($R=0.56$), Mg^{2+} ($R=0.68$) are probably due to influence of anthropogenic activities coupled with evaporation. Finally, F3 factor, which explains 7.37% of total variance, contains NO_3^- , NO_2^- and Ca^{2+} ions.

F3 factor is an indicator of surface inputs and degradation of water quality. Nitrates (NO_3^-) and nitrites have a superficial origin and indicate pollution of anthropic origin. This indicates presence of anthropogenic mineralization of superficial origin.

Both nitrite and nitrate ions can originate from domestic wastewater discharges, organic matter degradation, latrine influence or animal excrements.

6.2 HIERARCHICAL ASCENDING CLASSIFICATION (HAC)

Hierarchical ascending classification (HAC) is a classification technique that aggregates observations, from most similar to most dissimilar. For this study, we used Ward's aggregation method [34] and Euclidean distance, combination of which produces groups of samples distinct from each other [35]. The dendrogram of samples in Figure 10 allows a classification of water points according to their similarity. Dendrogram of samples in Figure 10 allows classification of water points according to their similarity. Thus, two groups of water C1 and C2 emerge, which are in turn subdivided into two subgroups according to their degree of mineralization and/or their chemical composition.

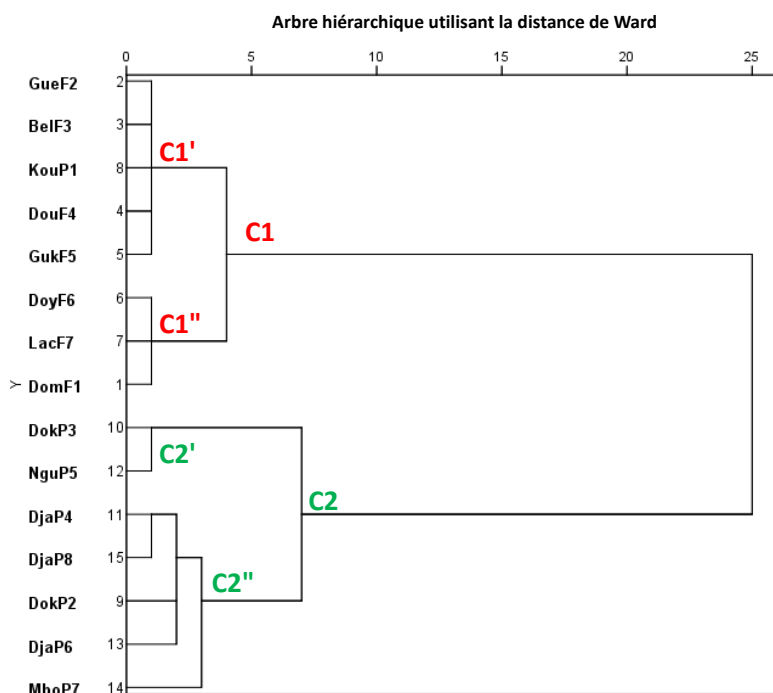


Fig. 10. Dendrogram of water samples from Moundou city

Class C1 groups together least mineralized waters, there are sub-classes C1' and C1'', with conductivities varying from 59.7 to 285 $\mu\text{S}/\text{Cm}$ and from 396 to 497 $\mu\text{S}/\text{Cm}$, these waters are of calcium bicarbonate type. Mineralization of these waters is essentially of natural origin; it represents dominant class (54%). In the C2 class, two sub-classes can be distinguished:

The sub-class C2' which corresponds to moderately mineralized waters with a conductivity that varies between 675 and 813 $\mu\text{S}/\text{Cm}$. Waters are of bicarbonate calcium and magnesium type. It represents about 13% of the totality of water points.

The sub-class C2'' corresponds to all waters characterized by a strong mineralization with conductivity values that vary between 1275 and 1999 $\mu\text{S}/\text{Cm}$. Waters are of soda-potassium bicarbonate and magnesium type. It represents about 33% of the totality of water points.

7 CONCLUSION

Study of hydrochemical characteristics of groundwater of Moundou city was by combining hydrochemical methods and multivariate statistical analysis. It is a study that aims to understand hydrochemical functioning of groundwater and results obtained show that pH revolves on average around neutrality with an average value of 7.26 but some samples may be slightly basic as in case of (Doy_F6 and Dom_F1 which have a pH of 8. Electrical conductivity varies between 59.7 to 1999 $\mu\text{S}/\text{cm}$, well waters are more mineralized with an average conductivity of about 1204.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ compared to boreholes which have an average conductivity of about 285.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$. This large variability in conductivity indicates the presence of several processes responsible for mineralization of Moundou waters.

The classification of water from Chadah diagram allows identification of two groups of water: bicarbonate calcic and magnesian type and chloride calcic and magnesian. Results obtained through various diagrams allowed us to identify different processes responsible for mineralization of groundwater in our study area. Thus, Gibbs diagram indicates that alteration of silicates represents the main process involved in evolution of groundwater, to which is added phenomenon of evaporation. Results also show that basic exchange processes between alkaline earths and alkalis, as well as contributions linked to anthropic activities, are responsible for mineralization of groundwater in Moundou city. The identification of different processes involved in acquisition of water chemistry, highlighted by hydrochemical approach, was confirmed by Principal Component Analysis.

REFERENCES

- [1] Ouattara A, Méité A, Dally T, Ouattara H, Coulibaly K S. (2016). Étude de la qualité des eaux de consommation dans la localité de N'Zianouan s/p de Tiassalé et des quartiers précaires de trois communes du District d'Abidjan (Koumassi, Treichville, Attécoubé). *Journal of Applied Biosciences*, 102: 9708-9715.
- [2] Mc Kinney M.L (2002). Urbanisation, biodiversité et conservation. Biosci. 890p.
- [3] Mullis et al (1997). Les impacts des rejets provenant de deux débits cumulés d'égout sur la qualité de l'eau d'un cours d'eau urbain. *Water Sci. Technol* 199p.
- [4] Lapworth D. J., Nkhuwa D. C. W., Okotto-Okotto J., Pedley S., Stuart M. E., Tijani M. N. & Wright J., (2017). Urban groundwater quality in sub-Saharan Africa: current status and implications for water security and public health. *Hydrogeol J*: 1-24.
- [5] MacDonald A.M., Bonsor H. C., Dochartaigh B. E.O. & Taylor R. G., (2012). Quantitative maps of groundwater resources in Africa. *IOPscience. Environ Res Lett. Vol. 7: 7*.
- [6] BRGM., (1987). Actualisation des connaissances sur les ressources en eau de la République du Tchad. Deuxième partie: Synthèse des données hydrogéologiques et carte à 1/ 500 000, 116p.
- [7] INSEED. (2009) 2eme recensement général de la population et de l'habitat (RGPH2) monographie 120p.
- [8] PADUR. (2011) Actualisation de pur des villes de Moundou, Sarh, Doba et élaboration de PUR des villes d'Amtiman, Pala, Bongor, Laï et Léré, 7p.
- [9] Hughes, J. M. and Koplan, J. P. (2005). Saving lives through global safe water. *Emerging Infectious Diseases*. 11 (10): 1636-1637.
- [10] Kosek, M; Bern, C. and Guerrant, R.L. (2003). The global burden of diarrheal disease, as estimated from studies published between 1992 and 2000. *Bulletin of World Health Organization*. 81 (3): 197-204.
- [11] SEURECA., (2014). Schéma Directeur d'Assainissement des Eaux Pluviales et des Eaux Usées de la ville de Moundou (SDAEPEU). Rapport de diagnostique, 397p.
- [12] Schneider J.L. and Wolff J.P. (1992). Carte géologique et Hydrogéologique au 1/1500 000 de la République du Tchad. Mémoire explicatif. Document BRGM n° 209 vol. 1,2, 689 p.
- [13] Fiorini J-L., (2010). Fiches technique de forages, SETUBA Moundou, 5p.
- [14] BANDE, F. (2017) Caractérisation hydrodynamique et hydrochimique des eaux souterraines en contexte urbain: cas de la ville de Moundou (Sud-Ouest du Tchad). mémoire de Master, Université de N'Djamena 76p.
- [15] Essouli, O. F. (2005). Impact de la décharge publique du lac Mbeubeuss sur les ressources en eau de l'aquifère des sables quaternaires de Thiaroye (Dakar, Sénégal)«, Thèse de doctorat 3ème cycle, université C.A.D., Sénégal.
- [16] Logeshkumaran A, Magesh N, Godson P S, (2015). Hydro-geochemistry and application of water quality index (WQI) for groundwater quality assessment, Anna Nagar, part of Chennai City, Tamil Nadu, India. *Appl Water Sci* 5: 335–43. doi: 10.1007/s13201-014-0196-4.
- [17] Chadha DK (1999) A proposed new diagram for geochemical classification of natural waters and interpretation of chemical data. *Hydrogeol J* 7: 431–439.
- [18] Piper AM (1944) A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Trans Am Geophys Union* 25: 914-923.
- [19] Simler, R., (2003). Hydrochemistry Multilanguage Softwar Free Distribution Laboratory of Hydrogeology. University of Avignon, France software, Avignon.
- [20] Gibbs, R.J. (1970). Mechanism controlling world river water chemistry. *Science*, 170: 1088-1090.
- [21] Parkhurst, D. L. and Appelo, C. (2004) PHREEQC2 user's manual and program, Water-Resources Investigations Report, US Geological Survey, Denver, Colorado.
- [22] Appelo, C. A. J. and Postma, D. (1994). *Geochemistry, groundwater and pollution*, AA Balkema, Rotterdam.
- [23] Drever, J. I. (1997). *The geochemistry of natural waters: surface and groundwater environments*, Prentice Hall, New Jersey.
- [24] Kumar, M., Singh U.K., Kumari, K., Ramanathan. (2009). Hydrogeochemical processes in the groundwater environment of Muksar, Punjab: conventional graphical and multivariate statistical approach. *Environmental Geology*, 57: 873–884.
- [25] Dindane K., Bouchaou L., Hsissou Y., Krimissa M. (2003). Hydrochemical and isotopic characteristics of groundwater in the Souss Upstream Basin, southwestern Morocco, *Journal of African Earth Sciences*, 36 (4), pp. 315- 327.
- [26] Appelo, C. A. J., & Postma, D. (2004). *Geochemistry, groundwater and pollution*. Boca Raton: CRC Press.
- [27] Anders, R.; Mendez, G.O.; Futa, K.; Danskin, W.R. (2014). A geochemical approach to determine sources and movement of saline groundwater in a coastal aquifer. *Groundwater*, 52, 756–768.
- [28] Fisher R. S., Mullican F. W. (1997). Hydrochemical evolution of sodium-sulfate and sodium-chloride groundwater beneath the Northern Chihuahuan Desert Trans- Pecos Texas USA. *Hydrogeol J*, 10, (4) 455 - 547.
- [29] Schoeller, H. (1965). Qualitative evaluation of groundwater resources, In: *Methods and techniques of groundwater investigations and development*, UNESCO, Paris, 54–83.
- [30] Wu, H.; Chen, J.; Qian, H.; Zhang, X. (2015). Chemical characteristics and quality assessment of groundwater of exploited aquifers in Beijiao Water Source of Yinchuan, China: A case study for drinking, irrigation, and industrial purposes. *J. Chem.*

- [31] Van der Weijden, C. H., and Pacheco, F. A. L. (2003). Hydrochemistry, weathering and weathering rates on Madeira island, *J. Hydrol.*, 283, 122–145, doi: 10.1016/S0022-1694 (03) 00245-2.
- [32] AbdouBabaye MS, Sandao I, Saley MB, Wagani I, Ousmane B. (2016). Comportement hydrogéochimique et contamination des eaux des aquifères fissurés du socle précambrien en milieu semi-aride (Sud-Ouest du Niger). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10 (6): 2728-2743.
- [33] Venkatramanan, S., Chung, S.Y., Ramkumar, T., Gnanachandrasamy G. & Vasudevan, S. (2013). Multivariate statistical approaches on physicochemical characteristics of ground water in and around Nagapattinam district, Cauvery deltaic region of Tamil Nadu, India. *Earth Sci. Res. J.*, 17, 97-103.
- [34] Ward JrJh. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *J Am Stat Assoc*, 58, 236 – 244.
- [35] Güler C., Thyne G., Mccray J., Turner K. (2002). Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. *Hydrogeology Journal*, 10, (4), 455 – 474.

Contribution of multicriteria analysis and GIS in the discrimination of flood risk areas on the Allada plateau in Southern Benin

Kpoha Josiane Nadège^{1,2}, Akokponhou Houngnigbo Bertrand^{2,3}, Orekan Vincent^{1,2}, and Yao Yao Muller⁴

¹Department, Biodiversity and Environmental Expertise Laboratory, University of Abomey-Calavi, BP: 677 Abomey Calavi, Benin

²International Chair in Mathematical Physics and Applications (CIPMA UNESCO Chair), University of Abomey-Calavi, 072 BP 50 Cotonou, Benin

³Laboratory of Applied Hydrology, National Water Institute (INE), University of Abomey-Calavi, 01BP. 526 Cotonou, Benin

⁴Formation and Research Unit (UFR) of Earth Sciences and Mining Resources (STRM). Felix Houphouët Boigny University, 22 B.P. 582 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: Flood vulnerability mapping and assessment is an important component of flood prevention and mitigation strategies, as it allows the identification of the most vulnerable areas based on the physical characteristics that determine flood propensity. This study aims to identify and map the factors related to flood risk in the Allada Plateau using a multi-criteria approach, in particular the Saaty Hierarchical Analysis Process (HAP) technique and Geographic Information Systems (GIS). The methodology used in this study allowed the identification of six (06) criteria considered relevant and conditioning the floods, namely: drainage density, slopes, rainfall intensity, soil type, land use and population density. All these criteria were defined as raster datasets with a resolution. The AHP technique was used to calculate the weights of the criteria and factors. The relative importance of the selected criteria made rainfall intensity the most important criterion with a weight of 56%, followed by slope with 26%, and finally drainage density with a weight of 12%. The hazard map generated from this combination shows that 25% of the Allada plateau is a high-risk area. As for the vulnerability map, the most important criterion is population density with a weight of 88% followed by land use with 12%. The combination of the two maps in a GIS shows that the areas vulnerable to flooding occupy 35.37% of the study area. The flood risk map obtained from the combination of the hazard and vulnerability map shows that flood risk areas cover 28.68% of the area of the Allada plateau.

KEYWORDS: Hazard; flood; risk; vulnerability; multi-criteria decision analysis.

1 INTRODUCTION

In recent decades, several countries in the world have been severely affected by extreme weather events such as droughts, extreme rainfall [1] the most recent being the floods in Pakistan with more than 1400 deaths including 550 children [2]. The multiplication of these extreme events can be considered as indicators of climate change. The United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) considers that these changes, different from natural climate variability, are related to the increase in the concentration of greenhouse gases (GHG) in the atmosphere [3]. The global warming that the world is currently experiencing is the cause of the increase in extreme phenomena responsible for hydro-climatic risks, including floods. These risks are a major concern for land use planning and management [4]. In the future, they should multiply and increase in intensity with consequences that could prove catastrophic for human societies [3]. Among these risks, floods represent a danger to property and people in most regions of the world. In the broadest sense, floods include several types of phenomena. These extreme weather events are disastrous for urban communities that lack sustainable solutions for dealing with them [5]. The costs of these natural disasters have doubled in the last ten years [6].

In Africa, the problem is likely to worsen as the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) has predicted an increase in the frequency and intensity of floods and droughts [3] on the continent due to climate change. Unexpected floods and high-water levels cause many casualties and property damage [7]. In West Africa, floods are one of the most devastating natural disasters of climate change impacts [8], [9].

In Benin, flooding is increasing due to the frequency of exceptional rainfall and anarchic land use [10]; [11]; [12]. Considered as one of the countries most vulnerable to the harmful effects of climate change, Benin must be able to strengthen its capacity to assess damage, plan

and coordinate responses to flood risks. Towards the end of August 2010, due to heavy rainfall, Benin was again affected by severe flooding. 42 municipalities out of the 77 in Benin were flooded with significant damage: 43 deaths, 97815 homeless, 55575 houses and 276 schools flooded [10]; [11]; [12], [13]. The total damage caused by the floods Benin's economy amounted to nearly CFAF 78.3 billion and approximately 680,000 people were affected by this disaster and 46 lost their lives according to the Post Disaster Needs Assessment Report [14]. Flooding is the most prevalent and devastating natural hazard in Benin. This means that water ensures life, but it is also the most frequent and most damaging source of multiple problems experienced by most Benin populations, more specifically the Allada plateau. The latter is one of the regions of Benin where the population growth rate is high (5.06%) with an estimated 1,436,540 inhabitants in 2020. This region is the breadbasket of Cotonou, the country's largest city. It is increasingly affected by floods with a frequency and intensity that are constantly growing. The topography of the Allada plateau is very flat. This context exposes it to many environmental problems, the most worrying being the recurrent floods which result from the combined action of several factors including heavy rains which increase the level of the river, the stagnation of rainwater in the city because of low slopes. Other factors aggravate flooding, notably the silting of rivers, spontaneous and unconscious urbanization in areas of accumulation, the absence of an appropriate drainage network and, finally, construction on the banks of the river.

The development of the mapping of risk areas in Benin is therefore timely and is an essential prerequisite for effective and efficient implementation of disaster risk reduction and climate change adaptation projects. Indeed, flood susceptibility mapping and analysis is one of the most important elements of early warning systems or strategies for prevention and mitigation of future flood situations, as it identifies the most vulnerable areas based on the physical conditions that determine flood propensity [15]. It provides accessible and easy-to-read graphs and maps, making it easier for planners to identify areas at risk and prioritize their mitigation efforts [16]; [17]; [18]; [19]. Flood management is necessary not only because floods impose enormous damage on society, but also for optimal land use and stewardship.

However, the use of the multi-criteria assessment approach for flood risk assessment and mapping in Benin is still underdeveloped. Indeed, the occurrence of flood risk is a combination of natural and anthropogenic factors, which means that there is a need for knowledge about the spatial extent of flooding areas, the use of multisource data as drivers becomes a potential source for effective management and more reliable flood mitigation. For all these reasons, the Multi-Criteria Analysis (MCA) method is widely used [20], [21] to solve complex problems and assess flood risk. Many methods have been proposed for multi-criteria decision-making. The Hierarchical Analytical Process (HAP) is one of the most well-known and widely used Multi-Criteria Analysis (MCA) approaches [22], [23]. AHP is used to solve a large number of multi-criteria decision-making problems, with the pairwise comparison matrix calculating the weights of each criterion considered [22], [24], [25], [26]. AHP assumes a complete aggregation between several criteria and develops a linear additive model. The uniqueness of the application of AHP in different studies allows modeling situations of uncertainty without losing the subjectivity and objectivity of any evaluation measure.

In recent years several studies, have paid special attention to the use of AHP in natural hazard assessment, but more so in flood management in various studies [23], [24], [22], [35], [25], [27], [29]. It has been demonstrated from numerous scientific works that the AHP method has a capacity to assess and map flood risks with good accuracy and very satisfactory results. It is against this backdrop that the present study was initiated and aims to identify the factors (of hazard and vulnerability) of flood risk and to deduce the flood-prone areas on the plateau of Allada through an additive combination of these factors from the multicriteria analysis and the hierarchical analytical process (AHP) Saaty

2 STUDY AREA

With an average altitude of 100 m [29], the Allada plateau is located in the Atlantic department grouping 7 municipalities. It covers an area of about 2037 km² with a population of 22465 inhabitants in 1979 to 717,813 in 2013 [30], it has almost doubled in 30 years. The Allada Plateau lies between meridians 1°58'26" to 2°25'55" East and parallels 6°21'38" to 6°57'08" North (Figure 1). It extends from the valleys of Oueme in the east, Couffo in the west and the Lama depression in the north. It is limited to the south by the coastal plain (on which the coastal lagoon is located). The delimitation of the Allada plateau took into account its structural and tabular character. As a result, the area of some municipalities has been reduced when they are located partly on the plateau and partly on the plain. The Allada plateau makes up 63% of the Atlantic regions and approximately 2% of the national territory.

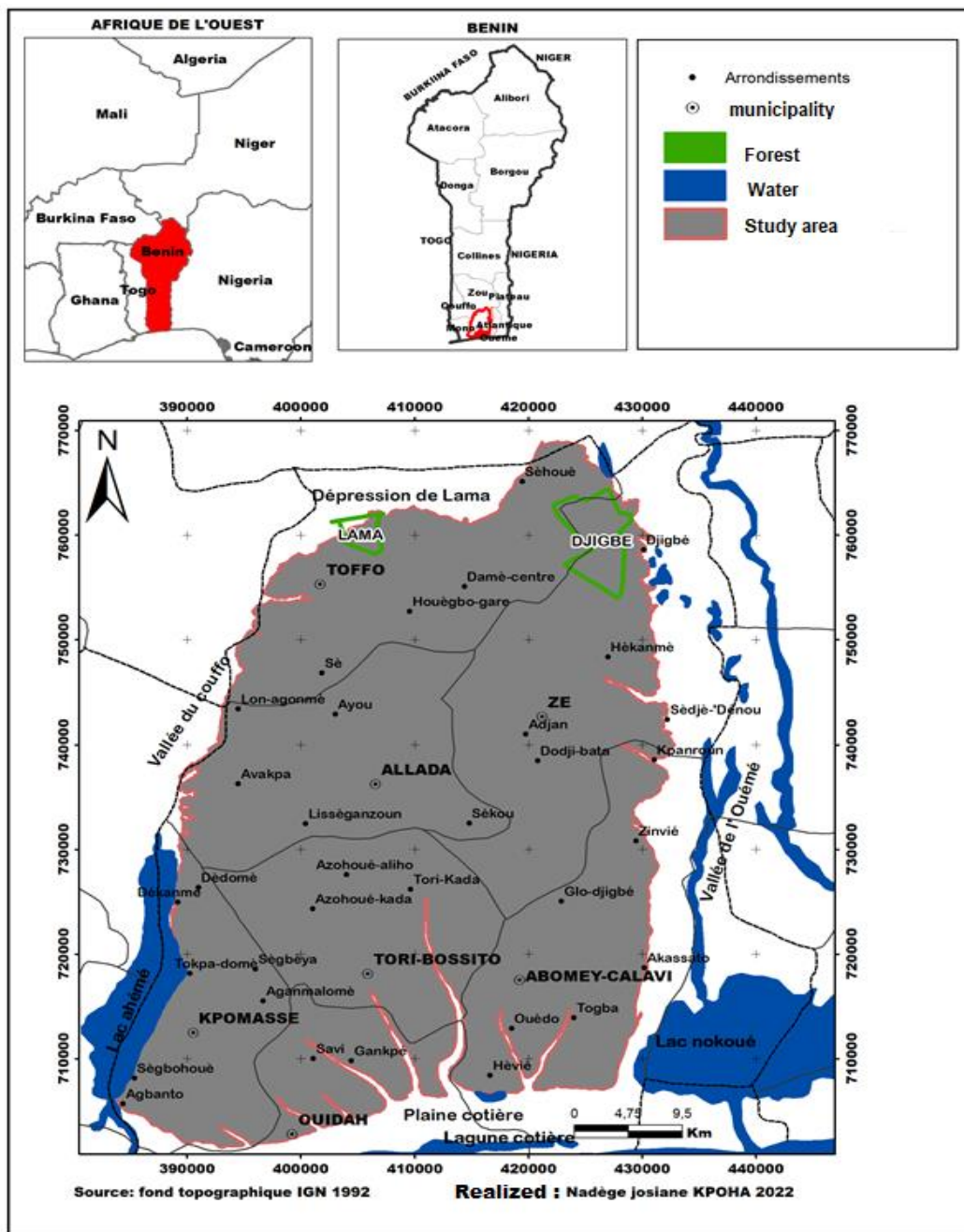


Fig. 1. Geographic location of the study area

3 RESOURCES AND METHODS

To carry out this study, several types of data were required. The analysis of these data required the use of several software programs depending on the type of processing required.

3.1 RESOURCES

The resources consist of ENVI 5.2 software for satellite image processing and ArcGis 10.5 for spatial analysis and map output.

3.2 DATA USED

The implementation of this study required the contribution of several satellite data, map backgrounds and field data. The image data are composed of two (2) Landsat 8 OLI image scenes. These scenes are: (Path 192, Row 055) and (Path 192, Row 052) each composed of

nine (9) bands and satellite images of SRTM type, as well as satellite rainfall data from 2020. The total coverage of the study area required a mosaic of images. The downloaded rainfall data are Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS).

These CHIRPS data are a near global rainfall dataset of more than 35 years and cover longitudes 1.925E - 2.375E and latitudes 6.325N-6.975N. They are accessible from the link <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/>. These data were used to produce the rainfall intensity map of the Allada plateau. The cartographic backgrounds that cover the entire study area consist of topographic maps published by the National Center for Remote Sensing and Ecological Monitoring of Benin (CNATEL), all established at a scale of 1: 200,000. The demographic data of the populations of the study area and its estimates in 2020 are obtained from the National Institute of Statistics and Economic Analysis (INSAE).

3.3 METHODS

3.3.1 MAPPING OF HAZARD AND VULNERABILITY FACTORS

Within the framework of this study, the flooding factors (or criteria) deemed relevant in light of the summary from literature [31], [9], [8] and following field campaigns on the Allada Plateau are: drainage density, slopes, soil types, and rainfall intensity (as hazard factors) and land use (building density) and population density (as a vulnerability factor).

- **Land use mapping**

The land use map of the Allada Plateau is based on object-oriented classification techniques of Landsat OLI 8 satellite images of 2020 of the study area. The processing of these images was preceded by the calculation of the vegetation index (NDVI) and the building index (NDBI). An empirical segmentation was used to obtain several image objects [32]. NDVI/NDBI coupling [8] was used to classify the image.

- **Population density mapping**

Population data were mapped with discretization into the following five classes: < 200; [200; 400 [; [400; 800 [; [800; 1000 [; >1000

- **Rainfall intensity mapping**

Rainfall intensity mapping was carried out using daily satellite data. The choice of this type of data is due to the lack of complete and accessible in-situ data. Therefore, CHIRPS satellite data from the International Research Institute (IRI) online library was used. The estimation of rainfall intensity requires the calculation of two variables, the number of rainy days (NJP) and the precipitated water height (HP). The number of rainy days (NJP) was obtained from the Excel table, the NB.SI function was used to generate the rainy days according to the following condition: NB.SI (D2: D367; ">=1"), Number of value taken from the first cell to the last cell of the precipitation column, with the condition if the Value is ≥ 1 . Indeed according to the World Meteorological Organization (WMO) a day is said to be rainy when the daily cumulative rainfall is greater than or equal to 1 mm of precipitated water. High Precipitation (HP) level is the sum of all daily rainfall, according to the function SUM (C2: C367), ie the sum of values taken from January 1 to December 31 line of the year and finally the values of rainfall intensity (IP) were obtained by making the ratio of the height of rainfall on the number of rainy days:

$$IP = \frac{HP}{NJP} \quad (1)$$

Where HP = Rainfall Height and NJP = Number of Days of Precipitation. Thus, the rainfall data after being converted to a file (csv), and exported to ArcGis 10.3 software, were saved in Shapfile format to facilitate interpolation. The ordinary Kriging method was then applied.

3.3.2 TREATMENT OF THE ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP) MODEL

Saaty's hierarchical analysis process (AHP) [33], is summarized in six steps namely:

- Decomposition of a complex unstructured problem into its constituent factors
- Development of the AHP hierarchy
- Pairwise comparison matrix determined by imposed judgments
- Assigning values to the subjective judgments and calculating the relative weights of each criterion
- Synthesize judgments to determine priority variables
- Verify the consistency of evaluations and judgments

An important part of the AHP is the calculation of the consistency ratio [33]. If the consistency ratio is less than 0.1, then the mentioned matrix can be considered as an acceptable consistency. However, this AHP methodological approach can be summarized into three main levels, namely: hierarchical elaboration; pairwise comparison; and the development and prioritization matrix.

3.3.3 HIERARCHICAL PROCESSING

The different levels of AHP according to [33, [34], [25], [27], [28], [9], [35] are: level 0: main objective, in this case the flood risk map; level 1: criteria analysis which are the hazard map and the vulnerability map, and level 3: element considered in each criteria feature according to their influence (Figure 2 and 3). All the elements considered in each criterion were defined on the basis of previous work in Côte d’Ivoire [31], [36], ([9], [37]; [8] in Benin [38] and elsewhere in the world [39], [40], etc. and the definition of the concepts of hazard and vulnerability used in this study.

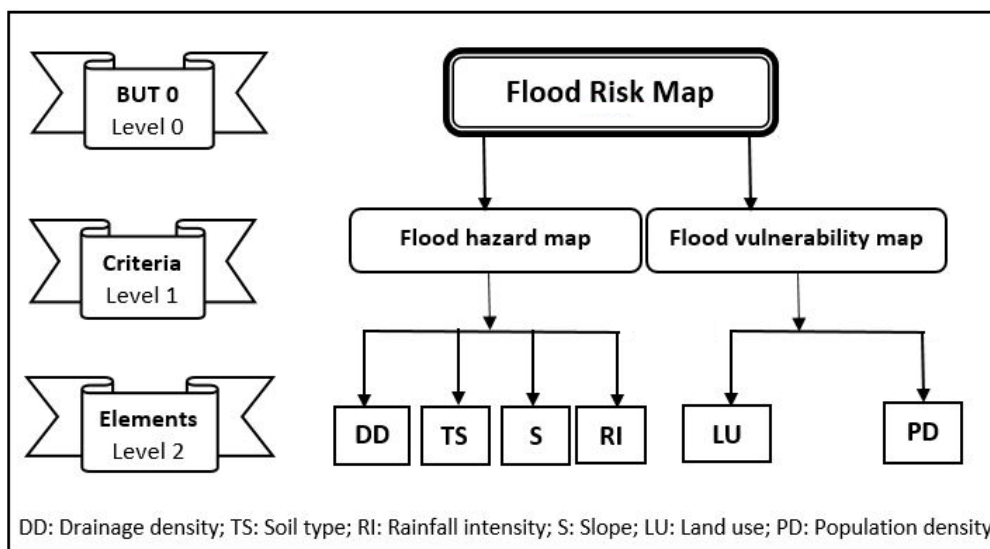


Fig. 2. Process of using the AHP model in the flood risk map

• Pairwise comparison

The pairwise combination is based on the scale proposed by [33], for comparison of the elements in Table 1.

Table 1. Saaty scale for various elements comparison [33]

Preference Judgment	Scale	Description
Similar importance	1	Two factors equally contribute to the objective.
Mild importance	3	Experience and judgement slightly favour one over the other.
Important	5	Experience and judgement strongly favour one over the other.
Very important	7	Experience and judgement very strongly favour one over the other.
Extremely important	9	Evidence in favour of one over the other is of the highest possible validity
Intermediary preference between adjacent scales	2, 4, 6, 8	When a compromise is necessary

The pairwise comparison is the fundamental component of the AHP process. For each pair within each criterion, the best option is assigned a score, again on a scale of 1 (as good) to 9 (absolutely better), while the other option in the pair is assigned a score equal to the reciprocal of that value. Each score indicates how well option "X" meets criterion "Y". The scores are then normalized and averaged. At least ten (10) experts provide their opinion on the relative importance of one indicator compared to another. The pairwise comparison tests were conducted by nine experts in the field of natural disasters. Their results were standardized and examined with the consistency ratio (CR) test.

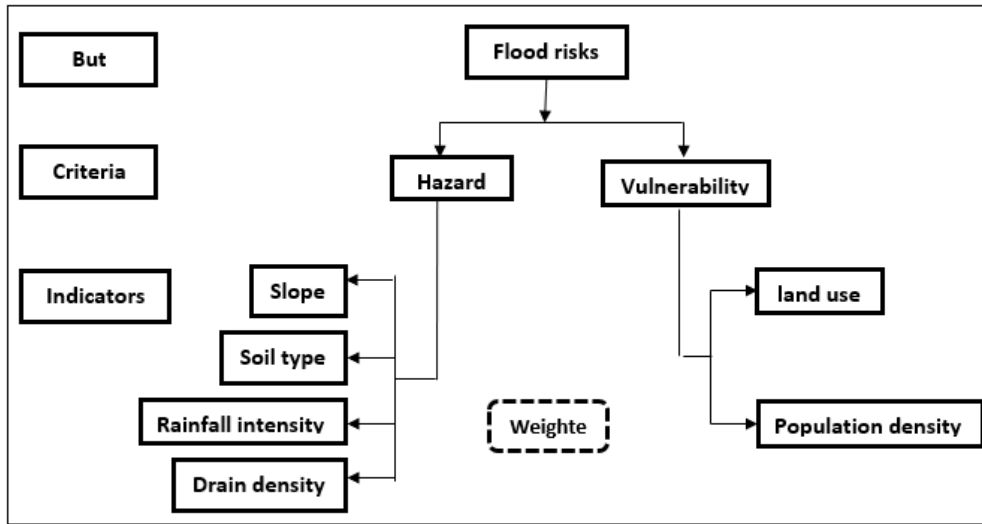


Fig. 3. Process of using the AHP model in the flood risk map

3.3.4 DEVELOPMENT AND PRIORITISATION MATRIX

The development principle is the following matrix:

- Determining the eigenvectors (Vp) of each criterion for each item is described by the following equation 2:

$$V_{P=K} = \frac{V_p}{\sqrt{W_1 \times \dots \times W_K}} \tag{2}$$

With k = number of parameters compared and Wk = main scores assigned to the parameters;

- Calculate the weighting coefficients (Cp), the formula is given by equation 3:

$$C_p = \frac{V_p}{V_{p1} + \dots + V_{pk}} \tag{3}$$

The sum of the Cp’s of all parameters in a matrix must equal 1 (one).

- normalize the matrix by dividing each element by the sum of one column of the column;
- calculate the average of each row to determine the priority vector [C]
- Multiply each column by its corresponding priority vector to determine the global priority [D];
- Divide each global priority by its priority vector to determine the rational priority [E];
- Determine the maximum eigenvalue (λmax) by Equation 4:

$$\lambda_{max} = \frac{[E]}{K} \tag{4}$$

- Calculate the coherence index (CI) expressed by equation 5:

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - k)}{(k - 1)} \tag{5}$$

- Determine the coherence ratio (CR) using Equation 6.

The consistency ratio can be interpreted as the probability that the crosstalk is completed randomly. This is because there is often some degree of inconsistency in the responses. Saaty’s AHP method is flexible; it does not require that judgments be consistent or transitive, indeed, [33] defined the value of the consistency ratio. In the case where the value of the consistency ratio is less than 10%, the judgment is consistent and when it exceeds 10%, the evaluations may require some revisions.

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{6}$$

(RI) is the random index. The (RI) values are shown in Table II.

3.3.5 STANDARDIZATION AND WEIGHTING OF FLOOD HAZARD

Table 2. Flood hazard criteria

Criteria	Classes	Rating of the criterion	Scores	Weights
Slopes (%)	< 1	Low	9	0,27
	1 - 3	Medium	5	
	> 3	High	1	
Drainage density (Km/km ²)	< 0,60	Low	3	0,13
	0,60 - 1	Medium	5	
	1 - 1,5	High	7	
	> 1,5	Very high	9	
Soil type	Pseudogley	Very high	9	0,07
	Ferrallitic soils	Medium	5	
	Ferruginous soils	Low	3	
	Hydromorphic soils	High	7	
Rainfall Intensity (mm/J)	< 10	Low	3	0,53
	10 - 11	Medium	5	
	11 - 12	High	7	
	> 12	Very high	9	

In a nutshell, hazard refers to hydrological and climatic phenomena and their impact on water flow. Geomorphological characteristics such as slope, drainage density, soil types [40] and rainfall intensities are the different factors taken into account in the present study to map the hazard. Indeed, the hazard map has this great capacity to highlight all areas likely to be flooded. The chosen intersection parameters will help map the spatial extent and the areas potentially exposed to climatic hazards that may cause flooding. Based on the Saaty scale, different weights are assigned to each criterion to determine the hazard. The weights assigned to each criterion to determine the hazard are listed in Tables 2 and 3.

Table 3. The weights assigned to each criterion to determine the hazard

	RI	S	DD	TS	Vp	Cp
RI	1	3	4	5	2.783	0.529
S	1/3	1	3	4	1.410	0.268
DD	1/4	1/3	1	3	0.705	0.134
TS	1/5	1/4	1/3	1	0.358	0.068
Total	1,78	4,58	8,33	13	5,257	1

The relative hazard map is obtained by the following formula (equation 7):

$$\text{Hazard index} = 0.53\text{RI} + 0.27\text{S} + 0.13\text{DD} + 0.07\text{TS} \tag{7}$$

Where DD = drainage density; TS = soil type, S = slope and RI = rainfall intensity.

3.3.6 STANDARDIZATION AND WEIGHTING OF VULNERABILITY

Table 4. Vulnerability criteria for flooding issues

Criteria	Classes	Rating of the criterion	Scores	Weights
Population Density (habts/km ²)	0 - 164	Very Low	1	0,8
	164 - 176	Low	3	
	176 - 229	Medium	5	
	229 - 482	High	7	
	482 - 1218	Very high	9	
Land use	Building	Medium	6	0,2
	River	Very high	9	
	gallery forest	High	7	
	Mosaic fallow	Low	3	
	Plantation	Very low	1	

In this study, flood vulnerability is made up of two criteria: population density and land use (Table 4). The weight assigned to each element in determining the extent of vulnerability is presented in Table 5.

Table 5. The weights assigned to each criterion to determine vulnerability

	PD	LU	Vp	Cp
PD	1	4	2	0,8
LU	0.25	1	0,5	0,2
Total	1,25	5	2,5	1

The flood vulnerability map is obtained from the formula in equation 8:

$$IV = 0,8DD + 0,2LU \quad (8)$$

With LU: Land use; PD: Population density. IV: Vulnerability index

- **Flood risk mapping**

A flood risk map is the result of combining two components: Hazard and Vulnerability ([41]; [42]; [43]; [8]; [35]). This model is suitable for most natural hazards and is given by this equation 9:

$$\text{Flood risk} = 0.5 \text{ hazard} * 0.5 \text{ vulnerability} \quad (9)$$

In this study, weights were assigned to the different classes and layers of thematic indicators according to their relative influence and contribution to hazard and vulnerability. The overlay technique was used for the indicators to determine the hazard and vulnerability in a first step and crossing the hazard and vulnerability to obtain the objective which is the identification and zoning of flood risk areas. All processes were performed in ArcGIS using the Algebra module in the spatial analysis tools. Then, the vulnerability layers were crossed in the GIS to finally obtain the flood risk map of the Allada plateau according to the formula.

4 RESULTS AND INTERPRETATIONS

The application of the multi-criteria analysis in the present study has resulted in the realization of numerous maps bringing a consideration aid to the decision making in the field of flooding on the Allada Plateau.

4.1 FLOOD HAZARD CRITERIA ON THE ALLADA PLATEAU

The criteria considered relevant in the mapping of hazard factors on the Allada plateau are: slope, rainfall intensity, density of natural drainage of rainwater and soil type. Indeed, the different criteria selected are of undeniable importance in the mapping of the hazard factor.

The different criteria selected such as slope, rainfall intensity, natural stormwater drainage density and soil type are of undeniable importance in the hazard factor mapping.

- **Slopes of the Allada plateau**

The interpretation of the map of the slopes of the Allada plateau (Figure 4), derived from the DEM, reveals three classes of slopes: low altitude zones (51.32%); medium altitude zones (42.53%); and high-altitude zones (4.15%).

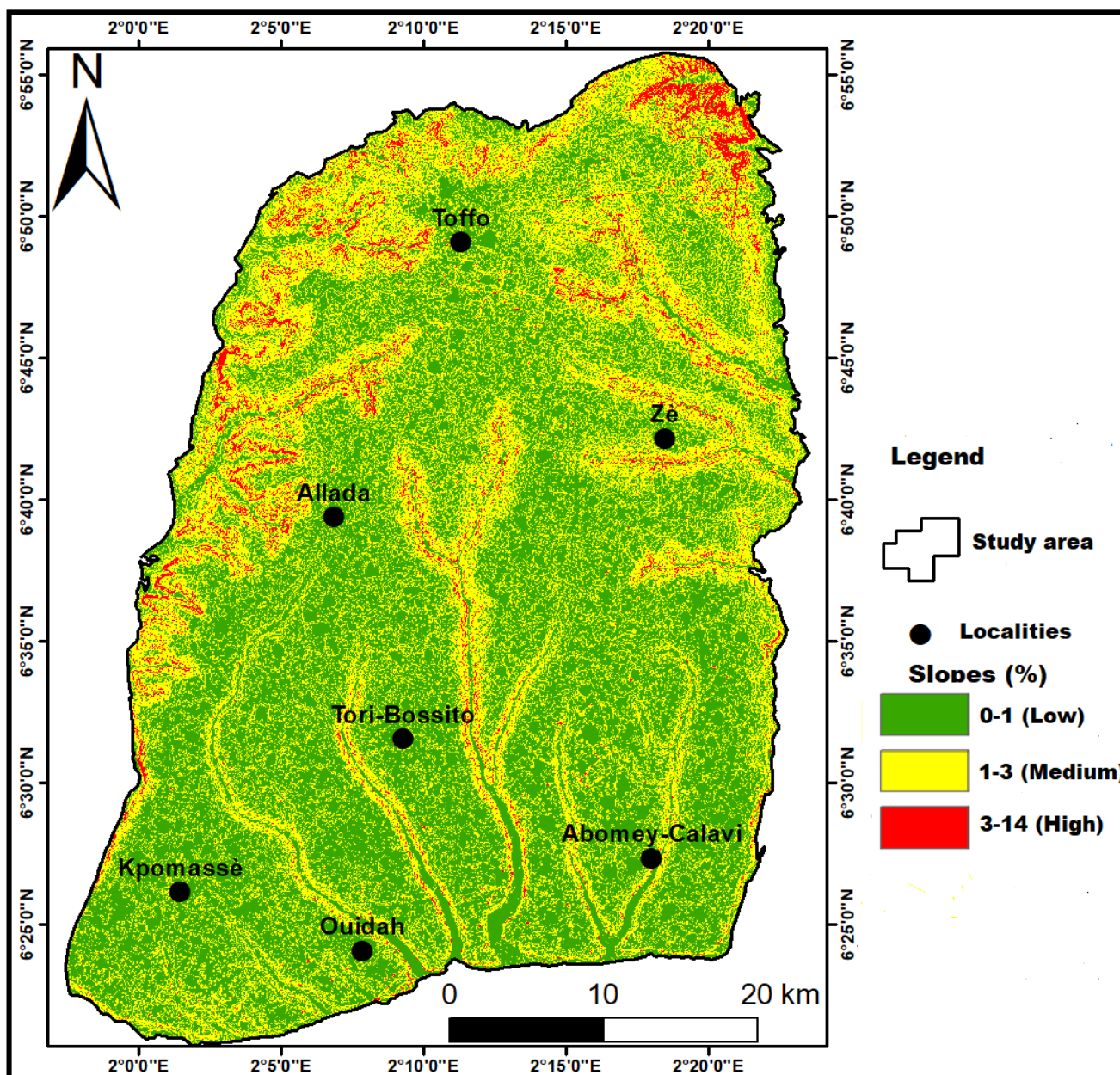


Fig. 4. Slope levels of the Plateau Allada

- **Rainfall intensity parameter on the Allada plateau**

Analysis of the rainfall intensity map of the Allada plateau (Figure 5) shows four (4) rainfall intensity classes: low intensity (7.07%), medium intensity (63.71%), high intensity (27.14%) and very high intensity (2.07%). It reveals above all how the rainfall intensities are distributed on the Allada plateau. The high rainfall intensity starts from the North to the south of the plateau, passing through the center (Toffo; Zè; Tori Bossito and Kpomassè) and the very high intensity is recorded in the south in the municipalities of Abomey Calavi and Ouidah. In sum, the overall high rainfall intensity recorded on the Allada plateau is 29.21%.

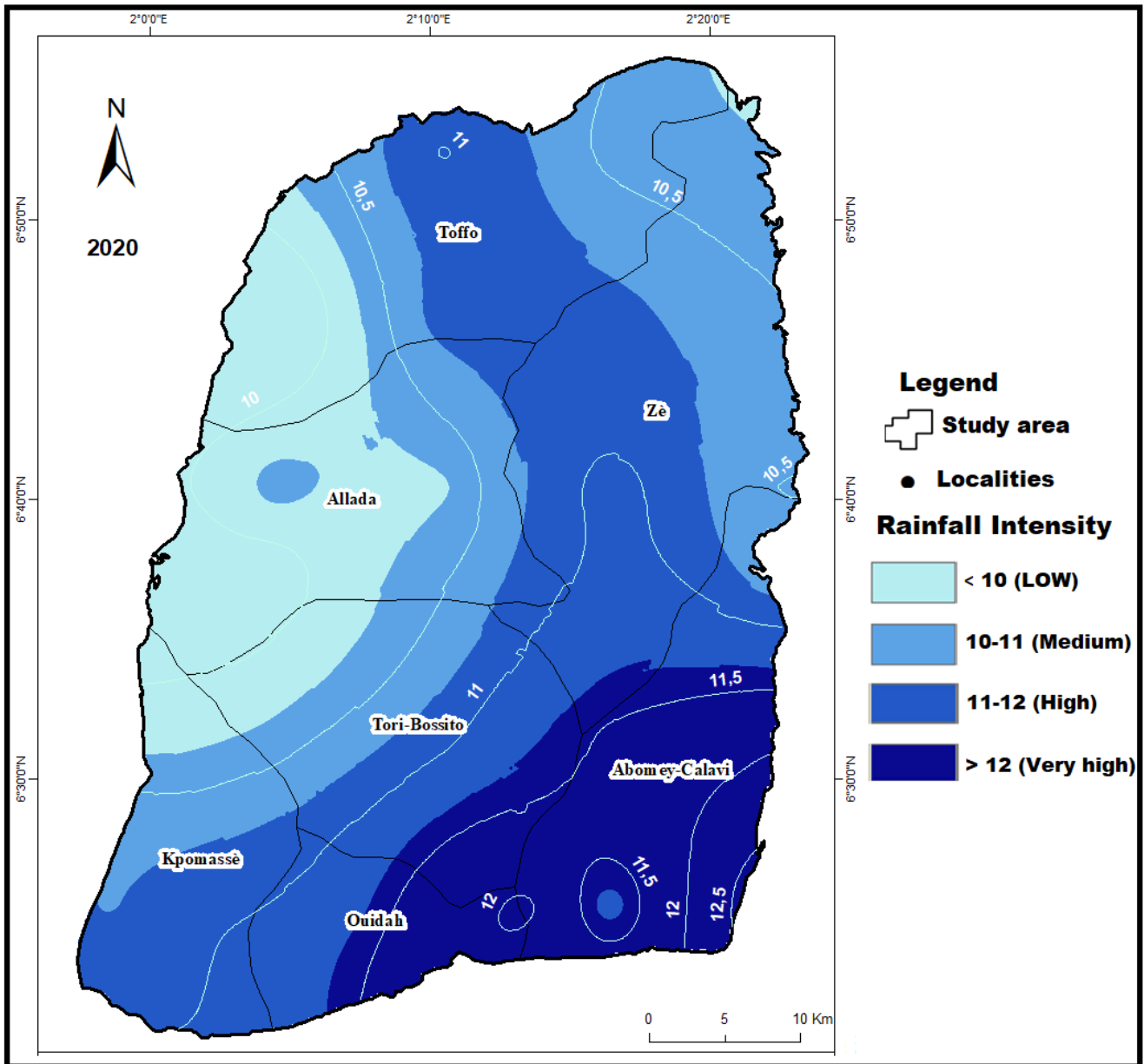


Fig. 5. Rainfall intensity on the Plateau of Allada

- **Natural stormwater drainage density parameter**

The drainage density map of the Allada Plateau (Figure 6), presents five classes from very low (15.11%) to very high (1.54%). It is spatially distributed throughout the Allada Plateau.

- **Soil type parameters on the Allada Plateau**

The Allada Plateau is made up of four types of soil (Figure 7), namely ferrallitic soils (red clay soils), which occupy 91.38% of the surface area of the study area; tropical ferruginous soils occupy 0.74%; river and lake valleys represent hydromorphic soils 0.44%. And finally the pseudogley soil 7.44%. In sum, the ferrallitic soil is the dominant soil in the study area. This soil has a good retention capacity.

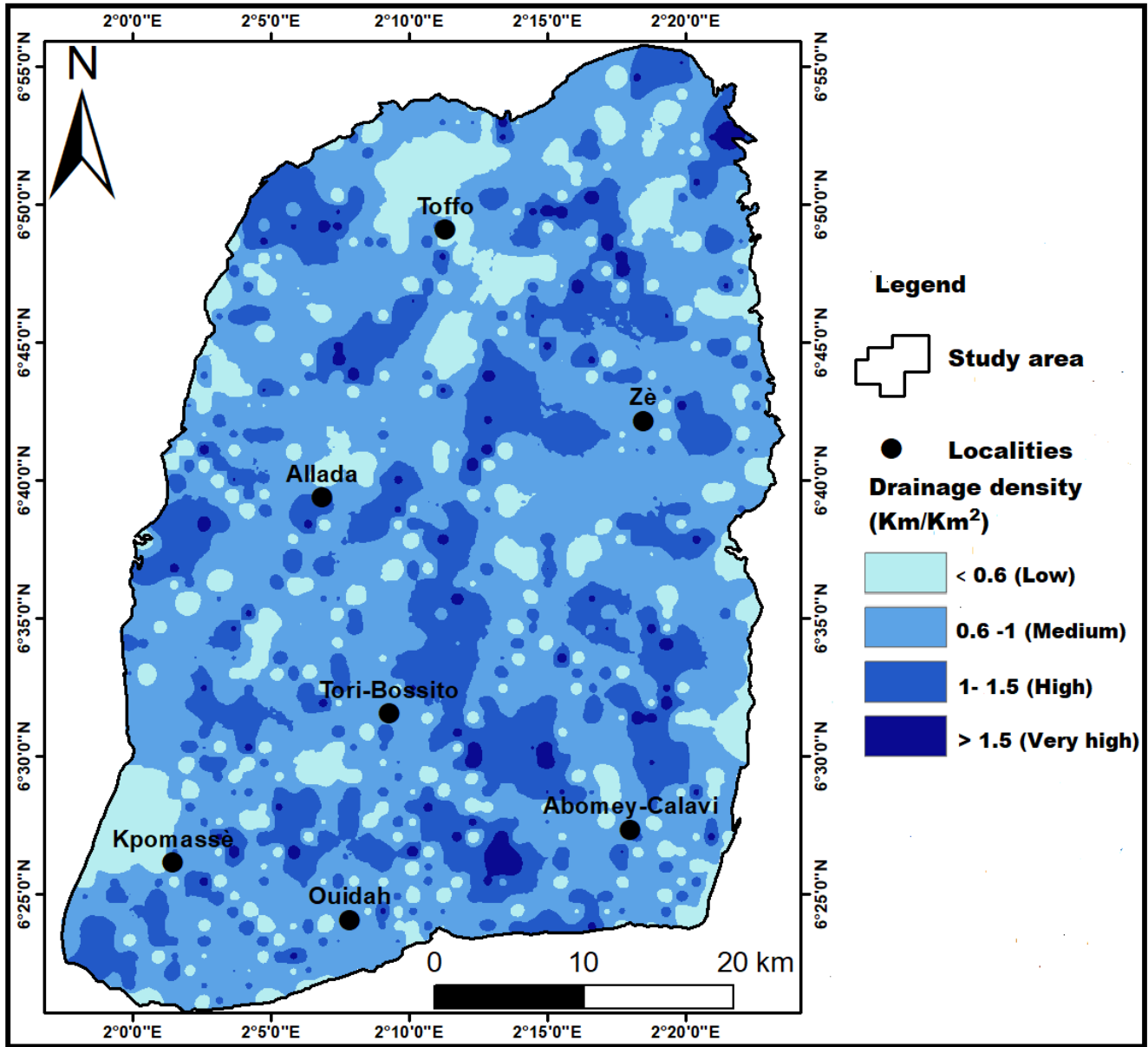


Fig. 6. Natural Stormwater Drainage Density

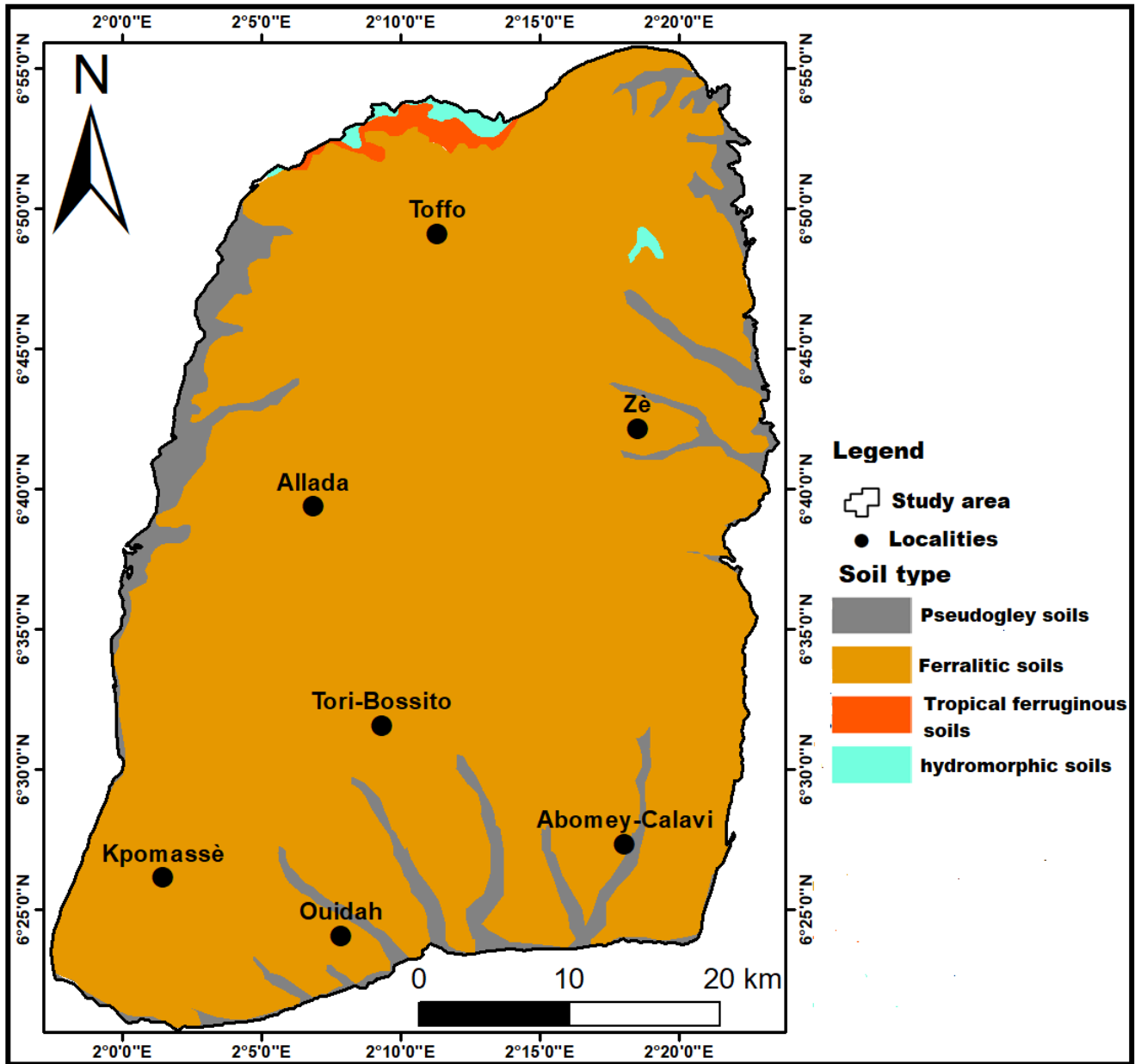


Fig. 7. Soil type on the Plateau of Allada

- **Map of the flood risk hazard on the Plateau of Allada**

The hazard map of the Allada Plateau (Figure 8) generated highlights five zones. The very low and low risk zones occupy 7.50% and 30.63% of the Allada Plateau respectively. These are essentially areas with steep slopes, low and very low drainage density and medium and high rainfall intensity. The medium class represents 36.78% of the area of the Allada Plateau and covers the large flood basins and includes the municipalities of Toffo, Allada, Zè, Kpomassè and Tori Bossito. The high and very high hazard classes are estimated at 19.14% and 5.95% respectively and cover most of the talwegs in the study area taking into account the municipalities of Ouidah and Abomey Calavi. These high and very high-risk areas are dominated by a low slope, high rainfall intensity, pseudogley type soil and ferralitic soil highly desaturated and low density drainage on the Allada plateau. The high hazard level therefore represents 25.09% of the study area.

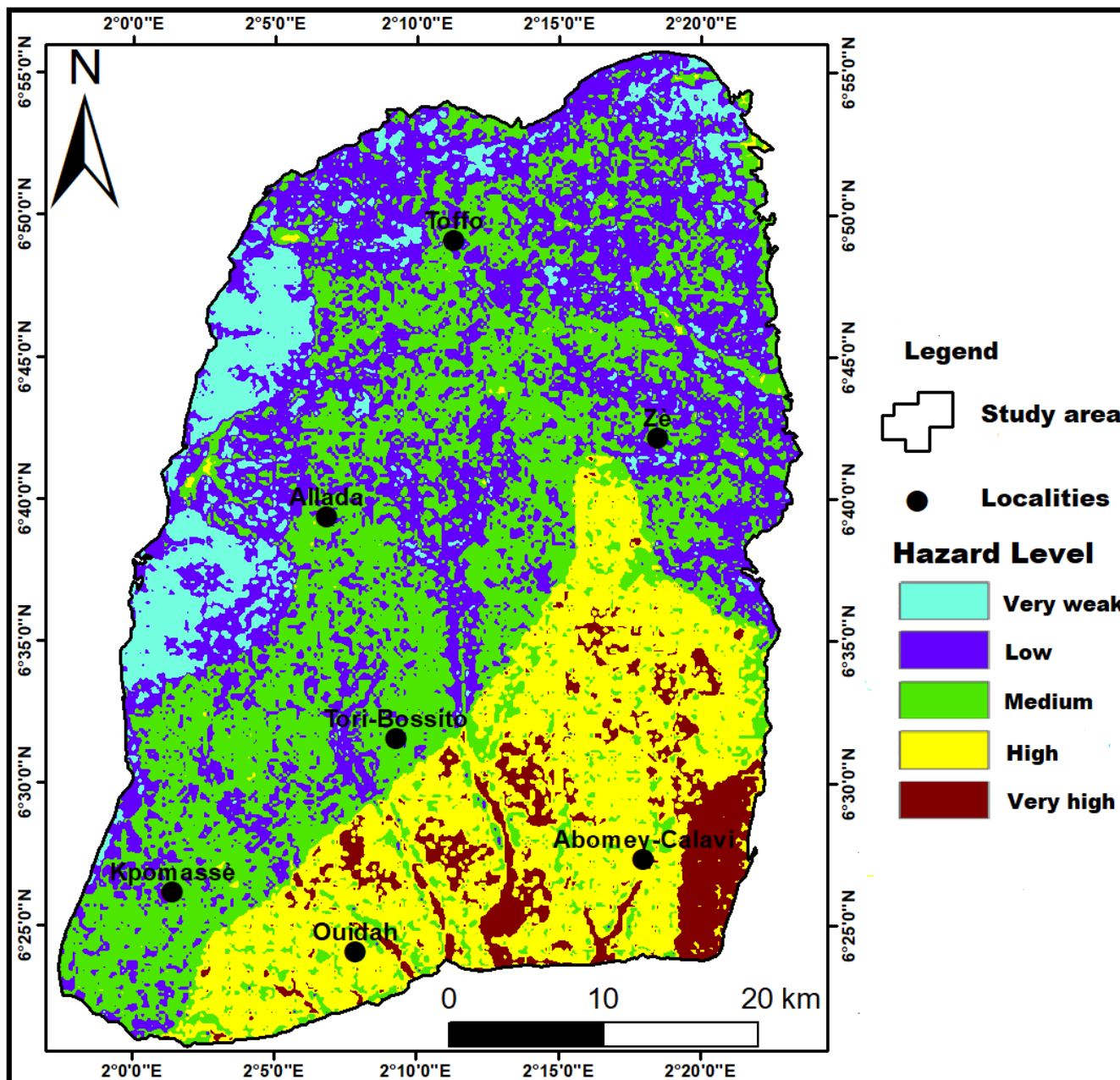


Fig. 8. Flood hazard level on the Plateau Allada

4.2 FLOOD VULNERABILITY CRITERIA ON THE ALLADA PLATEAU

The mapping of the vulnerability factor required the combination of land use and population density maps on the Allada plateau.

- Land use

A total of five classes were selected: built-up area, water, gallery forest, mosaic/ fallow/crop and finally plantation. The analysis of this map (Figure 9) shows that the "built" class occupies (12.77%), "water" (0.43%), gallery forest (4.64%), mosaic/crop/fallow (68.57%) and plantation (13.55%).

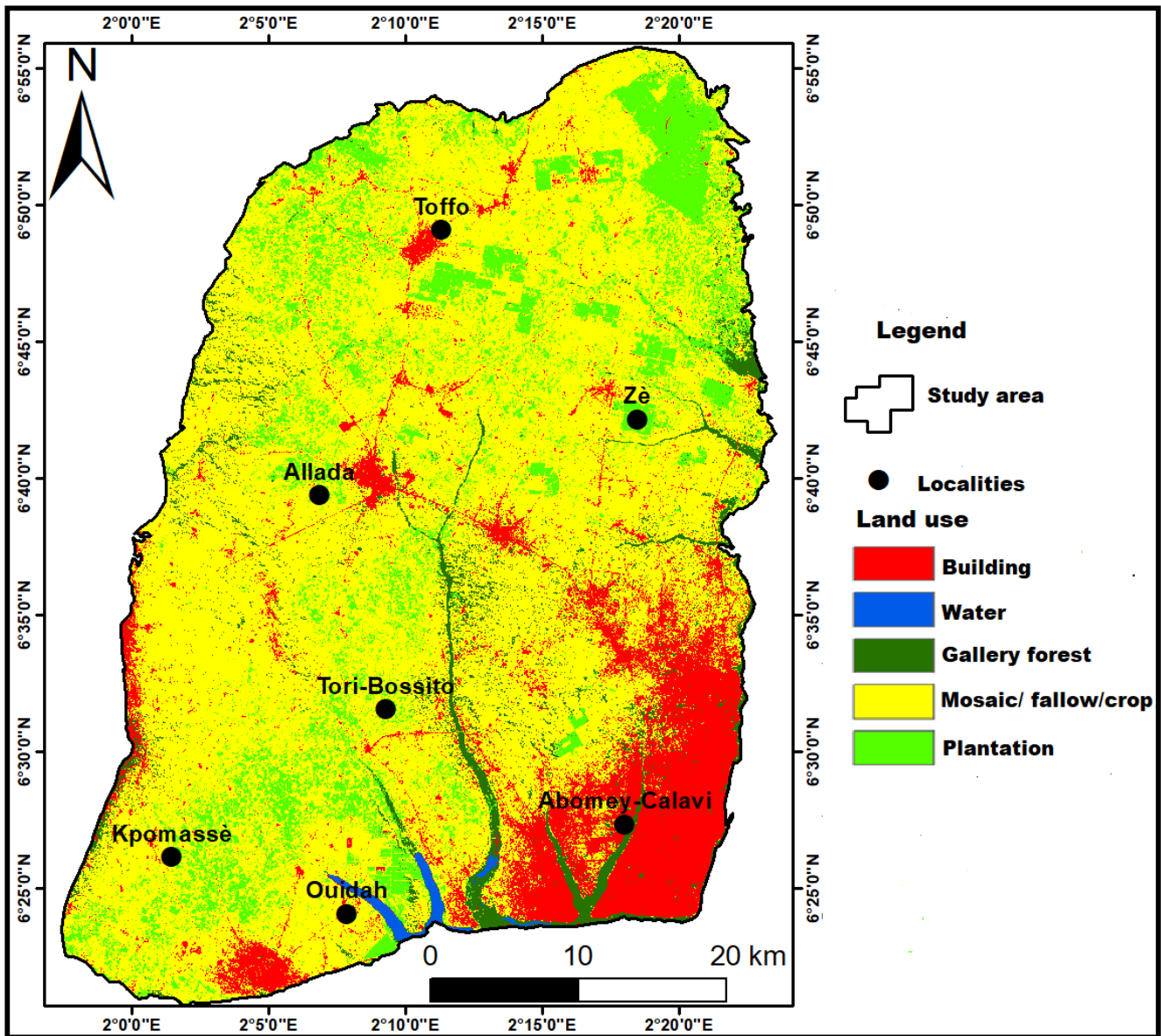


Fig. 9. Land use on the plateau of Allada

- **Population density**

The vulnerability of the populations constitutes the positive impact of flood risks on the Allada plateau. On the Allada plateau, there is a demographic surge and the anarchic installation of populations. Fig. 10 shows the population density (inhabitant/km²) on the Allada plateau by municipality. This map shows five classes: Very low (20.62%); Low (14.88%); Medium (28.98%); High (21.93%) and Very high (13.58%). Overall, the municipalities of Abomey Calavi, Ouidah and Allada concentrate the highest population densities with the High and Very High classes. The municipality of Abomey Calavi is the dominant class with a density between 428 and 1218 inhabitants/Km². The High-density class (Ouidah and Allada) covers an overall area of 506 km², with a density varying between 229 and 482 inhabitants/km². The "very low" density class (Zè municipality) covers an area of 455 km² for a density of 234.97 in habitants/km².

- **Flood risk vulnerability map of the Allada plateau**

The vulnerability map (Figure 11) obtained by combining land use and population density highlights five zones (very low to very high). The very low and low zones cover 20.33% and 15.04% of the Allada plateau respectively. These are essentially plantation areas and mosaics of crops and fallow land, with a low population density. The middle class represents 29.25% and covers the municipalities of Toffo and Kpomassè, i.e. two out of seven municipalities (2/7). The areas covered by the high and very high vulnerability classes are 21.64% and 13.73% respectively. The analysis showed that all these areas covered by high and very high vulnerability are dominated by a high population density.

These include the municipalities of Allada, Ouidah and Abomey Calavi. A total of three municipalities out of seven (3/7) have an overall high vulnerability on the plateau of Allada

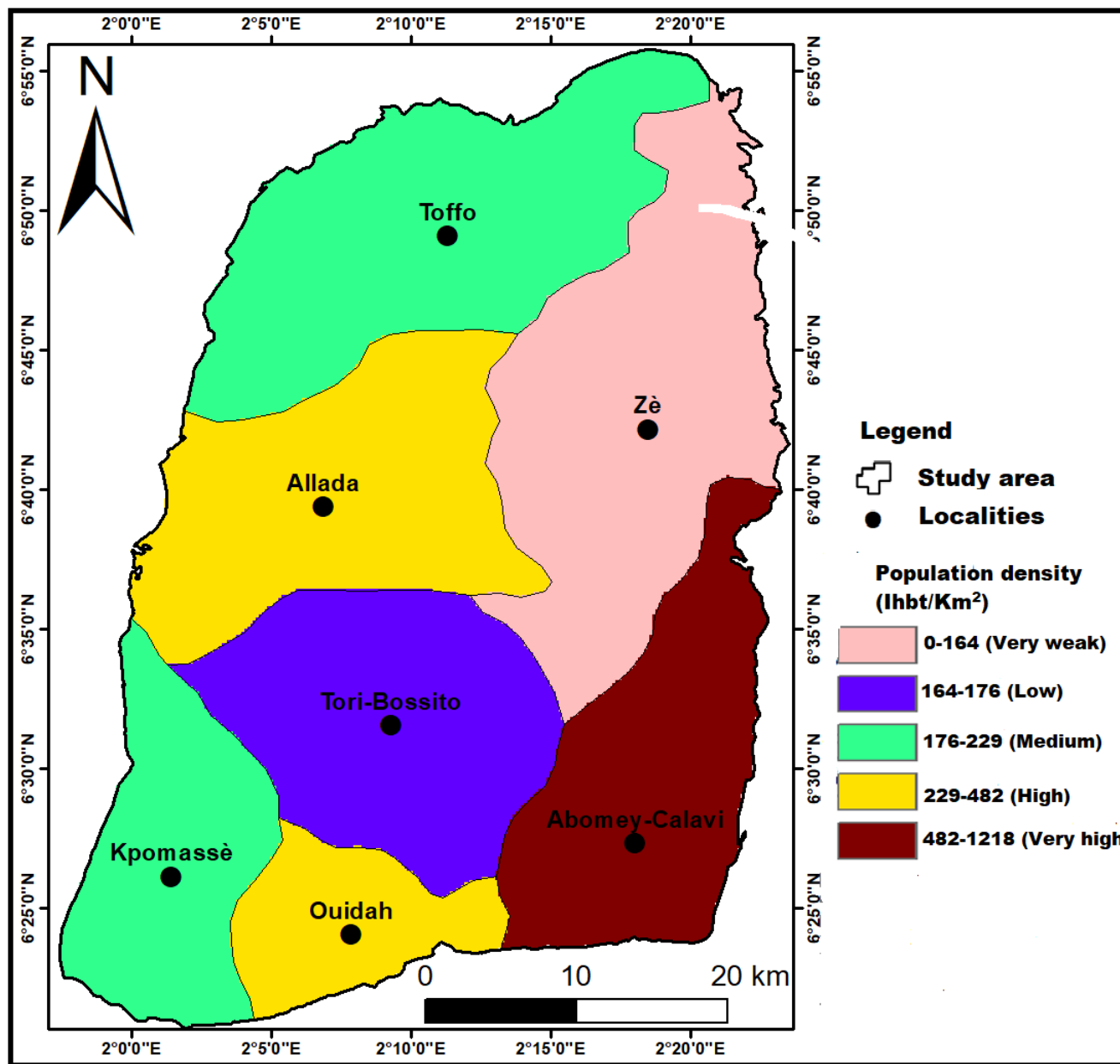


Fig. 10. Population density in the Allada plateau

4.3 FLOOD RISK MAPPING ON THE ALLADA PLATEAU

The flood risk map of the Allada Plateau obtained by linear combination of the Hazard and Vulnerability maps presented in Fig. 12, defines five levels of risk ranging from very low to very high. The areas of very low, low and medium risk of flooding cover 19.87%, 22.47% and 28.98% of the Allada plateau respectively. They are unevenly distributed and characterized by a steep slope, vegetation and plantation areas and low population density. The high and very high risk areas occupy 15.82% and 12.86% respectively (Figure 12). An overall area of high and very high risk of flooding covers 28.68% of the study area. The municipalities identified as being at high and very high risk of flooding on the Allada Plateau are Allada, Ouidah and Abomey Calavi and some of the districts of Kpomassè. The analysis of this map also shows that the buildings really play a key role in addition to the population density, flat slope and heavy rains in the risk of flooding on the Allada plateau; as well as other anthropic factors showing that the morphological level plays an aggravating role of the risk of flooding.

5 DISCUSSIONS

The flood risk of the Allada Plateau was assessed using a Saaty AHP multi-criteria analysis approach, combining vulnerability and hazard. The flood risk was about 57.66% when the study summarized moderate, high and very high classes. The analysis shows that 28.68% of the study area is a high flood risk area, but from a critical analysis, most of the communal areas are high flood risk while the low and very low classes are sparsely populated and urbanized vegetation areas. Three out of seven (3/7) municipalities in the Allada Plateau are at high risk of flooding and therefore require optimal design of the company’s technical solutions. The reliability of the resulting flood hazard map that gave acceptable results is based on the input parameters, historical floods and recorded data.

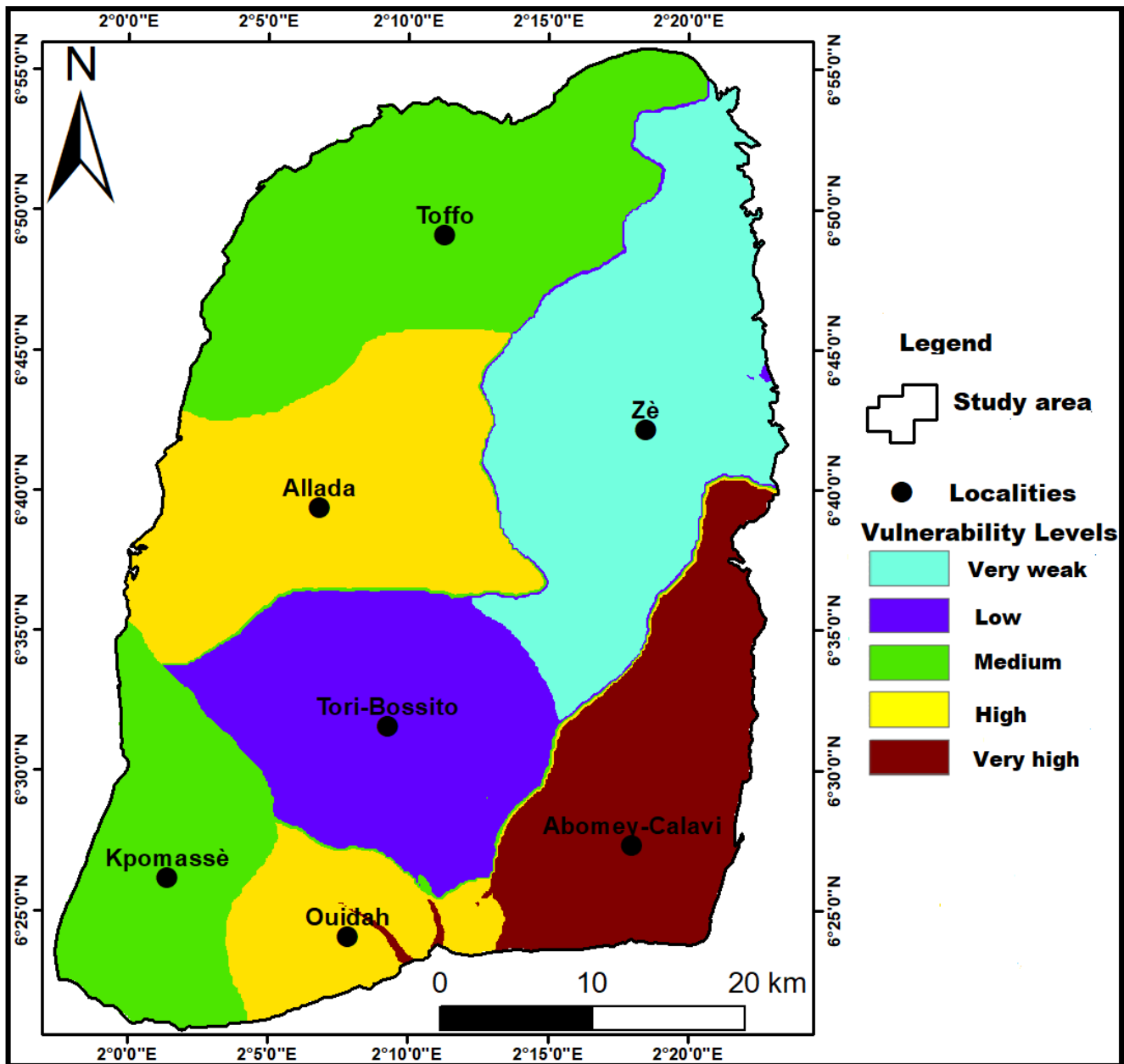


Fig. 11. Vulnerability to floods on the Allada plateau

The results of the hazard map showed that 25.09% of the Areas are at high risk, with precipitation and slope being the most important factors responsible for the occurrence of floods. The vulnerability map also showed that 35.37% of the study area is highly vulnerable to flooding with high population density and anarchic land use through buildings as important factors in flood risk.

The multi-criteria analysis carried out in the Allada Plateau through the Saaty Hierarchical Analysis Process (HAP) facilitated the combination of multi-source data, which was a real advantage in the mapping of flood risk areas. This approach is based on physical, hydrogeological and anthropogenic parameters. The parameters used in the mapping of flood risk factors include slope, drainage density,

precipitation, population density, soil types and land use which are the combination of hazard and vulnerability requiring interpolations to allow their cross-referencing. The results indicate that AHP can be used as an effective method to assess and map flood risk in the GIS environment. The AHP methodology provided a better understanding of the overall contributions of a feature or indicator to the flooding process based on the weight assigned to each. However, coming from different sources, the interpolation and crossing of data in GIS at the same resolution. The normalization and weighting steps of these parameters are important to reduce bias and uncertainty in the final result. Also, The AHP method shows some failure due to subjectivity in choosing the indicator weighting value from arbitrary expert judgments ([29], [27], [9], [35]). This weakness is mitigated by the judgment consistency ratio test. Saaty, 1980 provides a threshold coherence ratio that must be less than 10% to make a coherent judgment. The value of the consistency ratio as part of this study is 3% and the study concludes that, its judgments can be considered consistent. But the use of other normalization approaches such as linear break instead of natural break can be improved for map comparison and accuracy assessment purposes. This methodological approach was inspired by various previous works [44], [45], [24], [22], [34], [39], [27], [28], [9], [8] and it is clear that flood risk is related to the combined action of many different factors under two criteria: hazard and vulnerability.

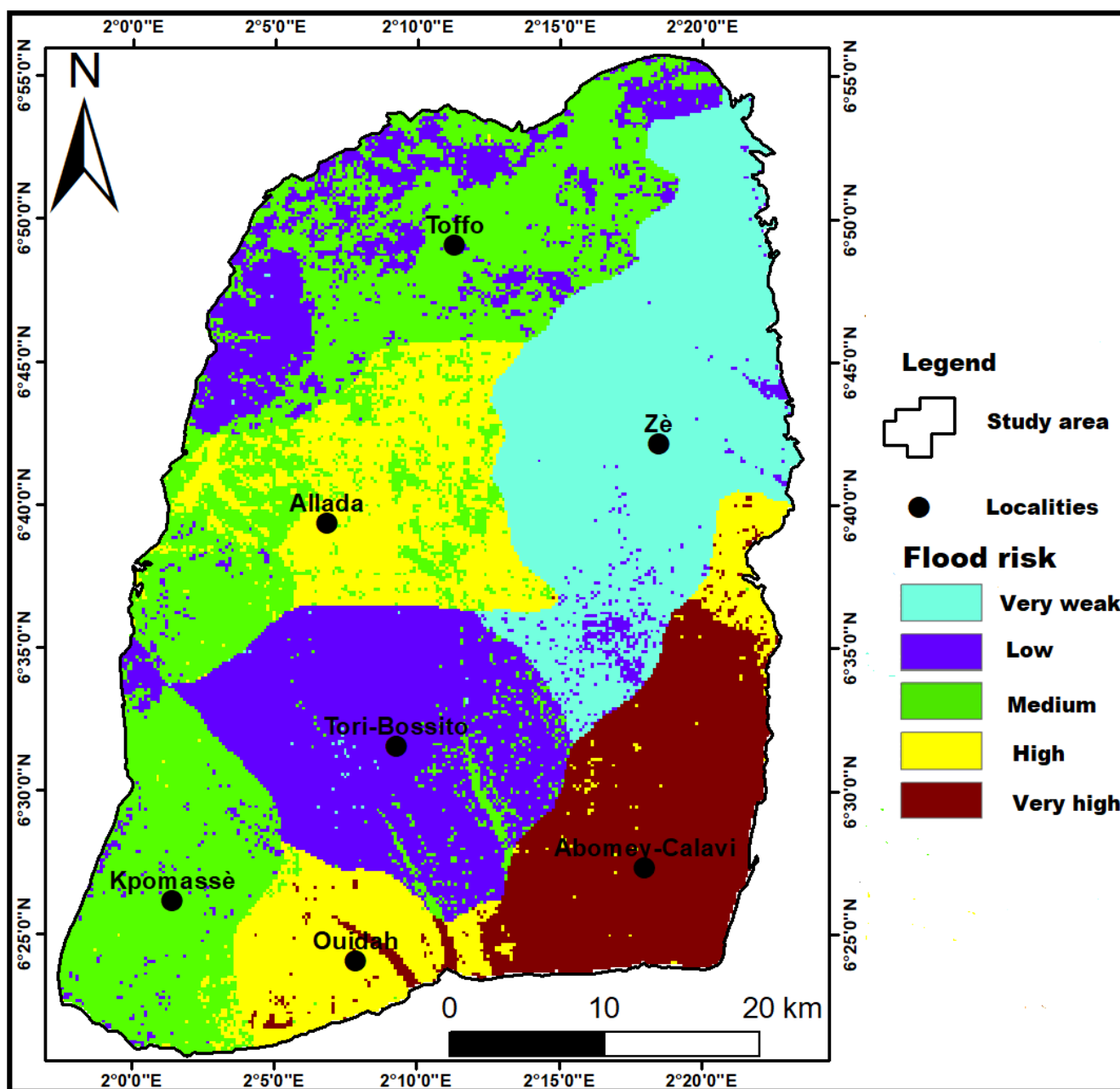


Fig. 12. Flood risk on the Allada plateau

6 CONCLUSION

The multi-criteria analysis approach used in the mapping of flood risk areas required a combination of hazard and vulnerability maps. The resulting map indicates that 28.68% of the study area is at high risk of flooding. Based on the results obtained, the Allada Plateau is at high risk of flooding. Thus, the flood risk map generated is a decision support map, which can be used as a guide for possible anticipatory measures, for better land use planning and better flood risk management in the context of climate change.

Strict measures must be taken regarding uncontrolled urbanization and the occupation of areas near rivers and storage areas. The application of multi-criteria analysis in the study of the mapping of flood risk areas of the Allada Plateau has shown its interest. The different techniques of multi-criteria analysis applied in this study have indeed allowed a better knowledge of the areas at risk of flooding on the Allada Plateau. This study has also highlighted the importance and the undeniable role of remote sensing and GIS in the evaluation of natural disasters.

ACKNOWLEDGMENT

This study was made possible by funding from the University Agency of the Francophonie (AUF), to which the authors of this article are very grateful.

REFERENCES

- [1] L. Wallez, Inondations dans les Villes d'Afrique de l'Ouest: Diagnostic et Eléments de Renforcement des Capacités d'Adaptation dans le Grand Cotonou, Essai 90 p, 2010.
- [2] United Nations Report, 2022. [Online] <https://www.ungeneva.org/fr/news-media/news/2022>. (Aug, 2022).
- [3] IPCC, Climate Change 2007, Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, eds. Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A., IPCC, Geneva, Switzerland, p.104, 2007.
- [4] J-M. Krill, «Les risques climatiques», Horizon, 19 p, 2007.
- [5] A. Gaye, Consultation sous-régionale pour la préparation aux inondations en Afrique de l'Ouest, 2009. [Online] <https://www.gfdr.org/sites/default/files/publication/rfcs-2014-senegal-fr.pdf> (June 10, 2019).
- [6] S. Brüscheweiler, «Gestion intégrée des Ressources en Eau GIRE» La voie du développement durable Info Ressource Focus n°1, p.16, 2003.
- [7] K. Musungu, S. Motala, and J. SMIT, «Using multi-criteria evaluation and GIS for flood risk analysis in informal settlements of Cape Town: the case of Graveyard Pond», South African J of Geomatics, vol.1, n°1, pp. 92-108, 2012.
- [8] K. D. Kouassi, B. H. Kouadio, D. A. Alla and T. V. Assoma, «Cartographie de l'occupation du sol par une nouvelle approche de classification orientée objet à partir de l'image sentinel-2a de la commune d'Abobo (Abidjan, Côte d'Ivoire)», International Journal of Engineering Science Invention (IJESI), vol. 07, no.01, pp. 28-38, 2018.
- [9] J.H. Danumah, S. N. Odai B. M. Saley, J. Szarzynski, M. Thiel, A. Kwaku, F. K. Kouame and L. Y. Akpa, «Flood risk assessment and mapping in Abidjan District using multi-criteria analysis (AHP) model and geoinformation techniques (cote d'ivoire) ». Geoenvironmental Disasters, vol. 3, no. 10, pp.1-13, 2016.
- [10] E. Ogowale, «Changements climatiques dans le Bénin méridional et central: indicateurs, scénarios et prospective de la sécurité alimentaire». Thèse de Doctorat unique, LECREDE/ FLASH/ EDP/ UAC, 302 p, 2006.
- [11] R. Houndakinnou, «Fréquence des événements pluvieux extrêmes et leurs impacts environnementaux dans la ville de Cotonou». Mémoire de DEA, UAC, 60 p, 2005.
- [12] C. Houndénou, «Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide: l'exemple du Bénin, diagnostic et modélisation», Thèse de Doctorat de géographie, UMR 5080, CNRS « climatologie de l'Espace Tropical », Université de Bourgogne, Centre de Recherche de Climatologie, Dijon, 341 p, 2011.
- [13] United Nations report, «Benin emergency Humanitarian Action Plan» p.85, 2010.
- [14] Banque mondiale, Villes et inondations. «Guide de gestion intégrée du risque d'inondation en zone urbaine pour le XXIe siècle», Washington, p.66, 2012.
- [15] M. Vojtek and J. Vojteková, «flood susceptibility mapping on a national scale in slovakia using the analytical hierarchy process», Water, vol. 11, no. 364, pp.1-17, 2019.
- [16] G. V. Bapalu, AND R. Sinha, «GIS in flood hazard mapping: a case study of Kosi River Basin, india», GIS Development Weekly vol.1, no.13, pp.1-3, 2005.
- [17] E.K. FORKUO, «Flood Hazard Mapping using Aster Image data with GIS. International journal of geomatics and geosciences vol.1, no. 4, pp. 932-950, 2011.
- [18] Y. Wang, L. Z. Tang, and G. A. Zeng, «GIS-Based Spatial Multi-Criteria Approach for Flood Risk Assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China», Water Resour Manage, vol.25, no. 13, pp.3465-3484, 2011.

- [19] R.S., Ajin, R.R. Krishnamurthy, M. Jayaprakash, and P.G. Vinod. «Flood hazard assessment of vamanapuram river basin, kerala, india: An approach using Remote Sensing & GIS techniques», *Advances in Applied Science Research* vol.4, no.3 pp.263-274. 2013.
- [20] R. Noble, J.K, Reshma, R. Raghunath and P. Vineetha, «Flood Hazard Zonation of Vamanapuram River Basin, Trivandrum, India: Using Remote Sensing and GIS Techniques» *International Journal of Innovation of Applied Remote Sensing and GIS*, vol. 3, no. 01, pp. 26-33, 2016.
- [21] K. Sowmya, C.M. John, And N.K. Shrivasthava «Urban flood vulnerability zoning of Cochin City, southwest coast of India, using remote sensing and GIS», *Natural Hazards*, vol.75 no.2 pp.1271-1286, 2015.
- [22] P.M. Orencio, and M. Fujii «A localized disaster-resilience index to assess coastal communities based on an analytic hierarchy process (AHP)», *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol.3 no. 01, pp. 62-75, 2013.
- [23] S. Yahaya, N. Ahmad, and R.F. Abdalla, «multi-criteria analysis for flood vulnerable areas in Hadejia-Jama'are River basin, Nigeria», *European Journal of Scientific Research*, vol.42, no.1, pp. 71-83, 2010.
- [24] G. Le Cozannet, M. Garcin, T. Bulteau, C. Mirgon, M. Yates, M. Méndez, A. Bails, D. Idier and C. Oliveros «An AHP-derived method for mapping the physical vulnerability of coastal areas at regional scales», *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 13, no.01, pp. 1209-1227, 2013.
- [25] H.R. Pourghasemi, M. Beheshtirad, And B. Pradhan. «A comparative assessment of prediction capabilities of modified analytical hierarchy process (M-AHP) and Mamdani fuzzy logic models using Netcad-GIS for forest fire susceptibility mapping» Vol. 7, No. 2, pp. 861-885, 2014.
- [26] B. H. Akokponhou, «Contribution of remote sensing, geographical information systems and geophysical methods in the exploration of fracture aquifers in the Donga department (north-western Benin)», PhD thesis of the University of Abomey-Calavi; 246 p, 2019.
- [27] G. Papaioannou, L. Vasiliades, and A. Loukas, «Multi-Criteria Analysis Framework for Potential Flood Prone Areas Mapping», *Water Resource Management*, vol. 29, no. 2, pp.399-418, 2015.
- [28] A. R. V. Nejad, S. Esmaili, and H. «Aghamohammadi, Earthquake Risk Modeling using GIS for urban buildings, Case study: Tehran Municipality, District 3», *Advances in Natural & Applied Sciences*, vol.9, no.1, pp. 33-43. 2015.
- [29] Adam and Boko, *Géographie le Bénin*, 2nd Ed. Paris, 1993.
- [30] Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique, *Effectifs de la population des villages et quartiers de ville du Bénin (RGPH-4, 2013)*. 83 p, 2016.
- [31] D. A. Alla, «Cartographie des zones à risques d'inondation, d'érosion et de mouvement de terrain dans la ville d'Abidjan», PNUD, MESUDD, 37 p, 2013.
- [32] M. Racle, «Évaluation comparative de méthodes pour la cartographie et le suivi des renouées asiatiques par télédétection», *Mémoire de Master Sciences des Territoires, Université de Grenoble Alpes, Institut de Géographie Alpine*, 96 p, 2016.
- [33] T. L. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority setting, Resource allocation*, Mc Graw-Hill, New York, 19 p, 1980.
- [34] A. Chakraborty and P. K. Joshi, «Mapping disaster vulnerability in India using analytical hierarchy process». *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, vol. 7, no 1, 2014.
- [35] K. D. Kouassi, B. H. Kouadio, D. A. Alla, M. B. Saley and Hamed Aly Diaby, «Apport de la géomatique et de l'analyse multicritère pour l'évaluation et la prévention du risque dans la commune d'Abobo (Abidjan, Côte d'Ivoire)», Vol. 8, no. 1, pp.31-37, 2021.
- [36] L. F. Gnagne, «Étude des risques d'instabilités de terrain dans la région d'Abidjan: cas de la commune d'Attécoubé». Master 2, Université F. H. Boigny d'Abidjan, UFR-STRM, 71 p, 2014.
- [37] B. Sika, «Utilisation des Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) et de la Télédétection pour la cartographie de la susceptibilité aux mouvements d'instabilité de versant dans le degré carré de Man (Ouest de la côte d'Ivoire) ». Master II. Université Felix Houphouët Boigny, UFR-STRM, 95 p. 2016.
- [38] H. Koumassi, «Risques hydro climatiques et vulnérabilités des écosystèmes dans le bassin versant de la Sota à l'exutoire de couberi, » Thèse Doctorat Unique de l'Université d'Abomey -Calavi pp. 25-36, 2014.
- [39] M. Fumey, «Méthode d'évaluation des Risques Agrégés: application aux choix des investissements de renouvellement d'installations», Thèse de doctorat en Systèmes Industriels, Institut National Polytechnique de Toulouse, 195 p. 2001.
- [40] A. Ramos, L. Cunha Et P. P. Cunha, «Application de la méthode de l'Analyse Multicritère Hiérarchique à l'étude des glissements de terrain dans la région du littoral du Centre du Portugal Figueira da Foz Nazaré», *Revue Geo-Eco-Trop*, vol. 38, no. 12, pp.33-44, 2014.
- [41] Y.O. Ouma, and R. Tateishi. «Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: Methodological overview and case study assessment». *Water*, vol. 6, no.6, pp.1515-1545, 2014.
- [42] M.M. Yagoub, «Spatio-temporal and hazard mapping of Earthquake in UAE (1984–2012): Remote sensing and GIS application». *Geoenvironmental Disasters* vol. 2, no.1, p. 1–14, 2015.
- [43] G. Meraj, S.A. Romshoo, A.R. Yousuf, S. Altaf, and F. Altaf, «Assessing the influence of watershed characteristics on the flood vulnerability of Jhelum basin in Kashmir Himalaya». *Natural Hazards* vol.77, no 1, pp. 153–175, 2015.
- [44] M.B. Saley, J.H. Danumah, V.M. Sorokoby, F.O. Kanohin, D. Atcheremi, S.P. Denean, F.K. Kouame, and V.E. Djagoua. «Méthodologie pour la cartographie des zones vulnérables à l'inondation par système d'information géographique et analyse multicritère: application au bassin versant de la Davo a Sassandra (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire)», *Africa Geoscience Review*, vol. 20, no.1, pp. 21–33, 2013.
- [45] M.B. Saley, K.F. Kouamé, M.J. Penven, J. Biémi, and B.H. Kouadio, «Cartographie des zones à risque d'inondation dans la région semi-montagneuse à l'Ouest de la Côte d'Ivoire: Apports des MNA et de l'imagerie satellitaire» *Télédétection* vol. 5, no.1, pp. 53–67, 2005.

Le spectateur: Quel rôle et place occupe-t-il dans le procès théâtral ?

[The spectator: What role and place does he occupy in the theatrical process?]

Chouiba Manal

CEDOC «Homme, Society, Education», University Mohammed V, Faculty of Educational Sciences, Rabat, 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: Playing theatre requires several skills but watching a play requires a great effort to succeed as a spectator. The latter occupies a principal place in the theatrical process insofar as it is the receiver and the recipient of the verbal discourse which makes the task quite difficult. The spectator is a key figure who participates in the scenic project during all phases of the performance.

This contribution will try to shed light on what is the spectator, his role and his place in a theatrical performance.

KEYWORDS: spectator-student, theatre, theatrical performance, education, charter.

RESUME: Jouer du théâtre requière plusieurs compétences mais regarder une pièce de théâtre demande un grand effort pour réussir sa fonction de spectateur. Ce dernier occupe une place principale dans le procès théâtral dans la mesure où c'est le récepteur et le destinataire du discours verbal ce qui lui rend la tâche assez difficile. Le spectateur est un personnage clef qui participe au projet scénique durant toutes les phases de la représentation.

Cette contribution essaiera d'apporter des éclairages sur ce qui est le spectateur, son rôle et sa place dans une représentation théâtrale.

MOTS-CLEFS: spectateur-élève, théâtre, représentation théâtrale, education, charte.

« Je tiens ce monde pour ce qu'il est : un théâtre où chacun doit jouer son rôle ».¹

1 INTRODUCTION

Le théâtre a toujours été un outil et un support didactique qui permet à l'apprenant de délivrer son aptitude d'imagination, ses capacités créatives et intellectuelles en outre des capacités d'écoute et d'expression. Cet aspect accorde à l'élève une appropriation langagière orale (linguistique) et l'accès au sens.

Le théâtre offre les avantages ordinaires du théâtre dans l'apprentissage (*mémorisation, élocution, prononciation, expressions de sentiments, expérience de la scène et du groupe*, etc.), et permet en outre de faire découvrir une culture. Aujourd'hui, l'école accorde aux pratiques théâtrales le rôle de transformation des relations maître/élève afin de « pallier la

¹ Shakespeare, W. (1596). *Le Marchand de Venise*

sclérose des études littéraires, de mettre à distance les textes pour partir de l'expérience des élèves et de construire une éducation esthétique véritable »

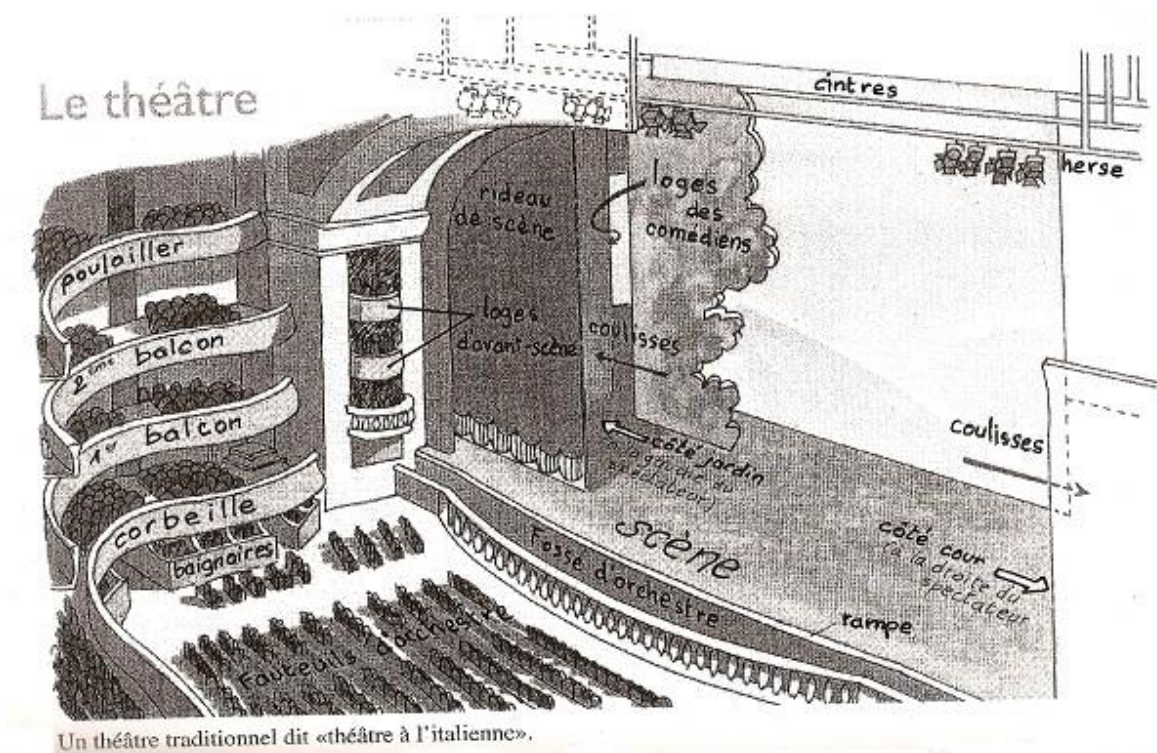
En pratiquant le théâtre on est en contact direct avec la langue ; car qui dit théâtre dit jeu dramatique. Ce jeu est caractérisé par l'expression par la parole et par les gestes.

Nous avons tendance à aborder le théâtre comme jeu dramatique qui se joue devant un certain nombre de personne appelé « spectateur ». Ce dernier prend une place primordiale dans la représentation théâtrale ce qui fait de lui une priorité pour la réussite d'une pièce théâtrale. De ce fait, qu'elle est la place et le rôle du spectateur-élève durant une représentation théâtrale ? Et quels sont les codes ou les règles que doivent manifester les élèves pour réussir leurs rôles de spectateur ? Nous commencerons par présenter les rôles et la place qu'occupe le spectateur-élève pour passer ensuite à la réception d'une pièce théâtrale de la part des élèves de la première année collégiale et comment la charte de l'école du spectateur peut cadrer la performance des élèves et peut guider le spectateur dans son rôle et le réussir vers la fin.

2 LE TRAVAIL DU SPECTATEUR

En théâtre, le quatrième mur est une notion découverte par Denis Diderot qui le définit : « *Imaginez sur le bord du théâtre un grand mur qui vous sépare du parterre ; jouez comme si la toile ne se levait pas.* » avait formulé l'idée qu'un mur virtuel devait séparer les acteurs des spectateurs pour mieux voir la scène.

Que l'on parle de « public », de « spectateur » ou de « quatrième mur », cette notion met en évidence le schéma contemporain du théâtre qui valorise la place du spectateur en étant un acteur vivant pendant une représentation théâtrale.

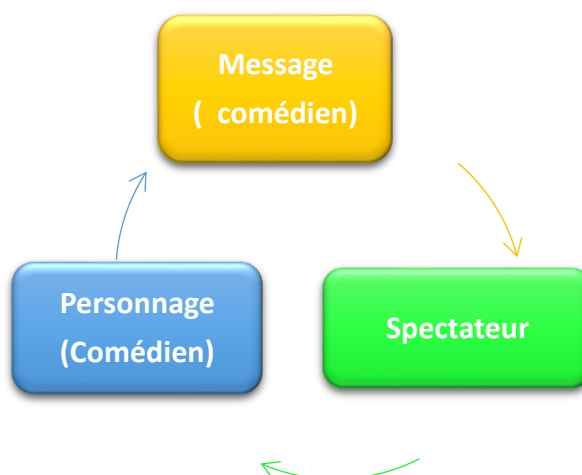


2.1 LA PLACE DU SPECTATEUR

Dans ce procès qui est la présentation théâtrale, cet événement à double énonciation, un personnage clef à qui est adressé la pièce de théâtre et qui, son point de vue compte énormément : c'est le spectateur. Il est le destinataire, le récepteur de toute pratique scénique.

La place du spectateur a toujours été, selon l'espace théâtral, soit loin ou près de la scène. Cette position lui permet d'avoir un regard global, panoramique de la salle. Dans la même perspective Anne UBERSFELD affirme que « nous avons vu à propos de l'espace théâtral à quel point le rapport du spectateur à l'espace était décisif dans la représentation du spectateur »

Sa place respecte le schéma « normal » de la communication :



Ce schéma montre que le message est adressé de prime abord au spectateur et aussi au personnage comédien sauf que le spectateur c'est à lui et par lui que s'effectue le procès théâtral.

En revanche le rapport du spectateur à l'espace reste décisif dans la perception du spectacle car son positionnement, affecte, si faire se peut, le bon déroulement de la représentation théâtrale et le faite de recevoir le projet scénique du metteur en scène.

2.2 LE RÔLE DU SPECTATEUR

Dans chaque représentation théâtrale nous avons un personnage clef qui n'apparaît pas sur scène et qui ne produit rien : c'est le spectateur. Il est « le destinataire du discours verbal et scénique, le récepteur dans le procès de communication, le roi de la fête ; mais il est aussi le sujet d'un faire, l'artisan d'une pratique qui s'articule perpétuellement avec les pratiques scéniques».

Le spectateur change de cap après chaque moment du spectacle, c'est-à-dire sa mission et son travail change quand il est en avant, après et pendant la représentation.

Le départ et l'arrivée sont des moments décisifs pour les comédiens et le spectateur car ce dernier assure la fonction de « co-producteur » c'est-à-dire il participe à la production de toute représentation théâtrale et il adhère au projet de manière relative au projet du metteur en scène.

Prenons le moment du départ, le lancement du spectacle où le spectateur est venu avec un certain bagage théâtral, une culture et une idéologie au préalable qui lui permet, d'une manière ou d'une autre, de juger de prime abord le cadre général de la scène et ensuite les praticiens.

Cette étape oblige un contrat entre le spectateur et les praticiens non seulement au niveau de la représentation mais aussi concernant les codes de perceptions car il y'a une dialectique qui s'établit entre le pensé, le su et le « nouveau » de ce qu'il va falloir que le spectateur fasse pour comprendre le projet théâtral.

Ensuite vient le moment de l'après où le spectateur donne une réponse finale au procès même s'il ne répond pas au praticien dans sa langue mais ce dernier comprend fort bien. Cette réponse participe à la construction du sens globale de la pièce ce qui lui donne une grande responsabilité : de là on parle d'une *école de spectateur*, qui doit, entre-autre, enseigner ou faire apprendre au spectateur sa mission, sa tâche et son chemin durant ce voyage.

Finalement nous abordons le spectateur durant la représentation qui est le destinataire de tous les signes émanant du comédien. Il engage un dialogue explicite, des fois, ou implicite selon l'acte de communication. Le spectateur est ici, présent, immobile, reçoit des messages et y répond de façon subtile avec des rires, des approbations et des soupirs.

Ces signaux ne sont pas adressés seulement aux comédiens mais aussi aux autres spectateurs qui sont à cotés.

Le rôle qu'a le spectateur reste primordial, important pour chaque représentation théâtrale car il participe, entre autres, à la réalisation du projet scénique.

3 LA CHARTE DU SPECTATEUR

En travaillant l'expression orale avec les élèves de 1^{ère} année collège surtout en module de théâtre avec les pièces de Molière, la question du spectateur élève a pris une grande ampleur dans la mesure où les élèves ne sont pas familiarisés avec, le jargon propre à cette activité, et les règles qu'il faut suivre pour réussir leur rôle de spectateur.

3.1 L'OBSERVATION DE LA CLASSE

Cette étape est définie de la sorte : « il s'agit d'observer la réaction des élèves pour mieux dégager quelques hypothèses de sens ». Lors de cette première expérience nous avons commencé par observer les attitudes des élèves avant, pendant et après le spectacle pour mieux cerner les failles de cette pratique.

Dans un premier temps, nous remarquons que les élèves une fois sur scène ils sont dispersés, chaque groupe prend des sièges différents et surtout en arrière ainsi que du bavardage et de la nonchalance. Ceci fait que le rôle du professeur est d'accompagnateur, il doit leur indiquer avant l'entrée en salle que l'usage des téléphones est interdit, de rappeler l'ordre discrets et de déplacer certains élèves trop bavards ou agités si nécessaire et toujours avec discrétion.

Après avoir instauré le calme vient le moment du spectacle, le moment où il faut mobiliser ses sens comme : la vue, l'ouïe et la concentration. L'élève est entièrement disponible pour le spectacle et seulement pour lui. Voir un spectacle est une expérience pleine et entière dont les bénéfices pédagogiques se tireront d'une part dans le cadre des séances de travail d'accompagnement.

A cette étape nous remarquons du chuchotement, des rires, des applaudissements entre le passage d'une scène à une autre et d'un acte à un autre ainsi que l'ennui qui s'installe ce qui légitime chez des apprenants mais en silence et sans sortir les autres spectateurs du spectacle dans lequel ils sont plongés. Le rôle du professeur c'est d'éviter de commenter ce qui se passe sur scène, de poser des questions pour susciter la réflexion ou l'intérêt de l'élève.

La dernière étape c'est après le spectacle, l'étape cruciale dans chaque représentation théâtrale c'est là où les élèves réagissent, échangent, infirment ou confirment des hypothèses et analysent la pièce ainsi que les acteurs.

Les applaudissements participent à la rupture de l'illusion théâtrale puisqu'ils s'inscrivent dans le moment où les comédiens redeviennent des comédiens et ne sont plus personnages. Elles sont une marque d'enthousiasme et d'adhésion aux propos de la pièce.

De ce fait nous remarquons trois niveaux d'élèves : le débutant, l'averti et l'expert.

Niveaux	Activités de l'élève
Niveau 1: Le spectateur "débutant"	- Rire, chuchoter... - Applaudir après chaque présentation
Niveau 2: Le spectateur "averti"	- Respecte les règles du théâtre - Emet des commentaires objectifs sur la performance de ses camarades
Niveau 3: Le spectateur "expert"	- S'intéresse aux remarques du professeur pour s'améliorer - Emet des commentaires subjectifs sur la performance de ses camarades

3.2 VERS UN SPECTATEUR AVERTI

Cette expérience nous a permis d'élaborer une charte de spectateur où on évoque ses droits et ses devoirs au sein d'une représentation théâtrale.

Les droits du spectateur:

Avant le spectacle, il faut être bien informé sur le spectacle, d'être confortablement installé et voir sans problème l'espace de jeu.

Pendant le spectacle, il a la possibilité de réagir (rire, applaudir) mais avec discrétion, pour respecter l'écoute des autres spectateurs et le travail des artistes, pouvoir s'ennuyer mais en silence car les autres spectateurs savourent peut être ce moment.

Après le spectacle, il a le droit de ne pas avoir envie de parler du spectacle, de dire son ressenti de ce qu'il a vu, critiquer le spectacle, dire ce qu'il en pense, s'exprimer, échanger, confronter ses idées, ses jugements avec les autres spectateurs et garder une trace de ce moment particulier en écrivant, en dessinant, en gardant les documents distribués.

Les devoirs du spectateur:

Avant le spectacle il faut être calme, attentif, s'ouvrir pour vivre un moment agréable.

Pendant le spectacle, il faut ne pas bavarder avec ses voisins car les bruits et les chuchotements s'entendent même sur scène, ne pas sortir pendant la représentation (sauf en cas d'urgence) parce que tous les déplacements dans la salle perturbent l'attention générale, se rendre disponible, écouter et de respecter la concentration des artistes comme des autres spectateurs.

Après le spectacle, il doit respecter les avis et commentaires des autres, éviter les jugements trop rapides et brutaux et puis réfléchir à ce qu'on a vu, entendu, compris ou pas.

4 CONCLUSION

Philippe Dorin: « La meilleure façon de préparer les enfants au spectacle, ce n'est pas leur lire des extraits de la pièce, de parler des sujets qu'elle évoque, de la forme qui sera employée, c'est de les préparer à aller au théâtre tout court. Le théâtre est la seule forme d'art où tout se passe dans l'instant où il se fait, pendant cette heure où les spectateurs assis regardent les acteurs sur la scène. C'est une réunion unique, qui ne pourra jamais plus exister. C'est à cela qu'il faut préparer les enfants. Le théâtre ne peut fonctionner que sur le souvenir de cette heure passée dans la salle noire en compagnie des acteurs. C'est ce qui doit rendre cet instant précieux. »

Pour accompagner les élèves dans leur processus de spectateur, il faut leur instaurer des pistes pour faciliter la compréhension et la découverte d'un spectacle car le théâtre est un jeu de double énonciation, où chaque personnage joue un rôle, minime soit-il, dans la représentation théâtrale. Il faut reconsidérer le couple apprenant-situation dans la pratique théâtrale: « la situation représente des sources d'apprentissage multiples: apprenants entre eux, apprenants-enseignant, apprenant et rapport à l'œuvre, apprenant et rapport à la société »

REFERENCES

- [1] Alix, C., Lagorgette, D. & Rollinat-Levasseur, E-M. (Dir.). Didactique du Français Langue Étrangère par la pratique théâtrale. Chambéry: Université de Savoie, 31-45.
- [2] Charte Nationale de l'école du spectateur (2009). Disponible en ligne sur: <<http://www.anrat.net/pages/École-du-spectateur>>.
- [3] Cuq, J-P. (dir.). (2003). Dictionnaire de didactique du français langue étrangère et seconde. Paris: Clé international.
- [4] Diderot, D. (1975). Discours de la poésie dramatique. Larousse.
- [5] Ferrier, B. (2011). Dans Mongenot, C. & De Peretti, I. Pour l'enseignement du théâtre. Le français aujourd'hui, 180, (1), 11-23.
- [6] Mongenot, C. & De Peretti, I. (2013). Pour l'enseignement du théâtre. Le français aujourd'hui, 180, (1), 3-8.
- [7] Pierra, G. (2011). Pratique théâtrale en FLE: spécificités d'une recherche-action en didactique. Synergies Chine, 6, 105-114.
- [8] Ubersfeld, A. (1977). Lire le théâtre II, L'école du spectateur. Paris.

Tabagisme en milieu hospitalier: Connaissances des soignants sur les méfaits du tabac, actions à promouvoir pour un hôpital sans tabac

[Smoking in hospitals: Knowledge of caregivers on the harmful effects of tobacco, actions to promote for a tobacco-free hospital]

Bocar Baïla Diédhiou, Armandine Eusebia Roseline Diatta, Marcel Kuire, and Mor Ndiaye

Service de Médecine du Travail et de Médecine Légale, FMPO, UCAD, 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: *Introduction:* Smoking constitutes a serious risk to the health of workers. The objective of this study was to evaluate the knowledge of caregivers on the harmful effects of tobacco and their perception of the actions to be promoted for a tobacco-free hospital. *Methodology:* This was a cross-sectional, descriptive study, carried out from April 1 to May 31, 2021 at the hospitals of Kossodo and Boulmiougou in Ouagadougou. Data collection was done using an anonymous, pre-established self-administered questionnaire. *Results:* A total of 246 caregivers were participated in the study. The average age was 44.8 years and 77.2% had more than 10 years of seniority in the function. The existence of the anti-tobacco law in Burkina Faso in public places was known by 78.9% of caregivers. Most caregivers were aware of tobacco-related harm (93.5%). The most known tobacco-related pathologies were lung cancer (55.3%), throat cancer (13.8%). Posters (88.2%), the ban on smoking in hospitals (93.9%), staff training (80.5%) and monitoring of compliance with the anti-smoking law (46%) were the major means recommended to achieve a tobacco-free hospital. *Conclusion:* Caregivers should serve as role models in tobacco control. The establishment of an anti-tobacco surveillance committee in health structures and the strengthening of awareness are to be promoted.

KEYWORDS: Smoking, knowledge, caregivers, sensitization, prevention.

RESUME: *Introduction:* Le tabagisme constitue un risque grave pesant sur la santé des travailleurs. L'objectif de cette étude était d'évaluer, les connaissances des soignants sur les méfaits du tabac et leur perception sur les actions à promouvoir pour un hôpital sans tabac.

Méthodologie: Il s'agissait d'une étude transversale, descriptive, réalisée du 1^{er} avril 2021 au 31 mai 2021 au niveau des hôpitaux de Kossodo et de Boulmiougou à Ouagadougou. La collecte des données a été faite à l'aide d'un auto-questionnaire anonyme, préétabli.

Résultats: Au total, 246 soignants avaient participé à l'étude. L'âge moyen était de 44,8 ans et 77,2% avaient plus de 10 ans d'ancienneté dans la fonction. L'existence de la loi anti-tabac au Burkina Faso dans les lieux publics était connue par 78,9% des soignants. La plupart des soignants avaient connaissance des méfaits liés au tabac (93,5%). Les pathologies liées au tabac les plus connues étaient, le cancer du poumon (55,3%), le cancer de la gorge (13,8%). Les affiches (88,2%), l'interdiction de l'usage du tabac dans les hôpitaux (93,9%), la formation du personnel (80,5%) et le contrôle de veille au respect de la loi antitabac (46%) étaient les moyens majeurs préconisés pour aboutir à un hôpital sans tabac.

Conclusion: Le personnel soignant devrait servir de modèle en matière de lutte contre le tabagisme. La mise en place d'un comité de surveillance anti-tabac dans les structures sanitaires et le renforcement de la sensibilisation sont à promouvoir.

MOTS-CLEFS: Tabagisme, connaissances, soignants, sensibilisation, prévention.

1 INTRODUCTION

Le tabagisme constitue un véritable problème de santé publique. Malgré la connaissance de la morbi-mortalité liée au tabagisme et les efforts déployés pour son éradication, le tabac continue à faire des ravages et à conquérir de nouveaux adeptes [1]. Il génère des coûts dispendieux aux entreprises liés à l'augmentation de l'absentéisme (journées de maladie, pauses-cigarettes). De même, il induit chez le travailleur fumeur, une baisse de productivité. En effet, les employés qui fument, sont obligés de prendre des pauses-cigarettes qui sont habituellement prises au-delà du temps de pause approuvé par l'employeur. Le tabagisme peut être source de conflits entre fumeurs et non-fumeurs au sein des entreprises. Pour faire face à l'ampleur de la problématique du tabac, la loi antitabac a été promulguée par plusieurs états parmi lesquels, le Burkina Faso où, la prévalence du tabagisme est plus élevée chez les 25 à 34 ans et diminue avec l'âge [4]. Le tabagisme n'épargne pas les professionnels de la santé malgré qu'ils soient les mieux préparés et édifiés par rapport aux risques. Dans une série hospitalière au Burkina Faso, Ouédraogo avait observé une prévalence de 18,35% de tabagisme parmi le personnel de santé [5]. Au Maroc, Badri avait retrouvé une prévalence globale du tabagisme de 16,3% parmi le personnel du Centre Hospitalier Universitaire Mohamed VI de Marrakech [1]. En effet, le personnel de santé, de par son contact étroit avec la population, sa crédibilité, a un rôle crucial à jouer dans l'aide au sevrage tabagique et dans la sensibilisation. Or, l'usage du tabac par le personnel soignant, pourrait constituer un handicap dans la lutte globale contre le tabagisme. D'où, l'importance d'impliquer davantage le personnel de santé dans la lutte [6]. L'objectif de cette étude était d'évaluer, les connaissances des soignants sur les méfaits liés au tabac et leur perception sur les actions à promouvoir pour lutter contre l'usage du tabac dans les structures sanitaires. La finalité de cette étude était de renforcer la sensibilisation et la capacitation du personnel afin qu'il puisse servir de modèle pour le reste de la population.

2 MÉTHODOLOGIE

2.1 CADRE D'ÉTUDE

Les hôpitaux de district sanitaire de Ouagadougou précisément, celui de Kossodo et de Boulmiougou avaient servi de cadre d'étude.

2.2 TYPE ET POPULATION D'ÉTUDE

Il s'agissait d'une étude transversale, descriptive, réalisée du 1^{er} avril 2021 au 31 mai 2021. Le personnel soignant exerçant dans les différentes unités de soins de ces deux hôpitaux était la population d'étude. Ce personnel était composé de médecins généralistes, de médecins spécialistes, de médecins vacataires, d'infirmiers diplômés d'état, d'infirmiers brevetés, d'agents itinérants, de sages-femmes, de maïeuticiens d'état, d'infirmiers vacataires, d'attachés de santé, de garçons et de filles de salle. Tout soignant travaillant dans ces 2 hôpitaux et ayant accepté de participer à cette étude était inclus. Le personnel soignant n'ayant pas accepté d'y participer, les absents, les stagiaires, n'étaient pas inclus.

2.3 COLLECTE DES DONNÉES

Les données étaient collectées à l'aide d'un auto-questionnaire anonyme, préétabli, adressé au personnel soignant. Il renseignait sur les caractéristiques socioprofessionnelles (âge, sexe, profession, nombre d'année de service, le type d'horaire de travail), les connaissances du personnel soignant vis-à-vis du tabac (risques sur la santé) et les mesures de prévention à entreprendre pour un hôpital sans tabac. Les données avaient été saisies et analysées à l'aide du logiciel Epi-info version 7.2.2.6.

2.4 CONSIDÉRATIONS ÉTHIQUES

Le consentement libre et éclairé des participants a été obtenu avant leur inclusion dans le protocole. L'anonymat et la confidentialité des données étaient garantis.

3 RÉSULTATS

3.1 CARACTÉRISTIQUES SOCIO-PROFESSIONNELLES DES AGENTS ENQUÊTÉS

Le personnel soignant ayant accepté de participer à l'étude était de 246, soit un taux de participation de 56,9%. L'échantillon était constitué d'autant de femmes que d'hommes, soit un sex-ratio de 1. L'âge moyen était de 44,8 ans avec des extrêmes de 21 et 61 ans. Les attachés de santé constituaient la catégorie professionnelle la plus représentée (43,9%). La majorité du personnel avait plus de 10 ans d'ancienneté dans la fonction. Le travail alterné (jour et nuit) était effectué par 93% des soignants (cfr tableau I).

Tableau 1. Répartition des soignants selon les caractéristiques professionnelles

Variables	Effectifs	Pourcentages (%)
Catégories professionnelles		
Attachés de santé	108	43,9
SFE/ME*	44	17,9
Infirmiers d'état	38	15,4
Médecins	30	12,2
Garçons/filles de salle	14	5,7
Infirmiers Brevetés	10	4,1
Agents itinérants	2	0,8
Nombre d'années de service (ans)		
≤ 10	56	22,8
11 - 20	90	36,6
21 - 30	79	32,1
≥ 31	21	8,5
Poste de travail		
De jour	17	7
En alternance	229	93

SFE/ME*: Sages-femmes d'état/Maieuticiens d'état

3.2 CONNAISSANCES DU PERSONNEL SUR LES MÉFAITS LIÉS AU TABAC

3.2.1 CONNAISSANCES DU PERSONNEL SUR LA LOI ANTI-TABAC

Plus de ¾ des enquêtés soit 78,9% (n= 194) avaient connaissance de l'existence de la loi anti-tabac au Burkina Faso qui régit l'interdiction du tabagisme dans les lieux publics.

3.2.2 CONNAISSANCES DU PERSONNEL SUR LES MÉFAITS LIÉS AU TABAC

Les méfaits liés au tabac étaient connus par 93,5% des soignants (93,5%). Les pathologies liées au tabac les plus connues étaient, le cancer du poumon, le cancer de la gorge et la bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) (cfr tableau II).

Tableau 2. Répartition du personnel selon leurs connaissances sur les méfaits liés au tabac

Méfaits liés au tabac	Effectifs (n)	Pourcentages (%)
Cancer du poumon	136	55,3
Cancer de la gorge	34	13,8
BPCO	26	10,6
Risques cardiovasculaires	19	7,7
Infections pulmonaires	16	6,5
Bronchite chronique	15	6,1
Baisse libido	11	4,5
Toux chronique	10	4,1
Cancer de la bouche	9	3,7
Maladies cardiaques	8	3,2
Insuffisance respiratoire	5	2
Cancer du larynx	4	1,6
Cancer de la vessie	4	1,6
Nervosité	2	0,8
Accoutumance	2	0,8
Laryngite	2	0,8

Asthme	1	0,4
Cancer du foie	1	0,4
Parodontopathie	1	0,4
Ulcère de gorge	1	0,4
Cancer de l'œsophage	1	0,4
Cancer oropharyngé	1	0,4

3.3 ACTIONS PROPOSÉES POUR LUTTER CONTRE LE TABAGISME EN MILIEU DE TRAVAIL

Les professionnels de la santé avaient préconisé plusieurs actions pour lutter contre le tabagisme dans les structures sanitaires. Trois propositions phares étaient les plus répertoriées. Il s'agissait de l'interdiction de la consommation du tabac, la mise en place d'affiches ou de posters de sensibilisation et de la formation du personnel (cfr tableau 3).

Tableau 3. Répartition des soignants selon les actions à mener pour un hôpital sans tabac

Variables	Effectifs	Pourcentages (%)
Interdiction de la consommation du tabac	231	93,9
Affiches/posters	217	88,2
Formation du personnel	198	80,5
Contrôle de veille au respect de la loi	113	45,9
Groupe de soutien aux fumeurs	94	38,2
Séances IEC*	20	8,1
Campagne anti-tabac	17	6,9
Consultation d'aide au sevrage tabagique	8	3,25
Sanctions par non-respect de loi anti-tabac	3	1,2
Publicité anti-tabac	1	0,4
Média	1	0,4

IEC*: Information/Education/Communication

4 DISCUSSION

4.1 CARACTÉRISTIQUES SOCIOPROFESSIONNELLES DES PARTICIPANTS

Le taux de participation à l'étude était de 56,9%. Il était supérieur au taux observé par Ouédraogo (41,81%) [5] mais proche de ceux de Fayoni au Bénin [7] et de Fougere [8] en France qui avaient retrouvé respectivement, 60% et 57% de taux de participation. Les occupations multiples du personnel soignant pourraient expliquer ces variations d'une étude à une autre. Le sex-ratio était égal à 1. Par contre, des études africaines portant sur le tabagisme en milieu hospitalier avaient retrouvé des disparités sur le genre [6], [9]. La moyenne d'âge de notre population était de 44,8 ans. Touré et Bouaoud avaient observé un âge moyen relativement plus jeune soit respectivement, 36 ans et 37,8 ans [6], [10]. Ce constat traduit une proportion élevée de soignants âgés dans notre étude. La catégorie professionnelle la plus représentée était celle des attachés de santé (43,9%). En revanche, les infirmiers étaient majoritaires dans l'étude de Fayoni [7] et dans celle de Mezghani [9]. En effet, dans notre contexte, les hôpitaux de district ont un paquet d'activités médicales et chirurgicales importantes. Dans le but de pallier à l'insuffisance de médecins dans certaines unités spécialisées, le recours à la formation d'infirmiers spécialistes est de plus en plus opté. Cela explique le nombre élevé d'attachés de santé. La tranche d'âge de 46 à 55 ans était la plus représentée (39%). Ce résultat corrobore l'observation de Mezghani qui avait retrouvé une représentativité plus élevée dans la tranche d'âge de 41-50 ans soit, 35% [9].

4.2 CONNAISSANCES VIS-À-VIS DES MÉFAITS DU TABAGISME

L'interdiction de fumer dans les lieux publics est née de la volonté des gouvernements de réduire le tabagisme passif. Dans notre série, 78,9% connaissaient l'existence de la loi relative à l'interdiction du tabagisme dans les lieux publics. Ce taux est supérieur à ceux retrouvés par Bouaoud (66,8%) et Alaoui yaidi, (65%) [10], [11]. Au Japon, Maeno avait observé un taux inférieur de soignants ayant connaissance de la loi anti-tabac (54,4%) [12]. Cette disparité des résultats montre que beaucoup d'efforts sont à fournir dans le cadre de l'information et de la sensibilisation. Les maladies causées par le tabagisme les plus citées étaient, le cancer du poumon, le cancer de

la gorge et la BPCO. En revanche, Wayzani avait observé dans le cadre des pathologies liées au tabac, que 89% des élèves citaient les maladies respiratoires telles que la tuberculose pulmonaire (42%) et le cancer pulmonaire (37,3%) [13]. Quant à l'étude de Ouédraogo [14], le cancer (29,7%), les affections pulmonaires (26,6%), les dépenses (9,1%), les affections cardiovasculaires (3,8%) représentaient les méfaits du tabac énumérés par les enseignants.

4.3 ACTIONS DE LUTTE CONTRE LE TABAC DANS LES STRUCTURES SANITAIRES

Plusieurs actions ont été préconisées dans notre enquête, dont certaines radicales. En effet, la plupart des enquêtés militaient en faveur de l'interdiction de la consommation du tabac dans les hôpitaux (93,9%). Ce résultat corrobore les observations faites par Bouaoud et Wayzani qui avaient colligé respectivement, 95,8% et 94% des enquêtés favorables à l'interdiction de l'usage du tabac dans les lieux publics [10], [13]. Cette action est à renforcer par un contrôle de veille au respect de la loi anti-tabac préconisé par 45,9% des soignants. En Tunisie, 49,9% des enquêtés d'une étude menée en milieu hospitalier, soutenaient l'idée de désigner des agents « contrôleurs » pour veiller au respect de la loi [9]. En effet, la réussite de l'application d'une telle mesure contribuera certainement à diminuer le tabagisme passif. Au-delà de cette mesure radicale, la sensibilisation est un aspect déterminant dans la prévention. L'affichage constituait le principal moyen de sensibilisation préconisé pour lutter contre le tabagisme dans les structures sanitaires (88,2%). Le recours des médias, de la publicité, des campagnes nationales étaient aussi préconisés. Concernant, les soignants fumeurs, la consultation d'aide au sevrage tabagique était à promouvoir afin de les accompagner dans le processus de sevrage. La prise en charge des fumeurs est à renforcer par un accompagnement psychologique. Dans l'étude de Mezghani, 70,4% du personnel hospitalier proposaient d'aider les fumeurs à arrêter le tabac [9].

La formation du personnel était également une mesure importante à élaborer dans le cadre de la prévention contre le tabagisme en milieu hospitalier (80,5%). Une étude réalisée en Tunisie avait montré que 58,9% du personnel interrogé étaient favorables à la formation des professionnels de la santé pour réussir la lutte contre le tabagisme [9]. La mise en place d'environnement sans tabac, présente un intérêt social permettant de dénormaliser le tabagisme, de prendre conscience de l'influence de l'environnement sur le tabagisme et de l'ensemble des problèmes liés au tabac; c'est le signe d'une promotion d'un lieu sain et exemplaire [15].

5 CONCLUSION

Les professionnels de la santé bien qu'étant les mieux avertis par rapport aux risques liés au tabac, sont aussi affectés par ce fléau. Ainsi, le renforcement de leur sensibilisation revêt un caractère déterminant pour que d'une part, l'hôpital devienne un lieu sans tabac et d'autre part, que ces soignants puissent servir de modèle pour le reste de la population. Ces soignants ont un rôle prépondérant à jouer dans la lutte contre le tabagisme. D'où, la nécessité de renforcer leur conscientisation car, l'usage du tabac par ces professionnels pourrait constituer un frein dans la lutte globale contre le tabagisme.

REFERENCES

- [1] F. Badri, H. Sajjai, L. Amro. Prévalence du tabagisme chez le personnel médical et paramédical du CHU Mohamed VI à Marrakech. *Pan Afr Med J*, vol. 26, no. 45, pp. 1-7, 2017.
- [2] G. Alberti. Noncommunicable diseases: tomorrow's pandemics. *Bull World Health Organ*, vol. 79, no. 10, pp. 907, 2001.
- [3] Lutte contre le tabagisme sur le lieu de travail: Les non-fumeurs gagnent du terrain. [Online] Available: [www.ilo.org › global › news › WCMS_075466 › lang—fr](http://www.ilo.org/global/news/WCMS_075466/lang-fr). (consulté, le 20/10/2022).
- [4] Ministère de la Santé. Rapport Enquête Steps Burkina Faso, 2013. [Online] Available: https://untobaccocontrol.org/impldb/wp-content/uploads/burkina_faso_2018_annex-4_STEPS_report_2013.pdf (Consulté, le 20/10/2022).
- [5] A. Ouedraogo, L. Ouedraogo, V. Ouedraogo, A. Samadoulougou, L. Somé. Le tabagisme parmi les personnels de santé d'un hôpital au Burkina Faso. *Alcoologie et Addictologie*, vol. 27, no. 2, pp. 93-98, 2005.
- [6] N. O. Touré, K. Thiam, A. Diatta, Y. Dia Kane, E. M. Ndiaye, M. F. Cissé et al. Le tabagisme chez le personnel médical et paramédical dans quatre grands hôpitaux de Dakar. *Rev Mal Respir*, vol. 28, no.9, pp. 1095-1103, 2011.
- [7] B. Fayoni, R. Josse, C. Djivoh, X. Gaschet, T. H. Zohoun. L'usage du tabac parmi les agents de santé du département de l'Oueme au Bénin. *Médecine d'Afrique Noire*, vol. 39, no. 7, pp. 517-520, 1992.
- [8] B. Fougere, M. Underner, P. Ingranda, J. C. Meurice. Tabagisme du personnel du centre hospitalier de Rochefort-sur-Mer. *Rev Mal Respir*, vol. 28, no. 9, pp. 1104-10, 2011.
- [9] S. Mezghani Ben Salaha, H. Rhif, O. Elguesmi, A. Ben Abderrahmena, A. Hayouni, N. Mrizak et al. Connaissances, attitudes et comportements du personnel hospitalier vis-à-vis du tabagisme et de la réglementation anti-tabac: résultats d'une enquête réalisée au CHU F.-Hached de Sousse (Tunisie). *Rev pneumo clin*, vol. 67, no. 6, pp. 347-353, 2011.

- [10] S. Bouaoud, M. Hamdi Cherif, A. Mahnane. Prévalence du tabagisme en milieu professionnel et mise en place des entreprises sans fumée dans la wilaya de Sétif. *Journal Algérien de Médecine*, vol. 26, no. 1, pp. 14-8, 2018.
- [11] A. Alaoui Yaidi, M. Barta, A. Mahmal, A. Motawakil El Oudhiri, A. Bakhatar, M. Lahlou et al. Tabagisme dans les hôpitaux de Casablanca: connaissances, attitudes et pratiques. *Rev Mal Respir*, vol. 19, no. 4, pp. 435-442, 2002.
- [12] T. Maeno, A. Ohta, K. Hayashi, Y. Kobayashi, H. Mizunuma, S. Nakai et al. Impact of reproductive experience on women's smoking behaviour in Japanese nurses. *Public Health* 2005, vol. 119, no. 9, pp. 816-24, 2005.
- [13] M. Wayzani, Y. Dia Kane, K. Thiam, N. O. Toure, F. B. R. Mbaye, E. H. M. Ndiaye et al. Prévalence du tabagisme dans l'enseignement moyen et secondaire dans le Département de Dakar, Sénégal. *Rev Mal Respir*, vol. 32, pp. 262-270, 2015.
- [14] T. L. Ouédraogo, V. Ouédraogo, M. Kéré, A. Ouédraogo, D. Traoré, A. Traoré, B. Sondo. Le tabagisme chez les enseignants du secondaire de la ville de Ouagadougou, Burkina Faso. *Santé publique*, vol. 16, no 3, pp. 427-433, 2004.
- [15] L. A. De Lajallet, E. Bustara, M. Creton, D. Deletoile, J. M. D'hermantin, M. Martinez et al. A quoi servent les lieux sans tabac et comment les mettre en place sur le plan du management ? Module interprofessionnel de sante publique, 2018. [Online] Available: <https://documentation.ehesp.fr/memoires/2018/mip/groupe%20n%C2%B018.pdf> (consulté, le 28/11/2022).

Activité antibactérienne *in vitro* de l'hémolymphe de deux espèces de Coléoptère (*Oryctes owariensis* et *Rhynchophorus phoenicis*) immunisées par des souches bactériennes

[*In vitro* antibacterial activity of two Coleoptera species hemolymph (*Oryctes owariensis* and *Rhynchophorus phoenicis*) immunized with bacteria]

Sansan KAMBOU, Adjoua Christiane Eunice BOKO, N'goran Parfait N'ZI, and Djédoux Maxime ANGAMAN

Département de Biochimie-Microbiologie, Laboratoire d'Agrovalorisation, Université Jean Lorougnon Guédé, BP 150 Daloa, 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 insects, the hemolymph is the primary site of antimicrobial effectors produced in response to infection. In this study, the antibacterial activity of hemolymph extract from immunized larvae of *Oryctes owariensis* and *Rhynchophorus phoenicis* has been evaluated. The tests were carried out on *in vitro* growth of six bacterial strains including three clinical isolates (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Bacillus subtilis*, *Salmonella* spp.) and three strains of food origin (*Escherichia coli* E1, *Staphylococcus aureus* S1 and S2 Meti-R). Activity of the different extracts was detected by diffusion method in a gel medium and quantified by macro-dilution technique in a liquid medium. Results showed that the different extracts demonstrate strong antibacterial activity and bactericidal power. Diameters of inhibition zones varied from 19.12±2.88 mm (*E. coli* ATCC 25922) to 22.58±2.18 mm (*S. aureus* S1) for the extract from *O. owariensis* infected larvae. This extract was more active on Gram positive bacteria with a MIC of 12.5 mg/mL and a MBC between 25 and 50 mg/mL. The extract from *R. phoenicis* infected larvae was very active on all strains with inhibition zone diameters between 26.22±0.69 mm (*B. subtilis*) and 35.30±2, 4 mm (*S. aureus* S1). MIC and MBC were respectively developed at the concentrations of 3.12 mg/mL and 6.25 mg/mL on all the bacterial strains. The sensitivity of bacterial strains to these hemolymph extracts reveals the probable presence of produced antimicrobial peptides.

KEYWORDS: Hemolymph extracts, *Oryctes owariensis*, *Rhynchophorus phoenicis*, bactericidal power, zone of inhibition.

RESUME: Chez les insectes, l'hémolymphe est le principal siège des effecteurs antimicrobiens produits en réponse à une infection. Dans cette étude, l'activité antibactérienne de l'extrait d'hémolymphe des larves immunisées de *Oryctes owariensis* et de *Rhynchophorus phoenicis* a été évaluée. Les tests ont été réalisés sur la croissance *in vitro* de six souches bactériennes dont trois isolats cliniques (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Bacillus subtilis*, *Salmonella* spp.) et trois souches d'origine alimentaire (*Escherichia coli* E1, *Staphylococcus aureus* S1 et S2 Méti-R). L'activité des différents extraits a été détectée par la méthode de diffusion en milieu gélosé et quantifiée par la technique de macro-dilution en milieu liquide. Les résultats ont montré que les différents extraits possèdent une forte activité antibactérienne et un pouvoir bactéricide. Les diamètres des zones d'inhibition variaient de 19,12±2,88 mm (*E. coli* ATCC 25922) à 22,58±2,18 mm (*S. aureus* S1) pour l'extrait des larves de *O. owariensis* infectées. Cet extrait a été plus actif sur les bactéries Gram positif avec une CMI de 12,5 mg/mL et une CMB comprise entre 25 et 50 mg/mL. L'extrait des larves de *R. phoenicis* infectées s'est montré très actif sur toutes les souches avec des diamètres de zones d'inhibition compris entre 26,22±0,69 mm (*B. subtilis*) et 35,30±2,4 mm (*S. aureus* S1). La CMI et la CMB ont été respectivement atteintes aux concentrations de 3,12 mg/mL et 6,25 mg/mL sur toutes les souches bactériennes. La sensibilité des souches bactériennes à ces extraits d'hémolymphe révèle la présence probable de peptides antimicrobiens produits.

MOTS-CLEFS: Extraits d'hémolymphe, *Oryctes owariensis*, *Rhynchophorus phoenicis*, pouvoir bactéricide, zone d'inhibition.

1 INTRODUCTION

Les insectes sont apparus à l'ère primaire, il y a environ 420 millions d'années et ont atteint aujourd'hui un nombre impressionnant. En réalité, ils sont le groupe de métazoaires le plus important de tous les écosystèmes terrestres avec actuellement près de 1,3 million d'espèces décrites soit 55 % de la biodiversité des espèces et 85 % de la biodiversité animale [1]. Ces animaux sont dotés d'un système de défense remarquable qui leur permet de résister aux bio-agresseurs [2]. A l'instar de tous les arthropodes, ils ne possèdent seulement qu'une immunité innée mais basée sur un système de défense complexe, qui met en jeu des réactions cellulaires et humorales coordonnées. En effet, la cuticule constitue la première barrière physique contre les invasions de micro-organismes et les parasites potentiellement pathogènes présents dans le milieu aquatique ou terrestre [3]. Cependant, suite à une blessure ou lors de la mue, cette barrière n'est plus étanche et les micro-organismes envahissants entrent directement dans la circulation générale puisque le système circulatoire des arthropodes est ouvert [4]. Cela déclenche des réactions cellulaires impliquant directement les constituants de l'hémolymphe [5]. L'activation de ces derniers provoque deux types de réponses liées. L'une relève d'une cascade de réactions purement cellulaires à savoir la phagocytose, la formation de nodules et l'encapsulation des micro-organismes pathogènes ou des corps étrangers [6]. L'autre se manifeste par une libération dans le plasma de molécules intervenant dans différentes réactions immunitaires telles que la mélanisation et la coagulation localisée [7]. Parallèlement, un second mécanisme s'installe et aboutit à la synthèse des peptides antimicrobiens par le corps gras [8]. Après synthèse, ces composés sont libérés dans l'hémolymphe des insectes où ils participent à sa défense contre les agents pathogènes notamment les bactéries, champignons, virus et parasites [9]. Ce sont donc des antibiotiques naturels qui détruisent rapidement les membranes bactériennes et fongiques par une action de type détergente, un mécanisme d'action qui réduit le risque d'apparition du phénomène de résistance chez les microorganismes [2]. Or, des efforts sont présentement déployés pour explorer de nouvelles voies de lutte contre la propagation des maladies infectieuses et la résistance aux antimicrobiens en dehors du paradigme des antibiotiques [10]. Par conséquent, le recours à ces peptides antimicrobiens des insectes s'avère une solution prometteuse. S'inscrivant dans cette logique, cette étude vise à évaluer les propriétés antibactériennes de l'hémolymphe des larves de deux espèces de coléoptères (*Oryctes owariensis* et *Rhynchophorus phoenicis*) immunisées par des bactéries.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATÉRIEL

2.1.1 ESPÈCES D'INSECTE ÉTUDIÉES

Cette étude a été réalisée sur les larves (cinquième stade) de deux espèces de coléoptères de l'entomofaune ivoirienne à savoir *Oryctes owariensis* et *Rhynchophorus phoenicis* (Fig. 1). Les larves ont été collectées dans la région du Haut Sassandra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire) dans les tiges de palmier en décomposition.



Larves de Oryctes owariensis



Larves de Rhynchophorus phoenicis

Fig. 1. Photos des différentes larves étudiées

2.1.2 SOUCHES BACTÉRIENNES

Le tableau 1 ci-dessous présente le matériel bactérien utilisé dans le cadre de cette étude. Les travaux ont été réalisés sur six (06) souches bactériennes dont trois (03) isolats cliniques (*Escherichia coli* ATCC 25922, *Bacillus subtilis* 1A786 et *Salmonella* spp. A517) et trois (03) souches provenant des salades de quatrième gamme (*Escherichia coli* E1, *Staphylococcus aureus* S1 et *Staphylococcus aureus* S2). Les souches de *staphylococcus aureus* (S1 et S2) sont multi-résistantes à la Méricilline.

Tableau 1. Souches bactériennes étudiées

Espèce bactérienne	Source	Profil
<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	Clinique	Sauvage
<i>Bacillus subtilis</i> 1A786	Clinique	Sauvage
<i>Salmonella</i> ssp.	Clinique	Sauvage
<i>Escherichia coli</i> E1	Salade de carotte	Sauvage
<i>Staphylococcus aureus</i> S1	Salade de carotte	Méti-R*
<i>Staphylococcus aureus</i> S2	Salade Méli-Melo	Méti-R

*Méti-R: multi-résistantes à la pénicilline

2.2 MÉTHODES

2.2.1 IMMUNISATION DES LARVES

Deux types de bactéries ont été utilisés pour l'immunisation des larves selon la méthode [11]. Il s'agit de *Escherichia coli* ATCC 25922 et de *Staphylococcus aureus* S1. Pour ce faire, les bactéries ont été cultivées sur le milieu gélosé Mueller Hinton pendant 16 h à 37 °C. Ensuite, une colonie de la culture bactérienne a été prélevée et déchargée dans 10 mL de Bouillon Mueller Hinton (BMH) et incubé sous agitation (600 rpm) à 37 °C pendant 24 h. Cent microlitres de cette pré-culture a été de nouveau ensemencés dans 10 mL de BMH et incubé pendant 3h sous agitation (600 rpm). Cette culture a été centrifugée pendant 5 minutes à 13000 rpm/min et le culot bactérien est récupéré. Avant l'injection, le culot est lavé dans du tampon PBS afin de limiter les agrégats bactériens puis centrifugé (5 min à 13000 rpm/min). L'inoculum a été dilué dans le tampon PBS à une concentration finale de 10^3 UFC/mL. Les larves du cinquième stade ont été immunisés avec 5 μ L du mélange de l'inoculum bactérien (1: 1, v: v) à l'aide d'une aiguille fine (diamètre 0,35 mm, longueur 40 mm) par ponction abdominale. Les animaux ont été mis séparément dans des boîtes de Pétri stérile et conservé sous une hotte ventilée pendant 24 heures.

2.2.2 COLLECTE DE L'HÉMOLYMPHE

Pour le prélèvement de l'hémolymphe les larves ont été soigneusement lavées à l'eau du robinet pour éliminer les débris alimentaires, puis avec de l'hypochlorite de sodium à 0,5 % (dans l'eau du robinet, v/v) et de l'éthanol à 70 % (dans de l'eau distillée, v/v). Ensuite, elles ont été anesthésiées sur de la glace, et percées entre le dernier et l'avant-dernier métamère avec une aiguille stérile. L'hémolymphe a été recueilli dans des tubes eppendorfs stériles en présence du dithiothréitol (DTT) comme inhibiteur de protéases. Chaque expérience a été réalisée en regroupant des échantillons d'hémolymphe prélevés sur 25 larves et conservés à -80 °C. L'hémolymphe des larves non infectées ont été considérés comme témoins pour toutes les expériences réalisées.

2.2.3 EVALUATION DE L'ACTIVITÉ ANTIBACTÉRIENNE

La méthode utilisée pour étudier l'activité antibactérienne des différents extraits d'hémolymphe est inspirée de l'antibiogramme classique employée en bactériologie [12]. L'activité antibactérienne des différents extraits d'hémolymphe a été évaluée qualitativement par la méthode de diffusion sur un milieu gélosé et quantitativement par la technique de dilution en milieu liquide suivie d'un ensemencement par stries sur gélose.

2.2.3.1 DÉTECTION D'ACTIVITÉ PAR DIFFUSION SUR UN MILIEU GÉLOSÉ

Cette technique permet de détecter la présence d'inhibition de croissance bactérienne par diffusion de composés antimicrobiens sur un milieu gélosé [13]. Les tests ont été réalisés sur les six (06) souches bactériennes présentées dans le tableau 1. Environ 20 mL du milieu gélosé Mueller Hinton sont coulés dans une boîte de Pétri (90 mm de diamètre). Après solidification, le milieu est ensemencé avec un inoculum bactérien d'opacité équivalente à 0,5 Mc Farland ou à une DO de 0,08 à 0,1 lue au spectrophotomètre ($\lambda = 625$ nm). Ensuite, des puits de 6 mm de diamètre sont réalisés par aspiration à vide à l'aide d'une pipette pasteur en verre stérile. Dans chaque puits est déposé 50 μ L des différents extraits d'hémolymphe à tester à une concentration de 100 mg/mL préparé dans un mélange de tween/eau (1: 10). L'incubation des boîtes s'est faite pendant 24 h à 37 °C. Un témoin constitué uniquement du mélange tween/eau (1: 10) a été réalisé en parallèle pour s'assurer de la non toxicité de l'émulsifiant (tween 20). L'inhibition de la croissance est détectée par la présence d'un halo d'inhibition autour des

puits contenant les échantillons à tester. L'importance de l'inhibition est évaluée par mesure de la taille du halo d'inhibition (diamètre d'inhibition) à l'aide du logiciel ImageJ.exe. Les hémolymphes des larves infectées ont été retenus pour la détermination des paramètres bactériens (CMI et CMB).

2.2.3.2 DÉTERMINATION DE LA CMI ET DE LA CMB

La Concentration Minimale Inhibitrice (CMI) a été déterminée par la technique de dilution en milieu liquide selon [14]. A partir de la concentration mère (100 mg/mL), une gamme de concentrations décroissantes par dilutions successives de raison 2 a été effectuée pour obtenir huit (08) différentes concentrations (100; 50; 25; 12,5; 6,25; 3,12; 1,56; 0,78). Ensuite, un inoculum bactérien à la concentration 10^5 UFC/mL a été préparé à partir d'une colonie jeune de 24 h dans le bouillon Mueller Hinton. Un millilitre (1 mL) de l'inoculum bactérien est mis en contact avec 1 mL de chaque concentration dans des tubes à hémolyse. Les tubes ont été incubés pendant 24 h à 37 °C. La concentration du premier tube ne présentant ni trouble ni culot bactérien a été considéré comme la CMI.

Après lecture de la CMI, la gélose Mueller Hinton a été coulée dans des boîtes de Pétri et ensemencée en stries par 100 μ L des contenus des tubes ayant une concentration \geq CMI dans la série de dilution précédente. Dans les mêmes conditions, des dilutions décimales de l'inoculum de départ (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4}) ont été effectuées et ensemencées. La Concentration Minimale Bactéricide (CMB) est déterminée après une incubation des boîtes à 37 °C pendant 24 h. C'est la plus petite concentration qui inhibe totalement la croissance. L'effet antibactérien sera jugé bactéricide ou bactériostatique en fonction du rapport CMB/CMI.

2.2.4 ANALYSES STATISTIQUES

Les données brutes recueillies ont été reportées sur une base de données « Excel, 2013 » puis traitées et analysées statistiquement à l'aide du logiciel R (R \times 64 4.1.2). L'analyse des variances (ANOVA à un facteur) et le test de Tukey ont été utilisés pour comparer les diamètres des zones d'inhibition obtenues. Les résultats obtenus ont été exprimés sous forme de moyennes \pm écart-type. Les valeurs de probabilité $P < 0,05$ ont été considérées statistiquement significatives.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 RÉSULTATS

3.1.1 ACTIVITÉ ANTIBACTÉRIENNE DES DIFFÉRENTS EXTRAITS D'HÉMOLYMPHE EN MILIEU SOLIDE

De grandes zones d'inhibition ont été observées sur toutes les boîtes après incubation. Les diamètres de ces zones d'inhibition sont consignés dans le tableau 2. Pour l'espèce *O. owariensis*, les valeurs varient de $19,12 \pm 2,88$ mm (*E. coli* ATCC 25922) à $22,58 \pm 2,18$ mm (*S. aureus* S1) avec l'hémolymphes des larves infectées et de $18,23 \pm 1,20$ mm (*E. coli* ATCC 25922) à $21,69 \pm 2,88$ mm (*S. aureus* S1) pour celui des larves témoins. Aucune différence significative n'a été observée entre les diamètres induits par chacun des deux extraits d'hémolymphes sur les souches et entre les diamètres induits par les deux extraits sur une souche bactérienne donnée.

Au niveau de *R. phoenicis*, une différence significative est observée entre les diamètres d'inhibition provoqués par l'hémolymphes des larves infectées et ceux induits par l'hémolymphes des larves témoins. Les zones d'inhibition sont plus importantes avec l'hémolymphes des larves infectées. Elles varient de $26,22 \pm 0,69$ mm (*Bacillus subtilis*) à $35,30 \pm 2,4$ mm (*S. aureus* S1) contre $15,84 \pm 0,61$ mm (*Bacillus subtilis*) à $22,46 \pm 3,11$ mm (*Salmonella* ssp.) pour celui des larves témoins.

Tableau 2. Diamètres d'inhibition induits par les différents extraits d'hémolymphes sur les souches bactériennes

	Diamètres des zones d'inhibition (mm)			
	O _i	O _T	Rh _i	Rh _T
<i>E. coli</i> ATCC 25922	19.12 \pm 2.88 ^a	18.23 \pm 1.20 ^a	32.03 \pm 2.06 ^b	18.74 \pm 0.15 ^a
<i>Bacillus subtilis</i> 1A786	20.48 \pm 3.14 ^a	19.45 \pm 2.38 ^a	26.22 \pm 0.69 ^b	15.84 \pm 0.61 ^a
<i>Salmonella</i> ssp A517	22.55 \pm 0.97 ^a	21.21 \pm 1.44 ^a	34.35 \pm 0.89 ^b	22.46 \pm 3.11 ^a
<i>E. coli</i> (E1)	21.82 \pm 4.21 ^a	19.12 \pm 1.12 ^a	34.03 \pm 3.30 ^b	20.58 \pm 0.40 ^a
<i>S. aureus</i> (S1)	22.58 \pm 2.18 ^a	21.69 \pm 2.88 ^a	35.30 \pm 2.42 ^b	21.19 \pm 2.63 ^a
<i>S. aureus</i> (S2)	21.52 \pm 1.31 ^a	19.43 \pm 2.74 ^a	27.73 \pm 1.25 ^b	18.02 \pm 0.31 ^a

Oi: extrait d'hémolymphe des larves de *Oryctes owariensis* infectées

O_r: extrait d'hémolymphe des larves de *Oryctes owariensis* non infectée (témoin)

Rhi: extrait d'hémolymphe des larves de *Rhynchophorus phoenicis* infectées

Rh_r: extrait d'hémolymphe des larves de *Rhynchophorus phoenicis* non infectées (témoin)

3.1.2 CMI ET CMB DE L'EXTRAIT D'HÉMOLYMPHE DES LARVES DE O. OWARIENSIS INFECTÉES

Les valeurs des paramètres bactériens de l'extrait d'hémolymphe des larves de *O. owariensis* infectées sont consignées dans le tableau 3. La CMI a été atteinte à la concentration de 12,5 mg/mL pour les bactéries Gram positif (*Bacillus subtilis* 1A786, *S. aureus* S1 et *S. aureus* S2) et à 50 mg/mL pour les Gram négatif (*E. coli* ATCC 25922, *E. coli* E1 et *Salmonella* ssp. A517). Les différentes valeurs de CMB obtenues sont: 25 mg/mL pour *Bacillus subtilis* 1A786 (Fig. 2) et *S. aureus* S2, 50 mg/mL pour *S. aureus* S1 et 100 mg/mL pour les bactéries Gram négatif (*E. coli* ATCC 25922, *E. coli* E1 et *Salmonella* ssp. A517). Toutefois, le rapport CMB/CMI calculé montre que cet extrait d'hémolymphe a un pouvoir bactéricide sur toutes les bactéries testées.

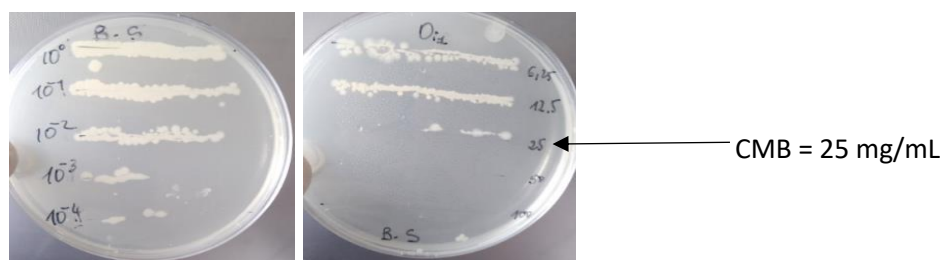


Fig. 2. Concentration Minimale Bactéricide (CMB) de l'extrait d'hémolymphe des larves de *O. owariensis* infectées sur *Bacillus subtilis* 1A786. La fig.2 montre le résultat de la détermination de la Concentration Minimale Bactéricide (CMB) de l'extrait d'hémolymphe des larves de *O. owariensis* infectées sur *Bacillus subtilis* 1A786. En se référant au témoin de batéricidie (présenté à gauche sur la fig. 2), la concentration ayant moins de 0,01 % de bactéries viables (CMB) par rapport à l'inoculum de départ est 25 mg/mL

Tableau 3. Paramètres bactériens de l'extrait de l'hémolymphe des larves de *Oryctes owariensis* infectées sur les souches bactériennes étudiées

	CMI (mg/mL)	CMB (mg/mL)	CMI/CMB	Pouvoir
<i>E. coli</i> ATCC 25922	50	100	2	Bactéricide
<i>Bacillus subtilis</i> 1A786	12,5	25	2	Bactéricide
<i>Salmonella</i> ssp. A517	50	100	2	Bactéricide
<i>E. coli</i> (E1)	50	100	2	Bactéricide
<i>S. aureus</i> (S1)	12,5	50	4	Bactéricide
<i>S. aureus</i> (S2)	12,5	25	2	Bactéricide

3.1.3 CMI ET CMB DE L'EXTRAIT D'HÉMOLYMPHE DES LARVES DE R. PHOENICIS INFECTÉES

Les différentes souches bactériennes étudiées ont présenté une grande sensibilité vis-à-vis de l'extrait d'hémolymphe des larves de *R. phoenicis* infectées (Tableau 4). La CMI et la CMB ont été respectivement atteintes aux concentrations de 3,12 mg/mL et 6,25 mg/mL sur toutes les souches bactériennes comme indiqué sur la fig. 3. Le rapport CMB/CMI est égal à 2 pour toutes les souches, ce qui indique un pouvoir bactéricide de l'extrait sur chacune des bactéries étudiées.

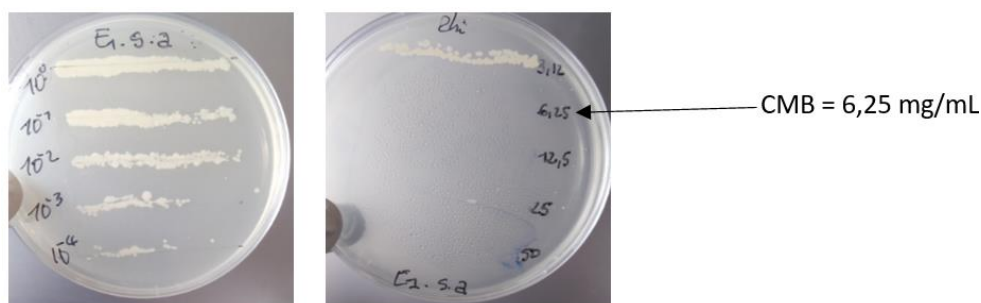


Fig. 3. Concentration Minimale Bactéricide (CMB) de l'extrait d'hémolymphe des larves de *R. phoenicis* infectées sur *Staphylococcus aureus* S1, Méti-R. La fig. 3 montre le résultat de la détermination de la Concentration Minimale Bactéricide (CMB) de l'extrait d'hémolymphe des larves de *R. phoenicis* infectées sur *Staphylococcus aureus* S1, Méti-R. En se référant au témoin de bactéricidie (présenté à gauche sur la fig. 3), la concentration ayant moins de 0,01 % de bactéries viables (CMB) par rapport à l'inoculum de départ est 6,25 mg/mL

Tableau 4. Paramètres bactériens de l'extrait de l'hémolymphe des larves de *Rhynchophorus phoenicis* infectées sur les souches bactériennes étudiées

	CMI (mg/mL)	CMB (mg/mL)	CMI/CMB	Pouvoir
<i>E. coli</i> ATCC 25922	3,12	6,25	2	Bactéricide
<i>Bacillus subtilis</i> 1A786	3,12	6,25	2	Bactéricide
<i>Salmonella ssp</i> A517	3,12	6,25	2	Bactéricide
<i>E. coli</i> (E1)	3,12	6,25	2	Bactéricide
<i>S. aureus</i> (S1)	3,12	6,25	2	Bactéricide
<i>S. aureus</i> (S2)	3,12	6,25	2	Bactéricide

3.2 DISCUSSION

L'activité antibactérienne des extraits d'hémolymphe des deux espèces de coléoptères a été évaluée sur la croissance *in vitro* de six (6) souches bactériennes dont trois souches cliniques de référence, deux souches multi résistantes et une souche sensible. La croissance de ces souches bactériennes a été inhibée par les différents hémolymphe testés avec des diamètres de zones d'inhibition relativement grands. Ceux obtenus avec l'hémolymphe des larves de *O. owariensis* infectées variaient de $19,12 \pm 2,88$ mm (*E. coli* ATCC 25922) à $22,58 \pm 2,18$ mm (*S. aureus* S1) et sont statistiquement identiques à celui des larves témoins. Pour l'hémolymphe des larves de *R. phoenicis* infectées, les diamètres variaient entre $26,22 \pm 0,69$ mm (*Bacillus subtilis*) et $35,30 \pm 2,4$ mm (*S. aureus* S1) contre $15,84 \pm 0,61$ mm (*Bacillus subtilis*) et $22,46 \pm 3,11$ mm (*Salmonella ssp.*) pour celui des larves témoins. Ces résultats montrent que les différents extraits d'hémolymphe testés possèdent une forte activité antibactérienne confirmant ainsi une présence probable de peptides antimicrobiens qui seraient produit en réponse à l'infection expérimentale comme rapporté par plusieurs chercheurs ([8], [15], [16], [11]). Par contre, la présence de composés antimicrobiens dans l'hémolymphe des larves naïves (témoins) pourrait être le résultat d'une infestation naturelle avant l'expérimentation. En effet, ces espèces vivent dans des conditions hygiéniques médiocres où elles sont naturellement exposées à l'attaque de nombreuses bactéries pathogènes présentes dans l'environnement. Ceci pourrait provoquer leur amorçage immunitaire aboutissant à la synthèse de ces composés antibactériens ([17], [18]).

L'activité antibactérienne des hémolymphe des larves infectées a été quantifiée à travers la détermination de la Concentration Minimale Inhibitrice (CMI) et la Concentration Minimale Bactéricide (CMB) ainsi que le ratio CMB/CMI. Au niveau de l'espèce *O. owariensis*, les plus petites valeurs de CMI et de CMB ont été obtenues sur les bactéries Gram positif (*Bacillus subtilis*, *S. aureus* S1 et *S. aureus* S2) à la concentration de 12,5 mg/mL pour la CMI et de 25 mg/mL pour la CMB. Cette sensibilité des bactéries Gram positif aux extraits de substances naturelles a été rapportée par plusieurs chercheurs ([19], [20]). En effet, la paroi des bactéries Gram positif est dépourvue de membrane externe et semble être sensible aux changements environnementaux externes, tels que la température, le pH et les extraits naturels [21]. Aussi, l'activité de cette hémolymphe pourrait être due à l'action de certains peptides antimicrobiens des insectes notamment les défensines qui sont plus actifs sur les bactéries Gram positif ([22], [23]). Les composés antimicrobiens produits par les insectes sont de natures diverses, ils peuvent être spécifiques à un groupe de microorganismes ou avoir une action dirigée contre une large gamme de pathogène, ce qui pourrait être le cas avec l'hémolymphe des larves de *R. phoenicis* infectées dont la CMI et la CMB ont été

respectivement atteintes à 3,12 mg/mL et 6,25 mg/mL sur toutes les souches bactériennes. L'activité de ce dernier sur les deux types de bactérie (Gram+ et Gram-) pourrait être le résultat d'une action combinée de plusieurs peptides sécrétés lors de l'infection ou d'un groupe de peptides ayant un spectre d'activité large. Des études ont rapporté que certains peptides antimicrobiens des insectes tels que les cécropines pouvaient être bactéricides aussi bien sur des germes à Gram positif que négatif ([24], [25]).

Toutes les souches bactériennes étudiées, qu'elles soient de Gram positif ou négatif, de phénotype sauvage ou résistant ont présenté une sensibilité vis-à-vis des différentes hémolymphe. Ces espèces bactériennes sont responsables de plusieurs types de maladies chez les humains pouvant aller jusqu'aux infections graves et mortelles tels que les septicémies, les infections du tube digestif et des voies urinaires, les fièvres brutales, les méningites et même les atteintes pulmonaires ([26], [27]). De plus, elles font partie des bactéries qui possèdent les mécanismes de résistance les plus redoutés en ce 21^{ème} siècle ([28], [29]). En effet, les souches de *Staphylococcus aureus* multi-résistantes à la Méricilline (SARM), de *E. coli* et de salmonelle multi-résistantes aux fluoroquinolones et aux céphalosporines de troisième génération sont devenues une préoccupation majeure en milieu hospitalier et même en médecine communautaire ([30], [31], [32], [33]). Ces phénomènes constituent une menace croissante pour la santé du fait de la diffusion des souches résistantes et du manque d'un remède efficace pour le traitement des infections résultantes. Alors, ces antibiotiques naturels, au regard de leur action biocide sur les souches multi-résistantes pourraient aider à lutter contre ces phénomènes de résistance.

4 CONCLUSION

Ce travail a été réalisé en vue d'évaluer les propriétés antibactériennes de l'hémolymphe de deux espèces de coléoptères issues de l'entomofaune ivoirienne. Les tests ont concerné des larves de *Oryctes owariensis* et de *Rhynchophorus phoenicis* immunisées par des bactéries Gram positif (*S. aureus*) et Gram négatif (*E. coli*). L'activité in vitro de l'hémolymphe de ces larves a été évaluée sur la croissance de six (06) souches bactériennes responsables de plusieurs infections courantes en Afrique. Toutes ces bactéries étudiées, qu'elles soient de Gram positif ou négatif, de phénotype sauvage ou résistant ont présenté une sensibilité vis-à-vis des différentes hémolymphe. Les diamètres d'inhibition varient de $19,12 \pm 2,88$ mm (*E. coli* ATCC 25922) à $22,58 \pm 2,18$ mm (*S. aureus*, S1) pour l'extrait d'hémolymphe des larves de *O. owariensis* infectées et de $26,22 \pm 0,69$ mm (*Bacillus subtilis* 1A786) à $35,30 \pm 2,4$ mm (*S. aureus*, S1) pour celui des larves de *R. phoenicis* infectées. Le pouvoir bactéricide des extraits a été confirmé à de très faible concentration. Les plus petites valeurs de CMI (3,12 mg/mL) et de CMB (6,25 mg/mL) ont été obtenues avec l'extrait de l'hémolymphe des larves de *R. phoenicis* immunisées. Ces résultats montrent que ces hémolymphe contiennent de puissants composés antibactériens pouvant aider à lutter contre les maladies provoquées par ces pathogènes.

REFERENCES

- [1] Motte-Florac, Elisabeth. "Entomologie médicale, ethnoentomologie, entomothérapie.", pp. 17-21, 2012
- [2] Folliet, Aurélie. "Les arthropodes: sources de médicaments et de substances d'intérêt médical.", 2006
- [3] Neuberg, Patrick. *Isolement de substances antimicrobiennes d'insectes: Synthèse chimique et préparation d'analogues structuraux*. Diss. Strasbourg 1, 2002
- [4] R. Krautz, B. Arefin and U. Theopold. "Damage signals in the insect immune response." *Frontiers in plant science*, p. 342, (2014)
- [5] Masson, Florent. *Régulations immunitaires et cellulaires impliquées dans le maintien et le contrôle des bactéries endosymbiotiques du charançon des céréales du genre Sitophilus spp*. Diss. INSA de Lyon, 2015
- [6] V. J. Marmaras and M. Lampropoulou, "Regulators and signalling in insect haemocyte immunity." *Cellular signalling*, vol. 21, no. 2, pP. 186-195, 2009
- [7] Y. Carton and A. J. Nappi, "Drosophila cellular immunity against parasitoids." *Parasitology today*, vol. 13, no. 6, pp. 218-227, 1997
- [8] P. Bulet, "Les peptides antimicrobiens de la drosophile." *MS. Médecine sciences*, vol. 15, no. 1, pp. 23-29, 1999
- [9] C. Rosales and E. Uribe-Querol, "Phagocytosis: a fundamental process in immunity." *BioMed research international*, 2017, vol. 2017
- [10] P. Renesto and E. Jouvin-Marche, "L'Antibiorésistance: stratégie de la France face à une menace sanitaire mondiale", 2022
- [11] S. Knutelski, M. Awad and N. Łukasz *et al.*, "Isolation, Identification, and bioinformatic analysis of antibacterial proteins and peptides from immunized hemolymph of red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus*." *Biomolecules*, vol. 11, no. 1, p. 83, 2021

- [12] F. Jehl, A. Chabaud and A. Grillon, "L'antibiogramme: diamètres ou CMI?." *Journal des Anti-infectieux*, vol. 17, no. 4, pp. 125-139, 2015
- [13] Defer, D., Bourgougnon, N. and Fleury Y., " *Recherche d'activités antimicrobiennes chez des mollusques marins. Purification et caractérisation partielle de peptides antimicrobiens isolés à partir de l'hémolymphe de Crassostrea gigas et de bactéries associées.*" Diss. Université de Bretagne Sud, 2009
- [14] N. J. Kouadio, N. K. Guessennd, M. W. Kone, B. Moussa, Y. M. Koffi, K. B. Guedé,... and M. Dosso, "Évaluation de l'activité des feuilles de Mallotus oppositifolius (Geisel.) Müll.-Arg (Euphorbiaceae) sur des bactéries multirésistantes et criblage phytochimique." *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 9, no. 3, pp. 1252-1262, 2015
- [15] A. J. Nappi and E. Ottaviani, "Cytotoxicity and cytotoxic molecules in invertebrates." *Bioessays*, vol. 22, no. 5, pp. 469-480, 2000
- [16] Anselme, Caroline. *Réponse immunitaire de l'hôte dans la symbiose bactérienne intracellulaire du charançon Sitophilus zeamais*. Diss. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2006
- [17] A. Dubuffet, C. Zanchi, G. Boutet, J. Moreau, M. Teixeira, and Y. Moret. "Trans-generational Immune Priming Protects the Eggs Only against Gram-Positive Bacteria in the Mealworm Beetle." *PLoS Pathogens* 11, vol. 11, no. 10, p. e10051782015
- [18] J. Dhinaut, M. Chogne, and Y. Moret, "Immune priming specificity within and across generations reveals the range of pathogens affecting evolution of immunity in an insect." *Journal of Animal Ecology*, 2018, vol. 87, no. 2, pp. 448-463
- [19] L. Boutabia, S. Telailia, I. Bouguetof, F. Guenadil and A. Chefrou, "Composition chimique et activité antibactérienne des huiles essentielles de Rosmarinus officinalis L. de la région de Hammamet (Tébessa-Algérie)." *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, vol. 85, pp. 174-189, 2016
- [20] Ryma, L. A. B. I. O. D. *Valorisation des huiles essentielles et des extraits de Satureja calamintha nepeta: activité antibactérienne, activité antioxydante et activité fongicide*. Diss. Université BADJI Mokhtar Annaba, 2016
- [21] El Harras, Abderrakef. *Analyse d'interaction de peptides, pseudopeptides et glycoconjugués aux activités antimicrobiennes et anti-leishmaniennes avec différents modèles membranaires*. Diss. Université Rennes 1, 2020.
- [22] J. A. Hoffmann, J. M. and Reichhart, "Drosophila innate immunity: an evolutionary perspective." *Nature immunology*, vol. 3, no 2, pp. 121-126, 2002.
- [23] S. I. Park, J. W. Kim and S. M. Yoe, "Purification and characterization of a novel antibacterial peptide from black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae." *Developmental & Comparative Immunology*, vol. 52, no. 1, pp. 98-106, 2015.
- [24] M. C. Hofmann, S. Narisawa, R. A. Hess and J. L. Mill n, "Immortalization of germ cells and somatic testicular cells using the SV40 large T antigen." *Experimental cell research*, vol. 201, no. 2, pp. 417-435, 1992.
- [25] Benmoussa, Khaddouj. *Impact du peptide antimicrobien issu du venin de la fourmi Tetramorium bicarinatum P17 sur la polarisation et l'acquisition des fonctions antifongiques des macrophages humains vis-à-vis de Candida albicans*. Diss. Université Paul Sabatier-Toulouse III, 2017.
- [26] Y. Millemann, "Le pouvoir pathogène des salmonelles: facteurs de virulence et modèles d'étude." *Veterinary Research*, vol. 29, no 5, p. 385-407, 1998.
- [27] Balière, Charlotte. *Les Escherichia coli potentiellement pathogènes dans l'environnement littoral: cas des STEC et des EPEC*. Diss. Université de Bretagne Occidentale, 2016.
- [28] H. M. Lode, "Clinical impact of antibiotic-resistant Gram-positive pathogens." *Clinical microbiology and infection*, vol. 15, no. 3, pp. 212-217, 2009.
- [29] Amine, Alioua Mohamed. *Les Staphylocoques: sensibilité aux antibiotiques et profil moléculaire de Staphylococcus aureus Résistant à la Méticilline*. Diss. Université Badji Mokhtar, 2015.
- [30] A. Manzur, A. M. González, A. Pozos, D. Silva-Herzog and S. Friedman, "Bacterial quantification in teeth with apical periodontitis related to instrumentation and different intracanal medications: a randomized clinical trial." *Journal of Endodontics*, vol. 33, no. 2, pp. 114-118, 2007.
- [31] Allaouchiche, B., Puel, C., Doligez, N., Hayi-Slayman, D., Boselli, E. and Bouvet, L. Infections communautaires chirurgicales graves à staphylocoque: rôle pathogène des SARM. In: *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation*. Elsevier Masson, p. A223, 2014.
- [32] M. R. Tagajdid, L. Boumhil, M. Iken, M. Adnaoui and A. Benouda, "Étude de la résistance des souches d'Escherichia coli isolées dans les urines aux fluoroquinolones et aux céphalosporines de troisième génération." *Médecine et maladies infectieuses*, vol. 40, no. 2, pp. 70-73, 2015.
- [33] E. J. Klemm, S. Shakoor, A. J. Page, F. N. Qamar, K. Judge, D. K. Saeed, and R. Hasan, "Emergence of an extensively drug-resistant Salmonella enterica serovar Typhi clone harboring a promiscuous plasmid encoding resistance to fluoroquinolones and third-generation cephalosporins." *MBio*, vol. 9, no. 1, p. e00105-18, 2018.

Preliminary Training Needs assessment for Residents in «Temporomandibular Dysfunctions» practicing within the Fixed Prosthodontic Department of CHU IBN ROCHD's Dental Consultation and Treatment Center

Nadia El Mesbahi¹, Souad Chaouir², El Mehdi Jouhadi¹, and Abderrahmane Andoh¹

¹Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Hassan II University, Casablanca, Morocco

²Medical and Pharmaceutical College, University Mohammed V, Rabat, 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: The analysis of residents' training needs in musculoskeletal disorders of the masticatory system is required in the department, because patients suffering from temporomandibular disorders and referred by general dentists constitute a significant proportion of patients consulting the service. Sufficient skills are thus required to provide appropriate care to these patients. Objective: The aim of our work is to survey residents' training needs in «Temporomandibular Dysfunction» practicing within the prosthodontics department of the Dental Consultation and Treatment Center of Casablanca. Method: Qualitative descriptive analysis of the initial training requirements in 'management of temporomandibular dysfunctions« among eleven residents in the department of fixed prosthodontic in Casablanca. Each participant responded to a questionnaire during a brainstorming session and an FGP grid has been done. Results: This work has highlighted a real need for training residents in temporomandibular dysfunction, especially for dysfunction of muscular origin and during the post-occlusal split stabilization period. Conclusion: Knowing the type of dysfunction (muscle or joint) is essential because the effectiveness of the diagnosis is a decisive step in the treatment. Within the context of the analysis of the training requirements for residents of the fixed prosthodontic department Casablanca in temporo-mandibular disorders, our preliminary survey should be regarded as a preliminary study.

KEYWORDS: Assessment, training needs, practical skills, brainstorming, know-how.

1 BACKGROUND

Several authors concur that "training needs analysis" must precede the planning of training activities to ensure their success [1]. It is a matter of evaluating the gap between a learner's current abilities and those that would be desirable for him to possess [2]. Identifying training needs requires measuring this gap, i.e. identifying the skills that employees need to acquire or improve [3]. Since relevance is the most important quality of a training program the training needs analysis is recommended as an essential step in the process of designing medical education training courses that are intended to increase rigor and efficiency [4]. In Morocco, as in the rest of the world, a prosthodontist has also a specialized training in jaw joint problems (such as temporomandibular joint disorders (TMDs)) must rely on the knowledge he has gained through his training and clinical practice. The responsibility of the specialist is to treat patients who present both aesthetic and functional complaints.

Some patients present with a muddled pathology in which the various diagnostic criteria overlap or contradict one another. At this stage, the practitioner's experience reveals his professional competence [5]. As a result, residents in fixed prosthodontics who will be responsible for the care of many of these patients as specialists require quality training (theoretical, practical, and relational) in jaw joint problems. During his residency, the resident participates in a variety of educational activities involving students, as well as clinical supervision and research activities. Learning in the field of jaw joint dysfunctions in the fixed prosthodontic department consists of participating in clinical practice where residents are confronted with cases of TMD.

To improve the management of patients with temporomandibular disorders (TMDs), the purpose of our work is to survey residents' training needs in "Temporomandibular Dysfunctions" practicing within the prosthodontics department of the Dental Consultation and Treatment Center (CCTD) of Casablanca.

2 MATERIALS AND METHODS

This is a three-month study conducted at the prosthodontic department of the CCTD in Casablanca, based on a qualitative descriptive analysis of the initial training requirements in "management of temporomandibular dysfunctions (TMDs)" among residents. This study was carried out in collaboration with eleven residents who are continuing their four-year residency program at the prosthodontic department of the CCTD in Casablanca.

2.1 DATA EXTRACTION

At this stage, it is necessary to determine the extent to which the learner already possesses the skills necessary to complete the initially determined professional tasks [2]. The resident must have enough understanding of the anatomy and physiology of the manducatory system. The best therapeutic option must result from the specialist's multidisciplinary knowledge.

He must explain to the patient that wearing the occlusal splint is an essential asset for the initial treatment and for the stabilizing treatment. Especially since an intervention by removable interocclusal device is reversible and non-invasive intervention [6].

Initially, we conducted a brainstorming session with the residents, who were given questionnaires on temporomandibular dysfunctions to assess their opinion, current knowledge, and training aspirations regarding the topics to be studied. This enabled the development of a list of clinical signs according to the type of temporomandibular disorder with which the resident is confronted, as well as a list regarding the practical implementation of occlusal splits during their placement in the mouth. In a second step, we identified the FGP grid items.

2.2 FGP GRID

The various retained items were then reported in an "FGP grid," the chosen method for quantitative and qualitative analysis of training needs. The resident completes the FGP grid according to a specific rating, based on his own experience and in good faith.

Frequency, or F. Rated as either 0 (rare), 1 (medium), or 2 (very common)

G stands for gravity (or severity). 0 = mild, 1 = medium, or 2 = severe (very serious)

P = three categories of problems (knowledge, interpersonal skills, know-how) scored as 0 (no problems), 1 (medium problems), or 2. (many problems) [7].

2.3 DATA ANALYSIS

Due to the small size of the staff, descriptive data analysis was performed without the use of statistical software. For the quantitative variables, the means were calculated.

3 RESULTS

A four-item FGP grid was established:

- Management of clinical signs of dysfunction of muscular origin
- Management of the clinical signs of an articular dysfunction
- Adjustment and fitting of the occlusal splint indicated by the pathologies (muscular/articular)
- Implementation of various therapies for the transition of the occlusal splint to the new mandibular position

This FGP grid was filled out by every resident. The limited personal experience that newly admitted residents had with temporomandibular dysfunction patients made it difficult for them to respond to the questions. Residents are divided into four first-year residents, two second-year residents, and five fourth-year residents.

With an average score of 6.08, "management of clinical signs of dysfunction of muscular origin" was the most important training need for residents, followed by "the implementation of different therapies for the transition of the occlusal splint to the new mandibular position" at 5.98. "The management of the clinical signs of an articular dysfunction" ranks third with an average score of 5.71, followed by "the adjustment and placement in the mouth of the occlusal splint indicated according to the pathologies (muscular/articular)" in fourth place with an average score of 4.88.

Table 1. FGP grid of resident training needs in temporomandibular dysfunction

Item	F	G	P			Means
			Knowledge	Know-how	Interpersonal skills	
Management of clinical signs of dysfunction of muscular origin	1.18	1.18	1.54	1.18	1	6.08
Management of the clinical signs of an articular dysfunction	1.36	1.18	0.90	1.27	1	5.71
Adjustment and fitting of the occlusal splint indicated by the pathologies (muscular/articular)	1.54	1.18	0.90	0.63	0.63	4.88
Implementation of various therapies for the transition of the occlusal splint to the new mandibular position	0.72	1.09	1.63	1.45	1.09	5.98

4 DISCUSSION

4.1 DISCUSSION OF RESULTS

To improve their training, the survey assisted in identifying the problems the residents faced when managing patients with temporomandibular dysfunction. The observations that result from our FGP grid are shown below, with item-by-item analysis.

- Implementation of various therapies for the transition of the occlusal splint to the new mandibular position

Our study showed that "the setting up of post-therapies or implementation of various therapies for the transition of the occlusal splint to the new mandibular position" (F: 0.72) had the lowest frequency and "adjustment and placing in the mouth of the occlusal splint" had the highest frequency (F: 1.54).

The study revealed a knowledge (1.63) and know-how (1.45) problem for this item, whose severity was understated (G: 1.09). So, the sustainability of the achieved results depends on the application of post-occlusal splint therapies.

These results can be explained by the fact that the residents, encountering fewer cases of this item, have not acquired the required medical skills in terms of knowledge and know-how.

- Adjustment and fitting of the occlusal splints indicated by the pathologies (muscular/articular)

The responses demonstrated that residents encounter this topic most frequently (F: 1.54). In addition, we observe that the candidate's knowledge, practical skills, and interpersonal abilities are adequate. The rating for the problems in the three domains (P: 0.9/ 0.63/ 0.63) is significantly lower than the ratings for the other three items, indicating that the residents have a greater understanding of this aspect of TMD treatment.

- Management of the clinical signs of an articular dysfunction

Recognition of clinical symptoms of joint dysfunction is relatively frequent (1.36). Medium severity is deemed to characterize this situation (G: 1.18). The problem is above all in the domain of know-how (SF: 1.27).

- Management of clinical signs of dysfunction of muscular origin

The subject with the highest score (6.08) demonstrates the importance of and necessity for planning a training regimen that takes pathologies of muscular origin into account. This knowledge gap is primarily at the theoretical knowledge level (1.54) and needs to be deepened.

4.2 ASSESSMENT OF METHODOLOGY

The FGP grid makes it possible to highlight the training needs expressed by most residents. In addition to the FGP grid, questionnaires were used during the brainstorming. This method has the advantage of being simple and easy to use. The responses to the questionnaires allowed for the completion of the FGP grid with the most-requested topics. One of the limitations of this study is the small size of the study group (N=11). The group is not entirely homogeneous because it contains residents at both the beginning and end of their training. However, the use of this grid has made it possible to evaluate the knowledge and challenges of the residents in the TMD domain and to prioritize training needs in this area.

5 CONCLUSION

Our study is to be considered as a preliminary work in the process of defining educational objectives, with a view to planning a teaching of temporomandibular dysfunctions for residents of prosthodontic department. Other more targeted studies are needed to better understand the extent of the training need and develop more appropriate programs.

REFERENCES

- [1] Labesse ME. Cadre de référence sur l'analyse de besoins de formation volet formation continue. Institut National de santé publique du Québec. Juin 2008
https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/800_Cadre_de_reference.pdf
- [2] Jean P, Pour une planification méthodique des activités de formation. *Pédagogie médicale* 2001; 2: 101-7.
- [3] Comment identifier les besoins de formation. Guide pratique Comité sectoriel de main-d'œuvre du commerce de détail. Septembre 1999.
https://detailquebec.com/wp-content/uploads/2017/11/guide_formation.pdf
- [4] Honorat C, Levasseur G. Quels besoins enseigner, quel besoin d'enseigner ? *Pédagogie médicale* 2001; 2: 26-302.
- [5] Dupas PH. *De la gouttière occlusale à la prothèse fixée*. Edition CdP, Guide Clinique 1998.
- [6] Si-Hui Zhang, Kai-Xun He, C-J Lin, Xiang-Dong Liu, Ling Wu, Jiang Chen & Xiaohui Rausch-Fan. «Efficacy of occlusal splints in the treatment of temporomandibular disorders: a systematic review of randomized controlled trials», *Acta Odontologica Scandinavica*, 2020.
DOI: 10.1080/00016357.2020.1759818
- [7] Abramovici et al. Fiche pratique 016, Technique de détection et d'analyse des besoins de formation La grille FGP (Fréquence, Gravité, Problèmes). *Pédagogie Médicale*. Volume 5. Numéro 3. Aout 2004, p185-186.

Valorisation énergétique des déchets issus de la transformation de l'ananas en jus à promo fruits Bénin: Etude de faisabilité et émergence de solution

[Energy recovery of pineapple juice processing waste at Promo fruits Benin: Feasibility study and solution emergence]

Romain AKPASSONOU¹, Thierry GODJO¹, Farid ADAMON¹⁻², Honorat SATOGUINA³, Clotilde Guidé², and Joachim GBENOU¹⁻⁴

¹Laboratoire des Sciences de l'Ingénieur et de Mathématiques Appliquées, Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques, B.P. 2282 Goho, Abomey, Benin

²Laboratoire des Procédés et d'Innovations Technologiques, Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques, Institut National Supérieure de Technologie Industrielle, BP : 133 B.P. Lokossa, Benin

³Laboratoire Kaba de Recherche en Chimie et Applications, Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques, B.P. 2282 Goho, Abomey, Benin

⁴Laboratoire d'Economie Publique, Université d'Abomey Calavi, B01 BP 526, Cotonou, 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: Pineapple waste at Promo Fruits Benin is bulky and difficult to manage. In addition, the company is dependent on electrical and thermal energy. With the aim of reducing waste and the energy bill, a technical-economic and environmental study was carried out. The methodology used is based on the analysis of energy needs, the study of recovery processes, economic and environmental analysis. The results showed that the company's annual energy consumption in electricity and diesel is 600 MWh and 307,695 liters respectively. The annual waste potential available is 11,607 T while that necessary to meet the company's energy needs is 14,904 T. The study of the choice of process retained biomethanation. The Functional Specifications of the reactor allowing said recovery has been defined and the digester has been sized. The economic study for a period of 25 years revealed that the investment cost is 2,101,196,208 FCFA and that the operating cost is 19,385,128 FCFA per year. In addition, the study made it possible to reduce from 96,434,691.12 FCFA to 0 FCFA the annual bill for electrical energy and from 123,078,750 FCFA to 71,898,186 FCFA for thermal energy of the company. From an environmental point of view, a reduction of 472.76 tonnes CO₂/year is obtained from emissions produced by non-recovered waste.

KEYWORDS: Biomass recovery, Pineapple waste, Biogas, Benin.

RESUME: Les déchets d'ananas au sein de l'entreprise Promo Fruits Bénin sont encombrants et difficiles à gérer. Par ailleurs, l'entreprise est dépendante en énergies électrique et thermique. Dans le but de réduire les déchets et la facture énergétique, une étude technico-économique et environnementale a été menée. La méthodologie utilisée repose sur l'analyse du besoin énergétique, l'étude des procédés de valorisation, l'analyse économique et environnementale. Les résultats ont montré que les consommations énergétiques annuelles de l'entreprise en électricité et gasoil sont respectivement de 600 MWh et 307 695 litres. Le potentiel annuel de déchet disponible est 11 607 T tandis que celui nécessaire pour répondre aux besoins énergétiques de l'entreprise est 14 904 T. L'étude du choix du procédé a retenu la biométhanisation. Le Cahier des Charges Fonctionnel du réacteur permettant ladite valorisation a été défini et un digesteur a été dimensionné pour une production de 715 035 m³ par an de méthane. L'étude économique pour une durée de 25 ans a révélé que le coût d'investissement est 2 101 196 208 FCFA et que celui d'exploitation est 19 385 128 FCFA par an. Par ailleurs, l'étude a permis de réduire de 96 434 691,12 FCFA à 0 FCFA la facture annuelle en énergie électrique et de 123 078 750 FCFA à 71 898 186 FCFA celle en énergie thermique de l'entreprise. Sur le plan environnemental, une réduction de 472,76 tonnes CO₂/an est obtenue des émissions produites par les déchets non valorisés.

MOTS-CLEFS: Valorisation Biomasse, Déchets Ananas, Biogaz, Bénin.

1 INTRODUCTION

Au Bénin, l'ananas est la troisième culture à potentiel d'exportation après le coton et l'anacarde. Il représente 0,42 % du PIB national et 1,95 % du PIB agricole [1] et constitue un enjeu socio-économique important au sein du pays. C'est un fruit présent sur un large éventail de marchés et sa croissance favorise l'amélioration des revenus de la population active rurale et la création d'emplois [2]. Il est périssable et sa dégradation commence 4 à 5 jours après la récolte dans les conditions normales, d'où la nécessité de le traiter et de le convertir en un produit plus stable avec une longue durée de conservation [3]. Pour Adda [4], au cours de la campagne 2020-2021, les quantités d'ananas commercialisées au Bénin sont de l'ordre de 264 834 tonnes et la quantité totale annuelle transformée pour l'ensemble des unités dénombrées s'élève à 99 814 tonnes entre 2020-2021. Ces quantités sont transformées à trois niveaux d'échelle : artisanale, semi-industrielle et industrielle. La caractéristique commune de ces trois échelles est de générer un produit fini qui sera consommé [5]. Ces différentes échelles vivent en harmonie, formant un continuum d'activités aux caractéristiques bien définies et répondant à différents segments de marché. L'échelle industrielle regroupe des unités de production qui sont mises à niveau avec une meilleure structuration des activités sur les plans technique, économique et social. C'est le cas de l'entreprise Promo Fruits Bénin, une usine agroalimentaire spécialisée dans la production de jus d'ananas. Elle est située à Allada, une commune au Sud-Bénin. Sa capacité de transformation est 21 900 tonnes d'ananas par an. La transformation de l'ananas en jus nécessite une quantité importante d'énergie. Au cours du processus, deux sources d'énergie principales sont utilisées : l'énergie électrique pour l'alimentation en électricité des différents outils de production de l'entreprise et l'énergie thermique constituée de gazoil pour la production de vapeur d'eau nécessaire pour la pasteurisation du jus. Malheureusement, l'accès à ces différentes formes d'énergie est difficile. En effet, au Bénin, le secteur de l'énergie connaît des crises importantes dues à des pénuries de gaz, de pétrole et d'électricité. Face à ce déficit énergétique, une alternative est de se baser sur les ressources naturelles dont dispose le Bénin pour réduire sa dépendance énergétique. Concernant la transformation de l'ananas en jus au sein de l'entreprise Promo Fruits Bénin, les déchets issus de celle-ci sont majoritairement constitués de couronnes et tourteaux brûlés [6] ou laissés dans la nature générant ainsi des nuisances sur le plan de la santé et de l'environnement (dioxyde de carbone, méthane, etc.). Sur la santé humaine, il a été largement prouvé que les déchets produisent à court, moyen ou long termes, des incidences allant de l'intoxication ou l'asphyxie jusqu'à la maladie chronique (asthme, hypersensibilité, etc.) ou encore la cancérogénèse [7]. Sur le plan environnemental, il est aujourd'hui indéniable que les déchets ont un fort pouvoir polluant et nuisible pour les composantes des écosystèmes. Au regard de ce qui précède n'est-il pas impératif pour rendre plus compétitive l'entreprise de valoriser énergétiquement les déchets en son sein afin de réduire sa dépendance énergétique et aussi le gisement des déchets nuisibles et difficiles à gérer ? Pour y parvenir, la présente étude technico-économique et environnementale a été menée.

2 PROCESSUS DE TRANSFORMATION DE L'ANANAS EN JUS AU SEIN DE PROMO FRUITS BÉNIN

Au sein de l'entreprise Promo Fruits Bénin, le processus de transformation de l'ananas en jus est décrit dans la Figure 1.

Les étapes unitaires de ce processus sont les suivantes : le triage et le parage des fruits d'ananas, le lavage, le brossage et le rinçage, le broyage, le pressage, le filtrage, la pasteurisation, le remplissage et sertissage, le refroidissement et puis le conditionnement (Fig. 1). La qualité du jus final dépend principalement de la qualité des fruits d'ananas et de la manière par laquelle les étapes de transformation ont été menées. Au Bénin, deux variétés sont utilisées dans le processus de transformation de l'ananas en jus : la cayenne lisse en minorité et majoritairement le pain de sucre [8]. Le triage et le parage de l'ananas constituent la première étape du processus de production de jus d'ananas naturel. Ils sont principalement menés par les femmes qui trient et en débarrassent les fruits abimés, les fruits trop mûrs et les couronnes. Les ananas conservés pour la production du jus sont des ananas fermes, peu mûrs ou juste à maturité. Au sein de l'entreprise, le rendement de triage et parage est de l'ordre de 85 %. Les déchets générés sont des fruits avariés et des couronnes d'ananas. Ces déchets représentent 13,78 % de la masse totale des fruits d'ananas. Un lavage soigneux permet l'élimination du sable, les micro-organismes et les traces de traitement phytosanitaire. Les fruits triés et parés sont ensuite convoyés vers le bac de lavage pour le processus de lavage avec de l'eau comestible. L'eau est vidée du bac et renouvelée chaque 2 min. A partir du lavage, les opérations unitaires sont mécanisées. La machine laveuse est composée d'un réservoir de lavage, d'un convoyeur de transport avec des volées, de buses de pulvérisation aériennes, d'un réservoir de pompe avec filtre et d'un panneau de commande. L'opération de lavage nécessite beaucoup d'eau [9] et il en découle des effluents. L'entreprise ne dispose pas de traitement ou d'infrastructure d'évacuation des eaux usées. A la fin du lavage, les fruits sont brossés par une machine électrique d'une puissance munie de brosse de haute qualité en acier inoxydable et durable. Les ananas brossés sont ensuite rincés pour éliminer d'avantages les micro-organismes. A la suite de cette étape, les fruits sont récupérés sur les claies de la vis de presse pour le broyage. Les ananas broyés sont répartis en couches régulières sur les claies de la presse qui permet l'extraction du jus d'ananas. A la sortie de la presse, les tourteaux sont produits et transportés hors de l'entreprise. Ces tourteaux représentent 39,22 % de la masse totale des fruits d'ananas.

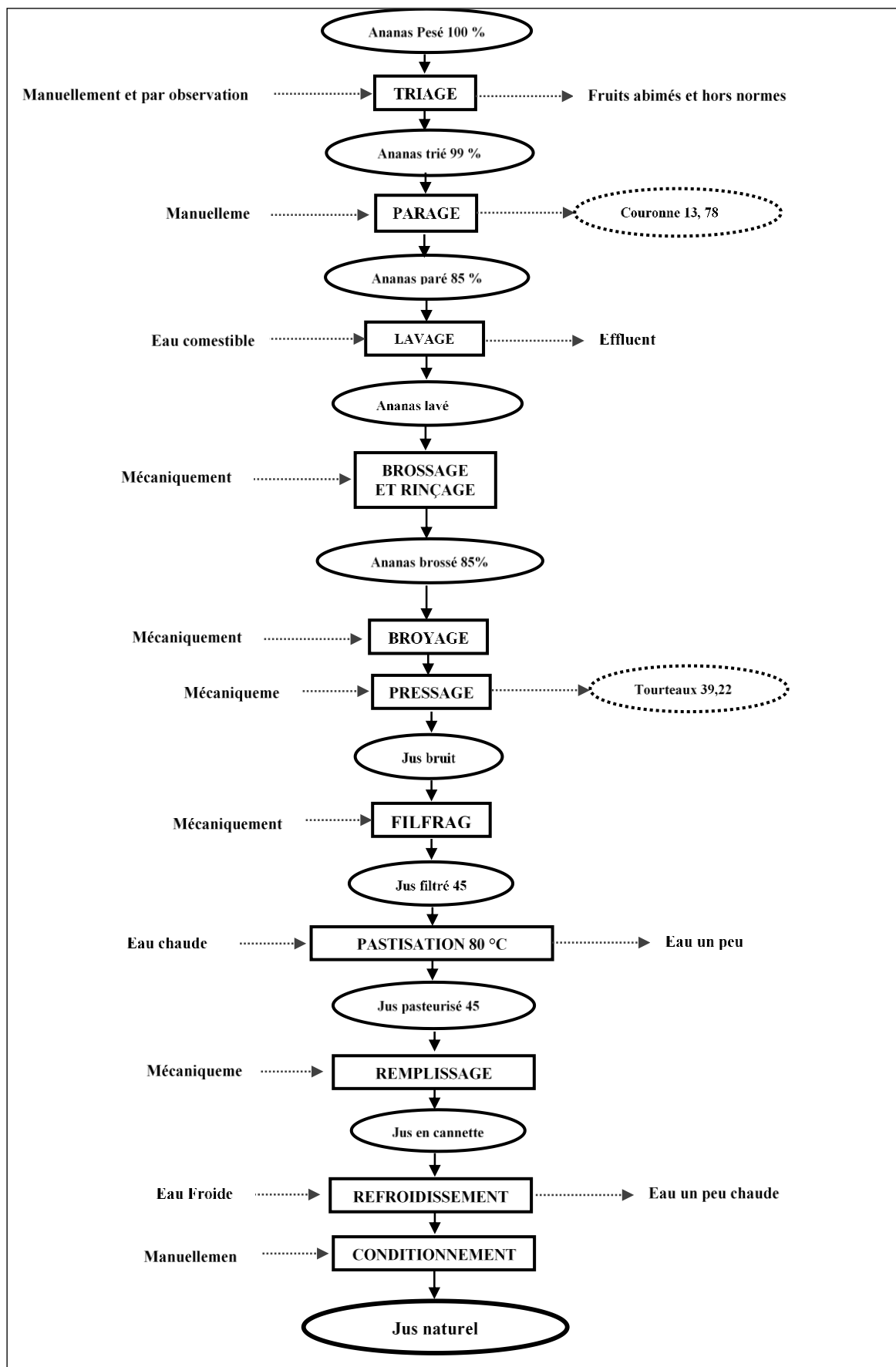


Fig. 1. Description des opérations séquentielles de production de jus naturel à Promo Fruit Benin

La filtration permet d'obtenir du jus brut qui est stocké dans un réservoir. La pasteurisation s'effectue dans un échangeur à plaque ou tubulaire à une température de 88 à 95°C pendant 10 à 12 sec. L'opération de sertissage permet la mise en cannette par une doseuse remplisseuse et une sertisseuse automatique du jus d'ananas pasteurisé. L'activité de transformation de l'ananas en jus génèrent d'importants volumes d'effluents qui contiennent des substances hautement létales et qui affectent la biodiversité, l'homme, les animaux, la faune et la flore, et affectent les paramètres physico-chimiques de l'eau et du sol. Roda et Lambi [10] ont rapporté que les déchets issus de la transformation de l'ananas peuvent avoir des conséquences néfastes sur l'homme. Pour Derek [11], la pollution olfactive peut déclencher une sensation désagréable qui pourrait avoir des réactions physiologiques et des fonctions olfactives indésirables. Il a ajouté que certaines des réactions indésirables associées à la pollution olfactive comprennent des difficultés à respirer et à dormir, la toux, la perte d'appétit, l'irritation des yeux, du nez et de la gorge, la perturbation de l'environnement extérieur, la gêne, etc. Du point de vue impact socio-économique, Izah et al. [12] ont opiné que l'odeur de l'usine de transformation de l'ananas pourrait aggraver ou dévaloriser la fierté de la communauté, en particulier dans les communautés avec un taux élevé de transformation de l'ananas, interférer avec les relations humaines conduisant à une gêne malsaine, décourager les investissements en capital conduisant à une croissance lente dans cette communauté en dehors de la transformation de l'ananas.

3 MATERIEL ET METHODES

3.1 CADRE D'ÉTUDE

Cette étude de faisabilité de la valorisation énergétique des déchets issus de la transformation de l'ananas en jus a été réalisée au sein de l'entreprise Promo Fruit Bénin spécialisée dans la production de jus d'ananas. Cette entreprise est située dans le sud du Bénin à 90 km de la capitale (Fig. 2).

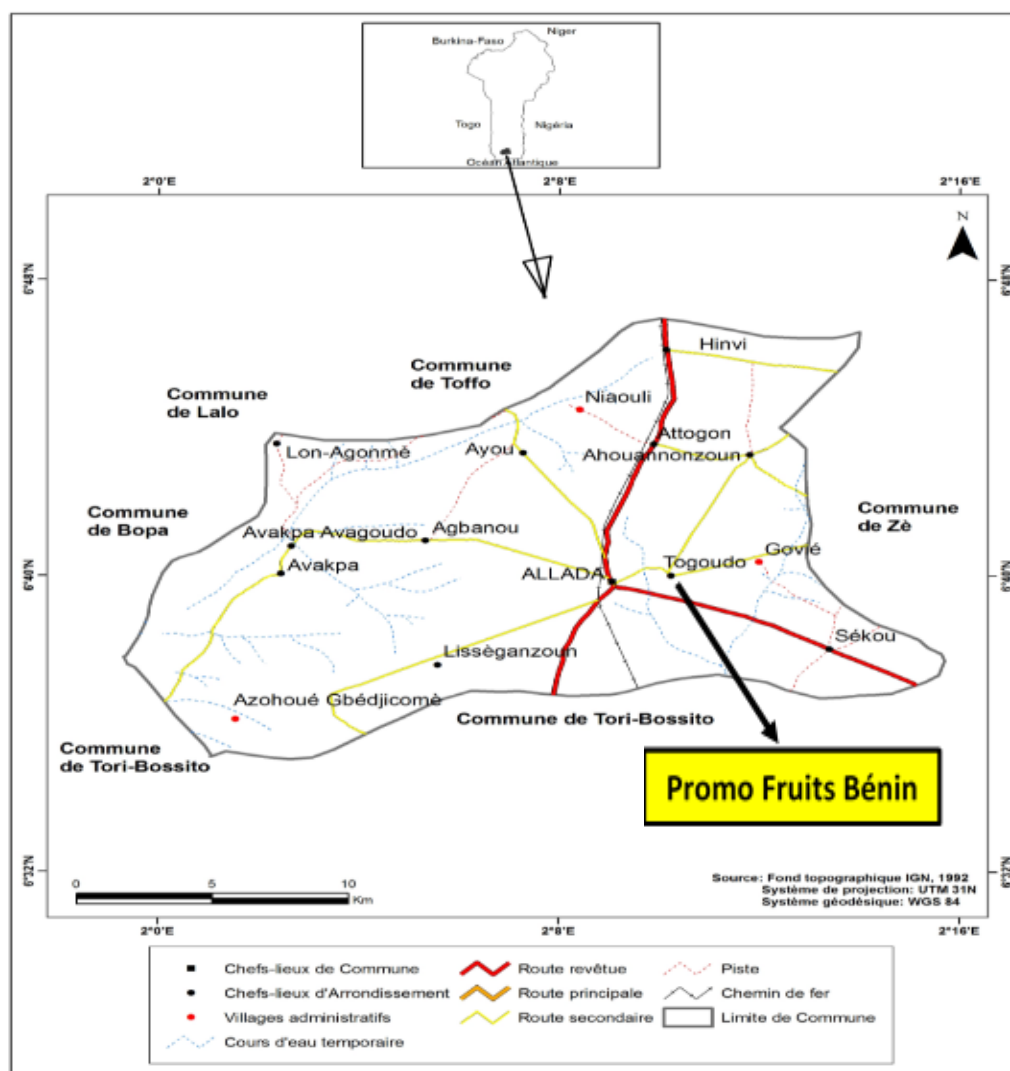


Fig. 2. Situation géographique de Promo Fruits Bénin

Le nombre d'employés de l'entreprise est 105 personnes et sa capacité de transformation annuelle est 21 900 tonnes d'ananas. Promo Fruits Bénin a été enregistrée au registre de commerce et bénéficie des agréments de la CEDEAO, de l'UEMOA et de DANA. Certifié HACCP en Janvier 2017 et ISO 22000 pour ses jus en cannette, elle met sur le marché actuellement (Fig. 3.) :

- Le jus de fruits en cannette et en Gable Top sans additifs chimiques ;
- Le nectar de fruits en cannette et en Gable Top ;
- La tranche d'ananas et d'autres fruits tropicaux en conserve ;
- Le concentré d'ananas et purée de mangue ;
- Jus en doypack de 150 ml ;
- Et la purée jus en poche aseptique de 200 l.



Jus de fruits en cannette

Nectar de fruits en cannette

Tranche d'ananas

Jus en poche aseptique

Fig. 3. Jus de fruits fabriqués par Promo Fruits Bénin

3.2 MATÉRIEL

Le matériel végétal utilisé dans le cadre de cette étude est constitué de déchets de couronne et de tourteaux d'ananas (Fig. 4) issus du parage et du pressage de l'ananas.



a-couronnes d'ananas

b-tourteaux d'ananas

Fig. 4. Déchets d'ananas au sein de Promo Fruits Bénin

Les études menées par Kumar et al. [13] ont révélé que les couronnes d'ananas ont en moyenne une teneur en humidité et en matière sèche qui s'élèvent respectivement à 83,4 % et 16,8 % en base humide. Le taux de matière volatile et la teneur en cendre en base sèche sont respectivement estimés à 94,9 % et 5,1 %. Quant à la composition centésimale des couronnes d'ananas, elles sont constituées de carbone, d'hydrogène, d'azote et d'oxygène dont les pourcentages sont respectivement 44,05 %, 5,81%, 0,87 % et 49,27 %. Le tableau 1 présente les caractéristiques physico-chimiques de la couronne d'ananas.

Tableau 1. Caractéristiques physico-chimiques de la couronne d'ananas [13]

Paramètre	Couronne d'ananas
Humidité H (%) ^h	83,4±1,8
Matière Sèche MS (%) ^h	16,8±1,8
Matière Volatile MV (%) ^s	94,9±0,6
A (% cendre) ^s	5,1±0,6
Sucre soluble totaux ^s	38,14±4,2
Hémicellulose (%) ^s	11,63±0,6
Cellulose (%) ^s	13,32±24
Lignine (%) ^s	15,03±0,6
Sucre réductible ^s	5,23±0,1
C	44,05
H	5,81
N	0,87
O	49,27
C/N	50,63

/ h : en base humide, s : en base sèche.

L'étude menée par Perraud [14] sur la fermentation en milieu solide de tourteaux d'ananas a relevé que la teneur en matière sèche, le pH et le rapport carbone-azote des tourteaux d'ananas sont respectivement 26 %, 5,6 % et 43,3% (Tableau 2).

Tableau 2. Caractéristiques physico-chimiques de tourteaux d'ananas [14]

Composition (en MS)	Tourteau d'ananas
MS	26 %
Cendres	2,8 %
Amidon	23,2 %
Cellulose	28,2 %
Hémicellulose	34,9 %
Lignine	2,2 %
PH	5,6
Sucres Totaux	4,8 %
C/N	43,3

3.3 MÉTHODES

3.3.1 ANALYSE DES BESOINS ÉNERGÉTIQUES

La méthode pour déterminer les besoins énergétiques consiste à évaluer la consommation en énergie et ensuite réaliser l'analyse fonctionnelle du besoin.

Méthode d'évaluation de la consommation énergétique

La méthode utilisée pour évaluer la consommation énergétique de l'entreprise Promo Fruits Bénin est basée sur la méthode de [15] consistant à :

- Inventorier toutes les sources d'énergie de l'entreprise
- Calculer l'énergie absorbée instantanée de chaque dispositif $W_i(t)$, et
- Calculer la somme des énergies consommées $W_T(t)$ par la formule :

$$W_T(t) = \sum_1^n W_i(t)$$

Avec n le nombre d'équipement au sein de l'entreprise.

Analyse Fonctionnelle du Besoin

L'Analyse Fonctionnelle du Besoin est un outil normalisé (NF X 50-150) constituant la référence en Génie Industriel. Elle permet d'exprimer les attentes en termes de Services rendus. La philosophie de l'Analyse Fonctionnelle de Besoin consiste à "Eviter toute première solution", c'est-à-dire ne pas avoir en tête une solution technique mais avoir un certain nombre de fonctions attendues par les utilisateurs, pour définir clairement ce que le produit attendu doit pouvoir répondre aux attentes des utilisateurs, notamment avec une mission prioritaire [16]. L'analyse fonctionnelle externe exprime le besoin sous forme de fonctions de service en raisonnant fonctions et non solutions. Ces fonctions mettent en évidence les relations entre le produit et son environnement [17]. Le cahier des charges fonctionnel présente cette modélisation du besoin sous la forme d'un ensemble de fonctions validées, caractérisées et hiérarchisées. Il représente également le document d'engagement d'un projet dont il constitue le "contrat" pendant toute la durée du projet. L'analyse fonctionnelle interne permet de représenter graphiquement l'enchaînement logique des fonctions techniques nécessaires à la réalisation de la fonction principale de l'analyse fonctionnelle externe. La fonction technique est une action interne au produit (entre ses constituants) définie par le concepteur, dans le cadre d'une solution, pour assurer les fonctions de service. Une fonction de service correspond à une chaîne de fonctions techniques. Le "Functional Analysis System Technic (FAST)" est un outil de définition des fonctions techniques.

Méthode d'évaluation du Potentiel de Biomasse

L'évaluation du potentiel de biomasse de l'entreprise Promo Fruits Bénin est basée sur une observation participante [18] de la transformation de l'ananas au sein de l'entreprise. Le potentiel de biomasse brute est la quantité totale de déchets résultant de la transformation de l'ananas en jus. Le potentiel de biomasse nette est la différence entre la quantité de biomasse brute et la quantité de déchets vendus par l'entreprise.

3.3.2 MÉTHODE DE DIMENSIONNEMENT DU BIODIGESTEUR

La méthode utilisée pour le dimensionnement du biodigesteur est basée sur la méthodologie de dimensionnement des digesteurs [19]. De nombreux paramètres déterminent ce dimensionnement. Il s'agit du volume, le taux de charge organique et la production volumique du digesteur.

Volume du digesteur

Le volume du digesteur est calculé à partir du volume de substrat apporté par jour multiplié par le temps de séjour théorique de celui-ci dans le digesteur. En référant aux travaux de Rousseau et al. [20], le temps de séjour des déchets est estimé à 20 jours. Aussi le vide qu'il faut laisser dans le digesteur pour favoriser la décomposition des déchets est intégré dans le calcul du volume de ce dernier. Ce vide représente environ 20 % du volume total du substrat pendant le temps de séjour de celui-ci. La formule suivante donne l'expression du volume du digesteur.

$$V_{\text{digesteur}} = V_{\text{substrat}} \times TRH + 0,2 V_{\text{substrat}} \times TRH$$

$$\text{Soit } V_{\text{digesteur}} = 1,2 V_{\text{substrat}} \times TRH$$

Avec V_{substrat} : le volume journalier du substrat (m^3/jour) et TRH : le temps de rétention hydraulique ou le temps de séjour du substrat dans le digesteur (jour).

Le digesteur est modélisé par une cuve de forme cylindrique et ayant à sa base inférieur une demi-sphère. L'expression du volume est aussi donc $V_{\text{digesteur}} = V_1 + V_2$ avec V_1 et V_2 les volumes respectifs de la partie cylindrique et de la partie hémisphérique. Les dimensions de la partie cylindrique du digesteur sont déterminées par la formule :

$$V_1 = \pi r^2 h$$

Avec r le rayon et h la hauteur de la partie cylindrique. Connaissant le volume de la partie cylindrique et en posant $h = 2r$, le rayon et la hauteur de la partie cylindrique du digesteur sont déterminés.

Les dimensions de la partie hémisphérique du digesteur sont déterminées en connaissant aussi le volume de la partie hémisphérique par la formule suivante :

$$V_2 = \frac{1}{3} \pi \times (r_1^2 + r_2^2 + r_1 \times r_2) \times H$$

Avec r_1 le rayon supérieur de l'hémisphère égal au rayon r du cylindre, r_2 et H respectivement le rayon inférieur et la hauteur de l'hémisphère. Le rayon r_2 étant la sortie du digestat sa dimension est fixé à 1,5 m.

Le taux de charge organique

Le taux de charge organique (TCO) est la quantité de matière organique apportée par unité de volume du digesteur et par jour [21]. Il s'exprime en kg de matière volatile par jour par mètre cube du digesteur. Ce taux d'alimentation est déterminé par l'expression suivante.

$$TCO = \frac{MV \times Q}{V_{\text{digesteur}}}$$

Avec MV : teneur en Matière Volatile du substrat (kgMV.m-3), Q : débit d'entrée (m3/jour).

La production volumique

C'est le volume de biogaz produit par unité de volume du digesteur [22]. La production volumique P_v est déterminée par la formule suivante :

$$P_v = \frac{M_{\text{biomasse}} \times P_{mt}}{V_{\text{digesteur}}}$$

Avec M_{biomasse} la masse des déchets d'ananas (en tonne) et P_{mt} la production de biogaz théorique par tonne de déchets ($m^3/tonne$).

3.3.3 MODÉLISATION NUMÉRIQUE DU DIGESTEUR

La modélisation numérique du digesteur est réalisée sur TopSolid, un logiciel de conception et fabrication assistées par ordinateur. A partir des informations sur le procédé, le digesteur dimensionné est modélisé puis le dossier de fabrication est élaboré par la suite.

3.3.4 ÉVALUATION DE L'ÉNERGIE RÉCUPÉRÉE DE LA MÉTHANISATION DU POTENTIEL NET DES DÉCHETS D'ANANAS

L'énergie récupérée de la méthanisation du potentiel net des déchets d'ananas est l'énergie contenue dans le biogaz. Les travaux de Amon et al. [23], ont relevé un rendement de biogaz de 0,55 m³/kg de matière volatile avec une teneur en méthane de 51 % de la méthanisation les déchets d'ananas frais. Le Pouvoir Calorifique Inférieure du méthane est 9,94 kWh/m³ [24]. L'expression suivant donne une estimation de cette énergie.

$$E_{CH_4} = 0,51 M_{\text{biomasse}} \times P_{\text{biomasse}} \times PCI_{CH_4}$$

Avec M_{biomasse} , la masse des déchets d'ananas en kg de matière volatile,

P_{biomasse} : le Potentiel méthanogène des déchets d'ananas et

PCI_{CH_4} , le Pouvoir Calorifique Inférieure du méthane.

Cette énergie du bio méthane est utilisé dans un groupe à biogaz à cogénération dont le rendement électrique et le rendement thermique sont respectivement 38 % et 40%. L'objectif est de produire de l'électricité et de la chaleur. La chaleur produite par le groupe de cogénération est utilisée par l'installation d'un échangeur de chaleur qui permettra l'échange de chaleur entre les fumées produites par le groupe et l'eau contenue dans la chaudière de l'entreprise. Pour son fonctionnement, l'unité de méthanisation consomme entre 30 % et 40 % l'électricité produite à partir du biogaz obtenu [25]. L'énergie thermique utilisée représente 20 % de l'énergie thermique produite également.

3.3.5 MÉTHODE D'ÉTUDE ÉCONOMIQUE

La méthode d'étude économique regroupe la détermination des critères de rentabilité définis [26]. Il s'agit de la Valeur Actuelle Nette du projet, du Délai de récupération du capital investi et le Taux de rendement interne

Valeur Actuelle Nette du projet

Avec la méthode fiscale, la Valeur Actuelle Nette du projet (VAN) est donnée par la formule suivante :

$$VAN = -I + \sum \text{recettes} \times (P/A, i\%, n) - \sum \text{Coûts} \times (P/A, i\%, n)$$

Avec, I : Coût initial,

Σ coûts : Somme des dépenses actualisées (frais de fonctionnement, de renouvellement, d'entretien et de maintenance) durant toute la durée de vie du projet,

Σ recettes : Somme des bénéfices réalisés sur la consommation électrique, du carburant,

n = Durée du projet,

P = valeur Présente d'un montant,

A = valeur actuelle d'un montant au cours de l'année n,

(P/A, i%, n) = coefficient de calcul de P sachant A au taux i sur n années.

Les coûts d'investissement I comprennent les dépenses effectuées lors de l'installation de l'unité de méthanisation, les frais de transport et d'installation des différents composants du système, ainsi que les coûts de génie civil associés. Les frais généraux couvrent les frais de réalisation, et de surveillance du chantier.

Les charges d'exploitation Σ coûts peuvent se diviser comme suit :

- Les frais de fonctionnement : Coût de rémunération des opérateurs ;
- Les frais d'entretien et de réparation : Coût d'intervention du personnel qualifié assurant la maintenance du système (main-d'œuvre et déplacement) et la réparation ;
- Les frais de renouvellement: Coût des composants à renouveler durant la durée de vie du système.

Les recettes prévues pour le fonctionnement de l'installation du système se basent sur la vente d'électricité nette, la vente de compost et la vente de l'énergie thermique produite par l'unité de méthanisation.

Le mode d'utilisation du critère de la VAN est la suivante:

Si la VAN > 0, le projet est rentable;

Si la VAN < 0, le projet est rejeté.

Délai de récupération du capital investi

Le Délai de récupération du capital investi (DRC) est le délai nécessaire pour que les recettes du projet équilibrent le montant des dépenses d'investissement.

$$DRC = \frac{\text{Montant des dépenses}}{\text{Recette par an}}$$

Taux de rendement interne

Le taux de rendement interne (TRI) est le taux pour lequel la valeur actuelle des revenus est égale au capital investi.

Si le TRI est supérieur au coût du capital de 10% ; le projet est retenu.

Si le TRI est inférieur à 10 %, le projet est rejeté.

3.3.6 MÉTHODE D'ÉTUDE ENVIRONNEMENTALE

La méthode développée par Smith et al. [27] permet d'estimer les émissions du méthane issu des déchets pendant une année. Ces émissions s'observent à trois niveaux : l'émission de méthane produit par décomposition anaérobie des déchets du dépotoir qui n'a pas oxydé; l'émission de la fraction de méthane produit par le dépotoir qui s'oxyde pour donner le CO₂ et l'émission par décomposition qui proviennent de la lente décomposition des déchets qui libère des substances carbonés (comme le CO₂) et azotés. Les équations utilisées pour réaliser les calculs des émissions est comme indiqué ci-dessous.

Emission du méthane du dépotoir $E_{m\text{éthane}}$

$$E_{m\text{éthane}} = [(MSWT \times MSWF \times L_0) - (MSWT \times MSWF \times L_0 \times R)] \times (1 - OX)$$

Avec, $E_{m\text{éthane}}$: Quantité de méthane émis pour l'année spécifique (Gg/an) ;

MSWT : quantité générée de déchets pour l'année spécifique (Gg/an)

MSWF : fraction de déchets déposée dans le dépotoir ;

L_0 : potentiel de production du méthane de la biomasse (Gg CH₄/Gg de déchet) ;

R : fraction captée du méthane (Gg/an) ;

OX : facteur d'oxydation ;

Gg : tonne métrique, compte tenu que les valeurs dans le rapport de caractérisation de déchets sont exprimées en kg.

Une tonne de méthane a une puissance de réchauffement équivalent à 25 tonnes de CO₂ [28].

Emissions du méthane oxydé M_{oxydE}

$$M_{oxydE} = [(MSWT \times MSWF \times L_0) - (MSWT \times MSWF \times L_0 \times R)] \times (OX)$$

M_{oxydE} : Emission de la fraction de méthane produit par le dépotoir qui s'oxyde pour donner le CO₂.

Emission du méthane par décomposition des déchets

$$CO_2 = (MSWT \times MSWF \times L_0)$$

Par ailleurs, l'émission du dioxyde de carbone du système de méthanisation est estimée suivant la quantité de dioxyde de carbone du biogaz des déchets d'ananas et suivant l'émission du dioxyde de carbone, produit du processus d'oxydation du biogaz. En effet, le biogaz est le résultat de la digestion anaérobie des matières organiques [29]. Il contient principalement du méthane et du dioxyde de carbone. Selon Jena et al. [30], le biogaz des déchets d'ananas contient environ 60 % de méthane et 35 % de dioxyde de carbone. Le méthane est utilisé dans notre cas d'étude dans un moteur à cogénération pour la production d'électricité et de vapeur. Les fumées issues de la combustion de ce dernier contiennent du dioxyde de carbone et d'autres gaz nuisible [31]. Selon Daelman et al. [32], la combustion d'une tonne de CH₄ produit 2,75 tonne CO₂.

La quantité de CO₂ évitée par la valorisation des déchets d'ananas est calculée par la formule suivante :

$$CO_2 \text{ Evité} = M_{oxydE} + E_{m\text{éthane}} + CO_2 - CO_2 \text{ Emis par le système de méthanisation}$$

Cette quantité évitée est la différence entre les émissions des déchets du dépotoir de l'entreprise lorsqu'ils ne sont pas valorisés et les émissions du système choisi pour la valorisation des déchets du dépotoir. Un crédit carbone associé à la quantité de CO₂ évitée est estimé par l'expression ci-dessus.

$$Coûts (FCFA) = 10 \text{ €} \times 656 \times Q_{CO_2 \text{ Evitée par an}} \times \text{Durée du projet}$$

4 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

4.1 ÉVALUATION DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE

Les résultats de la consommation énergétique et du coût afférent de l'entreprise sont présentés dans le Tableau 3 suivant.

Tableau 3. Consommation énergétique de l’entreprise et Coût

	Quantité utilisée par an (litres)	Energie consommée par an (MWh)	Coût par an (FCFA)
Electricité pour les équipements électriques	-	600	96 434 691
Gasoil pour l’alimentation de la chaudière	307 695	3 077	123 078 750

L’électricité et le gasoil sont les sources d’énergie utilisées par l’entreprise pour mener à bien ses activités. Concernant l’alimentation des équipements électriques, l’énergie absorbée par les équipements est évaluée à 600 MWh. En termes de dépenses, cela équivaut à 96 434 691 francs CFA. En ce qui concerne le combustible pour le fonctionnement de la chaudière, l’énergie absorbée par cette dernière est évaluée à 3 077 MWh. Les dépenses liées au fonctionnement de la chaudière s’élèvent à 123 078 750 francs CFA par an.

4.2 POTENTIEL DE BIOMASSE ÉVALUÉ PAR AN AU SEIN DE L’ENTREPRISE PROMO FRUITS BÉNIN

L’observation participante de l’activité de transformation de l’ananas en jus au sein de l’entreprise Promo Fruits Bénin, nous a permis de représenter le bilan massique du produit et des dérivés issus de la transformation de l’ananas dans la Fig. 5.

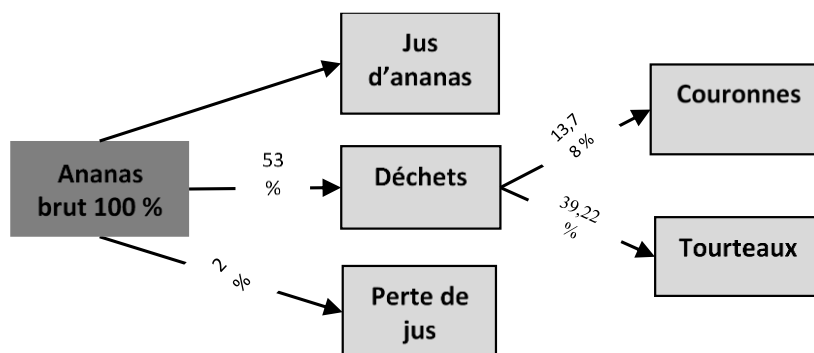


Fig. 5. Bilan massique du produit et des dérivés issus de la transformation de l’ananas

Comme le montre la Figure 5, les déchets issus de la transformation de l’ananas en jus, au sein de l’entreprise Promo Fruits Bénin représentent 53 % de la masse des fruits d’ananas. Ils sont constitués de couronnes (13,78% de la masse des fruits d’ananas) et de tourteaux (39,22%). Nunes et al. [33] et Tortoe et al. [34] ont rapporté des taux respectivement de l’ordre de 55 % et 50- 55 % de déchets produits à partir des fruits entiers d’ananas. Au Bénin comme dans de nombreux pays subsahariens, ces sous-produits sont rejetés dans l’écosystème sans traitement. Les quantités moyennes d’ananas transformées par l’entreprise par jour et par an sont respectivement 60 T et 21 900 T. En outre, les tourteaux d’ananas issus de cette transformation par jour et par an sont respectivement 23,53 T et 8 589,18 T. Concernant les couronnes d’ananas issues de la transformation de l’ananas en jus, les quantités par jour et par an sont respectivement 8,27 T et 3 017,82 T.

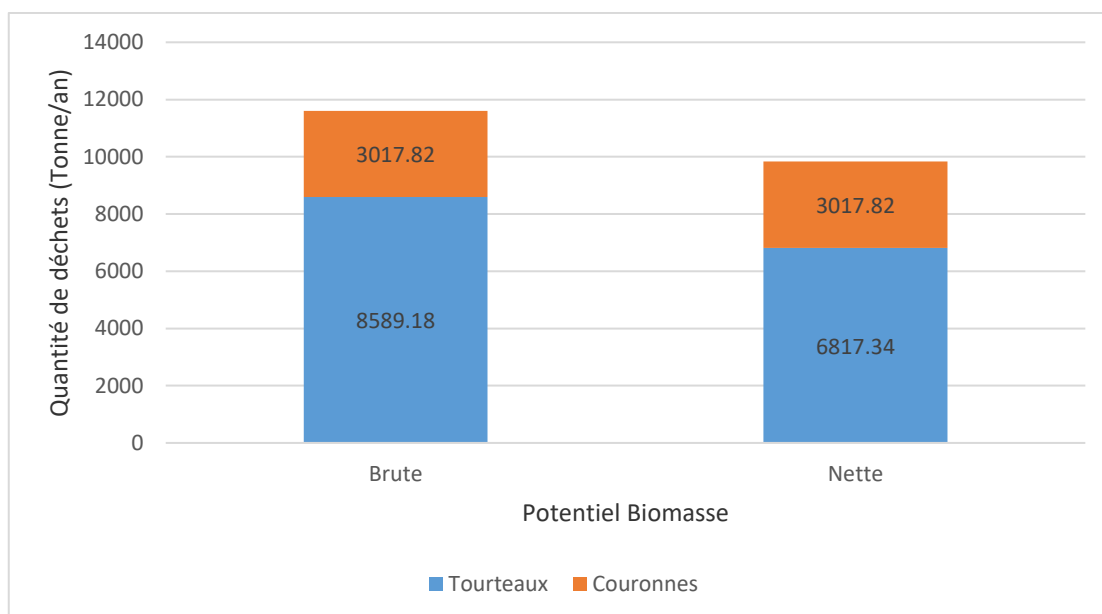


Fig. 6. Potentiel de Biomasse produit par an au sein de l'entreprise Promo Fruits Bénin

En se basant sur les déchets résultant de la transformation et sur la quantité de tourteaux vendus qui représente 20 % des tourteaux générés par l'entreprise, le potentiel de biomasse brut estimé s'élève à 11 607 T par an, dont 3 017,82 T de couronnes et 8 589,18 T de tourteaux. Le potentiel net, quant à lui, s'élève à 9 285,6 T par an dont 3 017,82 T de couronnes et 6 871,34 T de tourteaux.

4.3 POSSIBILITÉS ET ANALYSE DE VALORISATION ÉNERGÉTIQUE DES DÉCHETS D'ANANAS AU SEIN DE L'ENTREPRISE PROMO FRUITS BÉNIN

Possibilités de valorisation énergétique des déchets

Les facteurs qui influencent le choix du procédé sont : le type et la quantité de matière première de biomasse, la forme souhaitée de l'énergie, c'est-à-dire les exigences d'utilisation finale, les normes environnementales, les conditions économiques et les facteurs spécifiques au projet [35]. Les possibilités de valorisation énergétique des couronnes et tourteaux d'ananas sont présentées dans la Fig. 7.

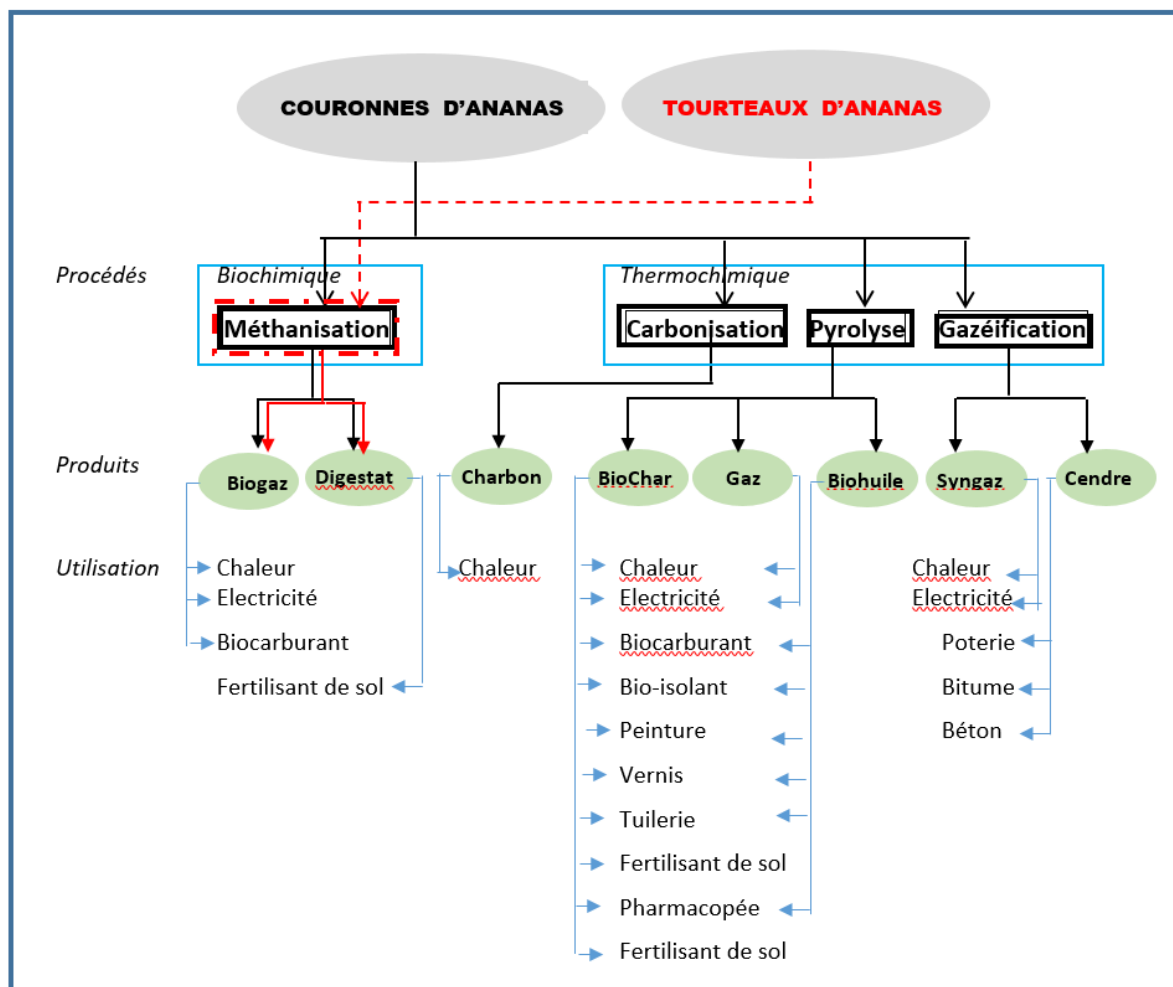


Fig. 7. Possibilités de valorisation énergétique des déchets d'ananas

Compte tenu du faible niveau technologique des pays subsahariens, deux principales voies sont utilisées pour la valorisation énergétique des déchets issus de la transformation de l'ananas : la voie biochimique et la voie thermochimique [36]. La voie thermochimique comprend plusieurs procédés basés sur le craquage des biomolécules sous l'effet de la chaleur [37]. Il s'agit de la carbonisation, la pyrolyse [38] et la gazéification [39]. La carbonisation des couronnes d'ananas donne du charbon [40] qui peut être utilisé pour la production de chaleur [41] ou d'électricité. La valorisation des couronnes par pyrolyse permet d'obtenir du gaz de pyrolyse utilisé comme chaleur ou Électricité, de l'Huile de Pyrolyse [42] utilisée comme huile de frein dans l'aéronautique [43], la peinture et le vernis [44], l'isolation électrique [45], les tuiles [46] et le biocarburant [47]. Le biochar est obtenu à partir de la pyrolyse des couronnes d'ananas. Le biochar est utilisé notamment pour la production de charbon actif, la combustion et la fertilisation des sols [48]. La gazéification [49] permet d'obtenir du syngaz utilisé comme chaleur, électricité et biocarburant et des cendres valorisables dans le béton hydraulique [50] et dans le béton bitumineux [51]. La voie biochimique consiste en des processus de digestion anaérobie. Les couronnes et les tourteaux d'ananas peuvent être valorisés par voie biochimique [52]. On y obtient du biogaz qui est utilisé comme chaleur, électricité ou biocarburant et du digestat utilisé comme engrais pour la régénération des sols et le bioéthanol utilisé comme carburant dans les moteurs à l'essence. La biodigestion des tourteaux ou des couronnes d'ananas permet d'obtenir du biogaz qui peut être utilisé comme chaleur, électricité ou biocarburant et du digestat qui est un très bon engrais pour les sols [53]. Pour Baidhe et al. [54] l'utilisation du biogaz pour l'éclairage et la pasteurisation pourrait améliorer les conditions de vie globale des acteurs de la transformation d'ananas et le digestat convient à un amendement organique du sol.

Analyse des possibilités de valorisation énergétique des déchets d'ananas

Au regard des possibilités de valorisation présentées ci-dessus, il apparaît que les couronnes d'ananas issus du parage d'ananas offrent plus de possibilités de valorisation que les tourteaux d'ananas. En effet, les tourteaux ne peuvent être valorisés que par le procédé de méthanisation ou de fermentation alcoolique alors qu'au sein de l'entreprise, les tourteaux d'ananas occupent eux seuls 74 % des déchets issus de la transformation de l'ananas. Dans ce cas, le procédé ayant la capacité de traitement des tourteaux est privilégié. Par ailleurs, l'entreprise Promo Fruits Bénin est créé par l'association des producteurs d'ananas de la région d'Allada (situé au Sud du Bénin) qui

fournissent la majorité de la matière première ananas pour la production du jus au sein de l'entreprise. La culture de l'ananas par les producteurs est fortement artificialisée par l'utilisation des engrais chimiques qui outre la pollution qu'ils engendrent [55], sont pour la grande majorité importés alors que les déchets issus de la transformation de l'ananas peuvent être valorisés par méthanisation pour donner non seulement du biogaz pour la production de l'électricité et de vapeur mais aussi du digestat utilisé comme fertilisant agricole [54]. Le digestat permet de réduire de moitié la fertilisation minérale sans baisser le rendement de la production [56]. Aussi il assure une bonne qualité des fruits, entretient la fertilité du sol et offre une couverture du sol entre les cycles d'ananas réduisant l'érosion, le travail du sol et les traitements herbicides avant plantation [57]. Le digestat est donc très profitable aux producteurs, membre de l'entreprise Promo fruits Bénin et un procédé permettant d'obtenir non seulement un produit utilisé pour la production de l'électricité mais de fertilisant agricole est souhaitable. Du point de vue des produits finaux, il semble que la méthanisation offre de possibilité de production du biogaz utilisé pour produire d'électricité et du digestat utilisé comme de fertilisant agricole. En résumé, la méthanisation semble être le procédé approprié pour la valorisation des couronnes et tourteaux d'ananas pour la production de l'électricité et de vapeur utilisable à l'entreprise Promo Fruits Bénin. Afin de retenir une technologie de valorisation prenant en compte non seulement les possibilités de valorisation énergétique des déchets d'ananas mais aussi les attentes des utilisateurs, les échanges avec ces derniers ont permis d'élaborer le cahier des charges fonctionnel du dispositif permettant de transformer les déchets d'ananas en énergie au sein de l'entreprise Promo Fruits Bénin.

Analyse de faisabilité technique

L'application envisagée pour le biogaz obtenu est la production d'énergie par combustion dans un moteur de cogénération. L'unité de méthanisation permet d'obtenir une production de CH₄ qui s'élève à 715 035 m³ par an. Cela correspond à une énergie de 7 106,55 MWh par an. Cette énergie est utilisée dans un moteur à cogénération qui fournit une énergie totale de 5 544,35 MWh/an dont 2 701 MWh/an d'énergie électrique (correspondant à 48,72 % de la production totale) et 2843,35 MWh/an d'énergie thermique (52,28 % de la production totale). La part de l'énergie consommé par l'unité de méthanisation s'élève à 1 663,3 MWh/an environ dont 801,3 MWh/an d'énergie électrique et 853 MWh/an d'énergie thermique. La production d'énergie par le procédé de méthanisation est évaluée par conséquent à 3 881,05 MWh/an dont 1890,7 MWh/an pour l'énergie électrique et 1990,35 MWh/an pour l'énergie thermique. Nous pouvons dire qu'une tonne de déchet produit environ 417,96 kWh d'énergie qui peut être directement utilisé par l'entreprise Promo Fruits Bénin. Le graphe suivant résume l'énergie qu'économisera Promo Fruits Bénin en valorisant énergétiquement ses déchets d'ananas.

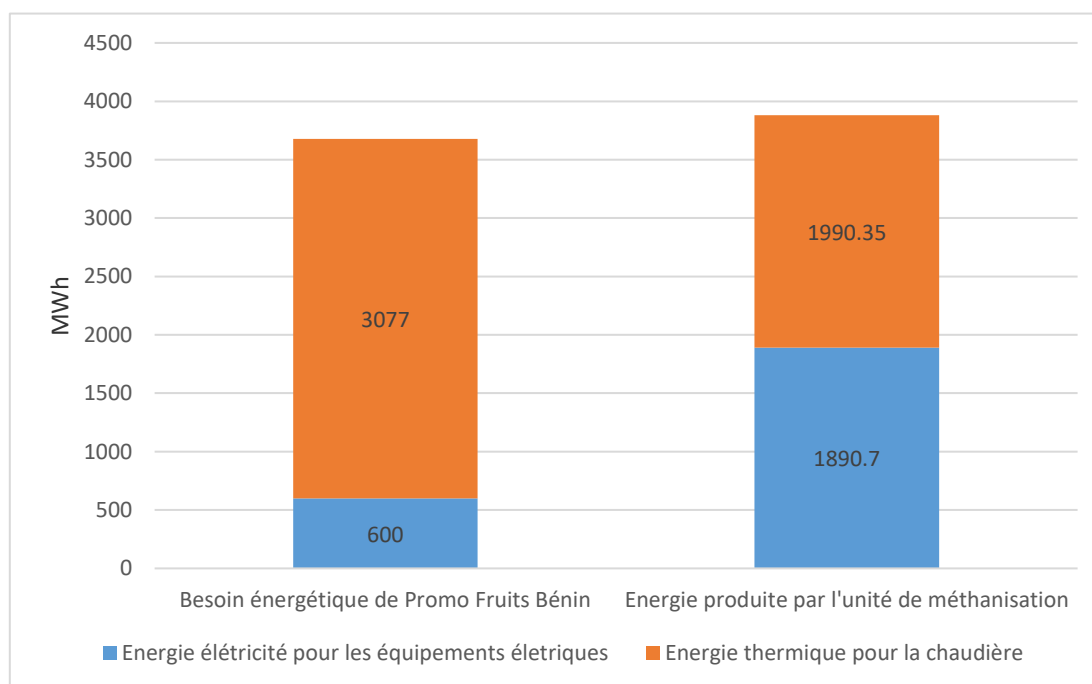


Fig. 8. Bénéfice énergétique du projet

A partir de ce graphique, on constate que la valorisation énergétique des déchets d'ananas au sein de l'entreprise permet de fournir toute l'énergie nécessaire pour l'alimentation des équipements électriques de transformation (600 MWh). Par ailleurs, cette valorisation permet de fournir 3 077 MWh (soit 35,32 % de l'énergie nécessaire) pour alimenter la chaudière à vapeur. En somme, le projet permettra de réduire à 0 kWh la consommation électrique annuelle de l'entreprise. Une énergie électrique annuelle estimée à 1 290 MWh représente l'énergie électrique résiduelle après la satisfaction de l'entreprise. En outre, il réduit à 64,68 % la consommation d'énergie thermique de Promo Fruits Bénin.

4.4 ANALYSE FONCTIONNELLE DU BESOIN DE L'ENTREPRISE PROMO FRUITS BÉNIN

L'analyse du besoin a révélé que les attentes de l'entreprise Promo Fruits Bénin sont satisfaites si le dispositif à innover permet de réduire la facture énergétique (électrique et gasoil), le gisement de déchets et les nuisances causées par ces déchets sur la santé et l'environnement. La Fig. 9 présente l'expression du besoin du dispositif de biométhanisation.

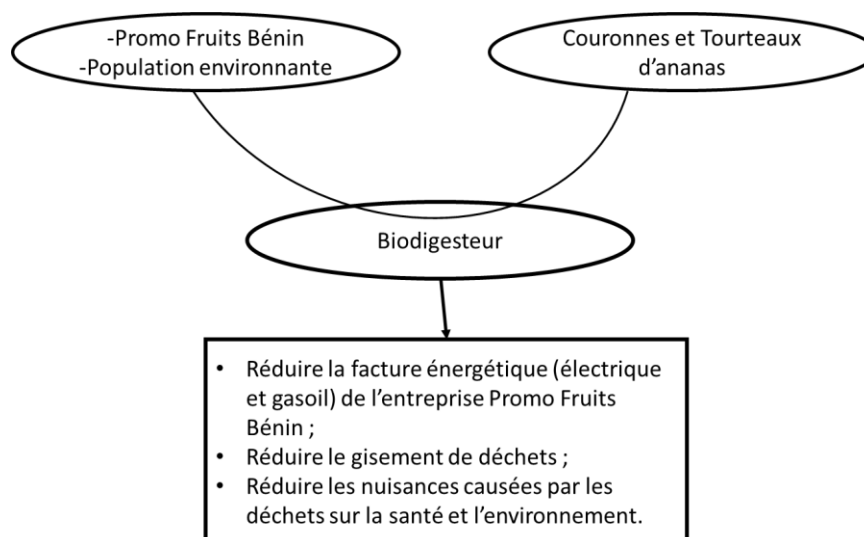


Fig. 9. Bénéfice énergétique du projet

Après la définition de l'expression du besoin, l'analyse des interactions à identifier huit (08) éléments du milieu environnant qui interagissent avec le futur équipement pendant la séquence d'utilisation : les couronnes et les tourteaux d'ananas, le biogaz, le digestat, les opérateurs, le fabricant, l'entreprise Promo Fruits Bénin, la maintenance et puis les normes (Fig. 10).

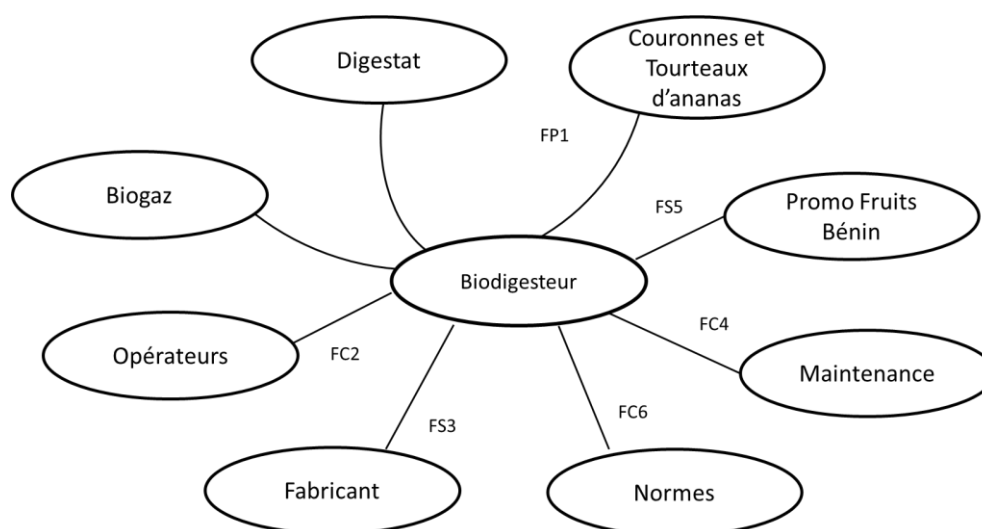


Fig. 10. Pieuvre fonctionnelle du dispositif

Le Cahier des Charges fonctionnel résumant les fonctions que doit assumer le dispositif, les critères d'appréciation des fonctions et leur niveau est présenté dans le Tableau 4. L'analyse fonctionnelle a défini six fonctions de service dont une principale (FP₁), trois contraintes (FC₂, FC₄ et FC₆) et deux secondaires (FS₃ et FS₅). Comme le soulignent les références Rivier [58] et Boroze [59], les équipements destinés à être utilisés dans les pays d'Afrique subsaharienne ont généralement une fonction de service car ce sont des équipements simples. Cette spécification fonctionnelle représente les caractéristiques du futur équipement.

Tableau 4. Cahier des Charges Fonctionnel

Fonctions de service	Critères	Niveaux
FP ₁ : Transformer les couronnes et les tourteaux d’ananas en biogaz et digestat	C ₁ : Température d’opération	50-55°C
	C ₂ : Mode de fonctionnement	Continu
	C ₃ : Taux d’humidité	75-80 %
	C ₄ : pH	6,5-8
	C ₅ : C/N	25-30
	C ₆ : Volume du gaz par jour	2000 m ³ /jour
	C ₇ : % CH ₄	>55%
FC ₂ : Etre manipulé par un opérateur local	C ₈ : Hauteur de la cuve d’alimentation par rapport au sol	1 m
	C ₉ : hauteur de la boite de commande de la pompe	1 m
FS ₃ : Etre reproduit par un fabricant local	C ₁₀ : Disponibilité de la technicité	Oui
	C ₁₁ : Disponibilité des matériaux	Oui
FC ₄ : Etre maintenu en bon état	C ₁₂ : Plan de maintenance	1 fois par mois
FS ₅ : Etre économiquement rentable	C ₁₃ : Coût d’investissement	< 3 milliards
	C ₁₄ : Coût d’opération	< 20 millions/an
	C ₁₅ : Bénéfice généré	> 1 milliard/an
FC ₆ : Etre respectueux des normes environnementales, sociales, ergonomies et agroalimentaires	C ₁₆ : Impact des effluents sur l’environnement	Faible
	C ₁₇ : Impact des effluents sur la santé	Néant
	C ₁₈ : Impact du biogaz sur la qualité du jus produit	Néant

Bloc diagramme fonctionnel du dispositif à concevoir

Le Bloc diagramme fonctionnel correspondant au dispositif à développer est présenté dans la Fig. 11. Dans cette figure, la première colonne (à gauche) correspond à la fonction de service principale définie dans les spécifications fonctionnelles. Le déploiement de la technique du système d’analyse autour de la fonction de service a permis d’identifier différentes fonctions techniques présentées dans la colonne du milieu. A l’issue de ce déploiement, les solutions techniques représentant les entités fonctionnelles du dispositif ont émergé. Il s’agit d’un réacteur, d’une tube d’admission, d’une tube sortie biogaz et puis d’une sortie digestat.

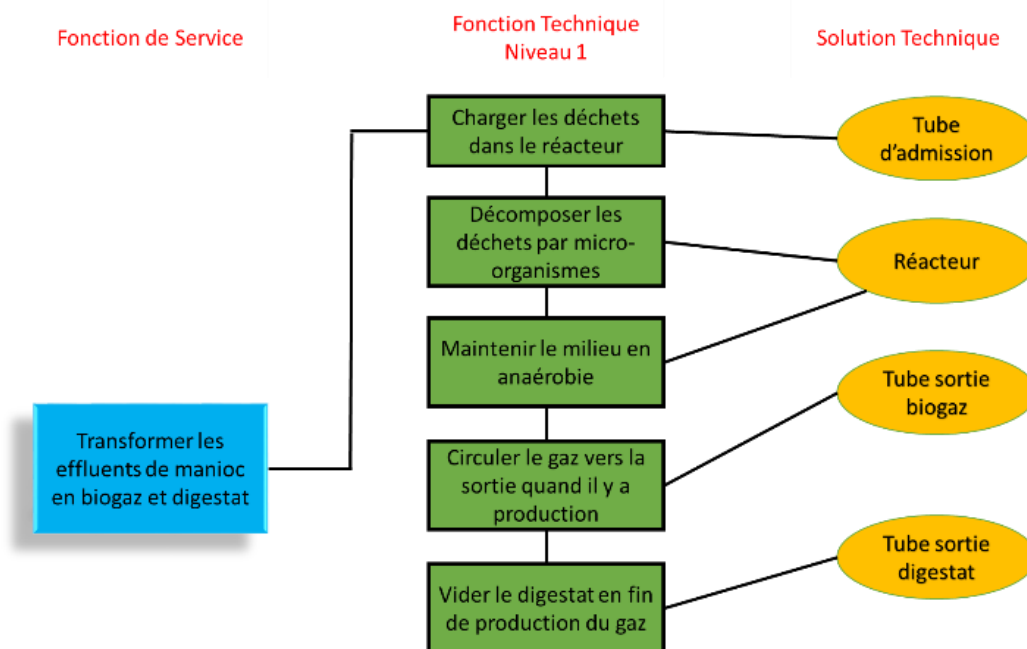


Fig. 11. Bloc diagramme fonctionnel du biodigesteur

Le model du biodigesteur présenté à la figure 11 est identique au modèle DRANCO continu sec. Les déchets d’ananas prétraités d’une taille inférieure à 40 mm sont mélangés à une grande quantité de résidus digérés provenant du digesteur. Une petite quantité de vapeur est

ajoutée au mélange afin d’augmenter la température à 50-55°C pour un fonctionnement thermophile. Le mélange préchauffé de matières organiques fraîches et de résidus digérés est ensuite pompé vers le haut du digesteur par un tube d’alimentation. Le temps de rétention moyen dans le digesteur est d’environ 20 jours avec un temps de passage tous les 2 à 4 jours. Le biogaz produit sort de la sortie biogaz vers le groupe à cogénération pour la production d’électricité et de chaleur.

4.5 DIMENSIONNEMENT DU DIGESTEUR

Le Tableau 5 présente les caractéristiques du biodigesteur et ses paramètres techniques.

Tableau 5. Dimension du digesteur et ses paramètres techniques

	Unité	Valeur
Volume Substrat par jour (1)	m ³	85,32
TRH (2)	Jour	20
Volume digesteur (3) = (1) / (2)	m ³	1706,4
Masse substrat (4)	tonne	35,62
Taux de charge par jour (5) = (4) / (3)	Kg.MO/ m ³	20,87
Production théorique par jour (6) = 100 (4)	m ³	3562
Production de biogaz par jour (7) = (6) / (3)	m ³ / m ³	2,09
Production Spécifique (8) = (6) / (4)	m ³ / Kg.MO	0,1
Masse biogaz par jour (9)	tonne	3,56
Rendement (10) = (9) / (4)	%	10
Volume digesteur utile (11) = 1,2 (3)	m	2050
Partie cylindrique		
Volume	m ³	2000
Rayon	m	6,8
Hauteur	m	13,7
Partie hémisphérique		
Volume	m ³	50
Rayon supérieur	m	6,8
Hauteur	m	1

Du Tableau 5, le volume du biodigesteur s’élève à 2 050 m³. Il est constitué de deux parties : la partie cylindrique et la partie hémisphérique. La partie cylindrique a un volume de 2 000 m³, un rayon de 6,8 m et une hauteur de 13,7 m. La partie hémisphérique quant à elle possède un volume de 50 m³, un rayon de 6,8 m et une hauteur de 1 m. Le Taux de charge est estimé 20,87 kg de matière organique par unité de volume du digesteur par jour. Quant à la production du biogaz, sa valeur est évaluée à 0,1 m³ de biogaz par kg de masse de matière organique.

4.6 DIGESTEUR CONÇU POUR LA VALORISATION ÉNERGÉTIQUE DES DÉCHETS D’ANANAS DE PROMO FRUIT

La Maquette numérique du digesteur conçu pour la valorisation énergétique des déchets d’ananas de Promo Fruit est présentée à la Fig. 12.

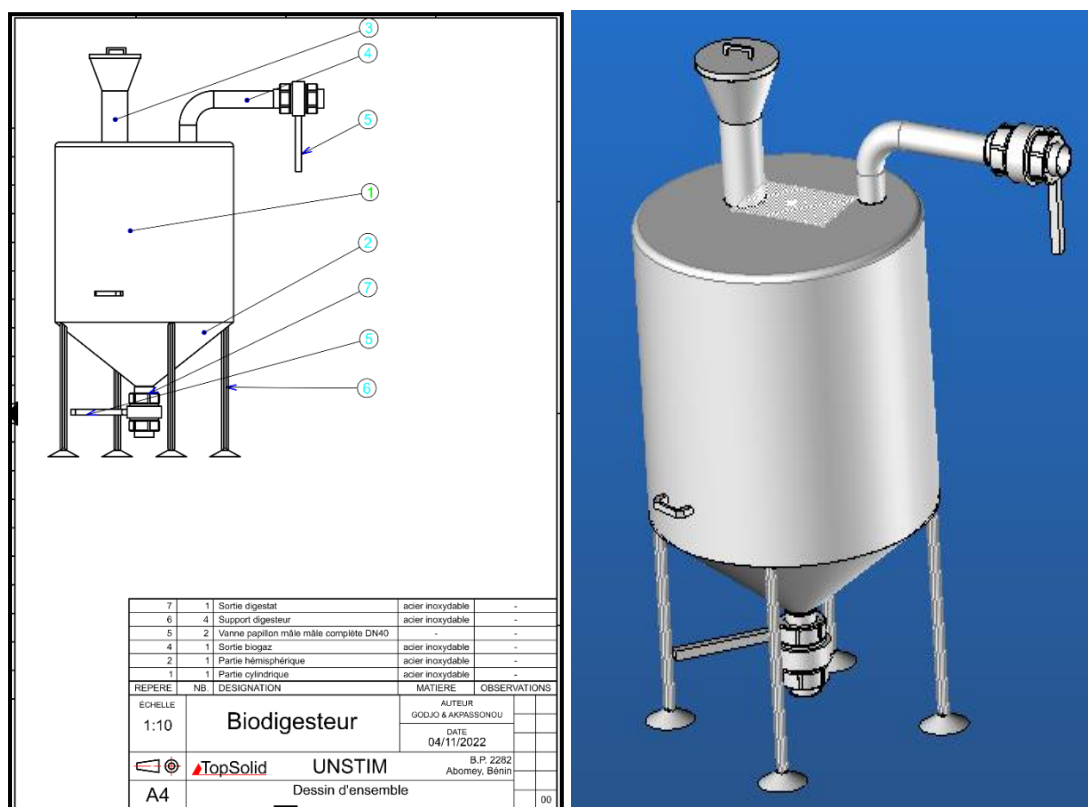


Fig. 12. Maquette numérique du digesteur

Le digesteur est une construction mécanosoudée constituée de :

- Un réacteur à l'intérieur duquel se produit la transformation biologique des déchets d'ananas: il s'agit d'une cuve de forme cylindrique de rayon 6,8 m et de hauteur 13,7 m et ayant à sa base inférieure une demi-sphère de rayon 6,8 m et de hauteur 1m.
- Un tube d'admission monté au-dessus du réacteur permettant l'admission des déchets d'ananas dans le réacteur. Le chargement du réacteur en déchets d'ananas se fait chaque jour.
- Une sortie biogaz et une sortie digestat assurant respectivement la sortie du biogaz et du digestat, produits de la transformation des déchets dans le réacteur. Deux vannes sont placées, une à la sortie biogaz et l'autre à la sortie digestat pour permettre le passage ou la fermeture de ces produits respectifs du digesteur.

4.7 ÉTUDE ÉCONOMIQUE

Les indicateurs économiques sont présentés dans le Tableau 6.

Tableau 6. Indicateurs économiques de l'étude

	Durée de la Période	Valeur Annuelle (FCFA/an)	Valeur Actualisée (FCFA)
I Investissement initial			2 101 196 208
II Coût d'exploitation actualisé sur 25 ans	25	19 385 128	88 456 935,84
III Recette actualisée sur 25 ans avant impôt	25	1 291 165 656	11 480 107 160
Amortissement linéaire		105 042 098,4	
Revenu imposable		1 189 207 040	
Impôts payés		392 438 322,4	
Recette après impôt		898 727 334,1	8 157 748 011
VAN			5 968 094 874
DRC			2,34 ans
TRI			38 %
TRE			37 %
IR			3,7

Comme le montre le Tableau 6, l'étude économique a relevé que le coût d'investissement initial s'élève à 2 101 196 208 FCFA. Le coût d'exploitation est estimé à une valeur de 19 385 128 FCFA par an. On en déduit que le coût de traitement d'une tonne de déchets est 3 147 FCFA par an. La valorisation permettra d'économiser un montant après impôt qui s'élève à 898 727 334,1 FCFA par an. La Durée de Récupération du Capital Investit est de 2,34 ans soit une durée environ de 2 ans 4 mois.

A partir des résultats obtenus, on peut conclure que le projet est rentable car l'économie actualisée générée après impôt qui s'élève à 8 157 748 011 FCFA pendant la durée de vie du projet dépasse l'investissement initial (2 101 196 208 FCFA) et le coût d'exploitation actualisé (88 456 935,84 FCFA) du projet. La Valeur Actuelle Nette s'élevant environ à 5 968 094 874 FCFA étant supérieure à zéro confirme la rentabilité du projet. Le taux de rendement interne et externe estimés respectivement à 38 % et à 37 % sont supérieurs au taux d'actualisation de 10%. Ces indicateurs économiques du projet prouvent que le projet est rentable et faisable économiquement.

4.8 ÉTUDE ENVIRONNEMENTALE

Le Tableau 7 présente les résultats de l'étude environnementale.

Tableau 7. Émission de méthane du dépotoir

	Unité	Valeur
Déchets produits	tonne/an	11607
Déposé dans le dépotoir	tonne/an	3017,82
L0	m ³ CH ₄ /tonne	74
R	-	0
OX	-	0,36
MSW _t	tonne/an	11607
MSW _F	tonne/an	0,8
Emission direct du dépotoir		
Emission CO ₂	tonne CO ₂	2386,83
Emission par l'oxydation du méthane		
Emission CO ₂	tonne CO ₂	147,69
Emission par la décomposition des déchets		
Emission CO ₂	tonne CO ₂	410,24
Emission par l'installation du système de méthanisation		
Emission CO ₂	tonne CO ₂	2472

La valorisation des déchets dans l'unité de méthanisation entraîne que moins de déchets organiques seront déposés sur le dépotoir, ainsi il y aura moins de déchets qui vont se décomposer pour produire des Gaz à l'Effet de Serre. Les résultats de l'étude environnementale (Tableau 8) montrent que la quantité de déchets générés (MSW_t) au sein de la coopérative s'élève à 11607 tonnes par an et que la quantité de déchets déposée dans le dépotoir après qu'une partie ait été vendue représente environ 0,8 % de la quantité de déchets générée. Ces quantités de déchets déposés sur le dépotoir engendrent des émissions de méthane dû au dépotoir lui-même, à l'oxydation du méthane produit par les déchets et à la décomposition des déchets, qui s'élèvent respectivement à 2386,83 tonne de CO₂ par an, 147,69 tonnes de CO₂ par an et 410,24 tonnes de CO₂ par an. Par ailleurs, l'unité de pyrogazéification produit une émission qui avoisine 2472 tonne de CO₂ par an. La quantité de CO₂ évitée par ce projet de méthanisation par année est de 25,19 tonne/an. Cette quantité de CO₂ évitée pourrait constituer un projet de Mécanisme de Développement Propre (MDP) et pourrait donc être un crédit carbone vendable sur le marché de Kyoto. Il coûterait : 1 637 522,264 FCFA, ce qui permettra un financement du projet de 3,7 % de l'investissement initial.

5 CONCLUSION

La présente étude a montré que les déchets, issus de la transformation de l'ananas en jus dans l'entreprise Promo Fruit Bénin, difficile à gérer sont valorisables en biogaz. L'énergie produite est évaluée à 3 881,05 MWh/an. Cette énergie permet de substituer les énergies fossiles utilisées pour le fonctionnement des équipements : 100 % pour l'électricité et 64,68 % pour la thermique. Ceci implique une réduction des factures énergétiques et des nuisances environnementales et de santé. Par ailleurs, l'étude a montré que le projet est économiquement rentable. Sur le plan environnement, une réduction des GES du dépotoir des nuisances générées par les déchets sur l'environnement a pu être observée. Ainsi une émission de 472,76 tonnes CO₂ est en moyenne évitée chaque année.

REFERENCES

- [1] Marignol A., Enjeux et contraintes socio-économiques de la valorisation des résidus post-récolte de l'ananas (*Ananas comosus*) pour les acteurs majeurs de la filière au Sud du Bénin, 2021.
- [2] S. K. Chogou, E. Gandonou & N. Fiogbe, "Mesure de l'efficacité technique des petits producteurs d'ananas au Bénin," *Cahiers Agricultures*, vol. 26, no. 2, p. 25004, 2017.
- [3] M. F. Hossain, "World pineapple production: An overview," *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, vol. 16, no. 4, pp. 11443-11456, 2016.
- [4] C. Adda, "Evaluation la performance de la productivité, de la transformation et de la commercialisation de l'ananas au Bénin," *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, pp. 310-321, 2021.
- [5] T. Godjo, A. Idani, R. Akpassonou, N. Ahonoukoun, "Feasibility study for energy recovery of peels resulting from cassava processing into gari: case of the Mawudagba cooperative in Benin," *International Journal of Advanced Research*, vol.10, no. 10, pp. 907-922, 2022. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/15560>
- [6] A. Valdés García, M. I. Domingo Martínez, M. Ponce Landete, M. S. Prats Moya, A. Beltrán Sanahuja, "Potential of Industrial Pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merrill) By-Products as Aromatic and Antioxidant Sources," *Antioxidants*, vol. 10, no. 11, p. 1767, 2021.
- [7] R. H. Jaro, M. A. A. Icalina, R. T. Talemporos, P. M. Napiñas, L. G Manuel, G. M. Cubio, R. O. Arazo, "Biogas production from waste pulps of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) via anaerobic digestion," *Energy, Ecology and Environment*, vol. 6, no. 3, pp. 204-212, 2021.
- [8] C. C. Tossou, D. E. Capo-Chichi, H. Yedomonhan, "Diversité et caractérisation morphologique des variétés d'ananas (*Ananas comosus* (L.) Merrill) cultivées au Bénin," *Journal of Applied Biosciences*, vol. 87, pp. 8113-8120, 2015.
- [9] A. D. Uchekukwu-Agua, O. J. Caleb, U. L. Opara, "Postharvest handling and storage of fresh cassava root and products: a review," *Food and Bioprocess Technology*, vol. 8, no. 4, pp.729-748, 2015.
- [10] A. Roda, M. Lambri, "Food uses of pineapple waste and by-products: a review," *International journal of food science & technology*, vol. 54, no. 4, pp. 1009-1017, 2019.
- [11] M.B. Derek, *Atmospheric Pollution - A Global Problem*, 2nd ed., Oxford, 1992.
- [12] S.C. Izah, S.E. Basse, E.I. Ohimain, "Impacts of Cassava Mill Effluents in Nigeria," *Journal of Plant and Animal Ecology*, vol. 1, no. 1, pp. 14-42, 2018.
- [13] M. Kumar, L. Upadrasta, R. Banerjee, "Biomethanation of pineapple wastes using potent anaerobic consortia substituting cow manure," *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, vol. 16, no. 11, 2017.
- [14] I. Perraud, *Etude de la fermentation en milieu solide du tourteau d'ananas*, Fort-de-France: ORSTOM, 94 p, 1994.
- [15] G. Zhao, C. Hou, J. Qiao, X. Cheng, "Energy consumption characteristics evaluation method in turning," *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 8, no. 11, pp.1-8, 2016. <https://doi.org/10.1177/1687814016680737>
- [16] T. Godjo, C. Marouzi, J. F. Boujut, F. Giroux, "Participatory design in developing countries: How to improve user integration in design process for small scale food processing? In: Tichkiewitch S. (Ed.), Tollenaere M. (Ed.)," *6th International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering*, May 17-19, 2006 Grenoble, France, 2006.
- [17] Yannou, B., *Analyse Fonctionnelle et Analyse de la Valeur, Conception de Produits Mécaniques : Méthodes, Modèles et Outils*, 1997. [Online] Available: https://www.researchgate.net/publication/228740139_Analyse_fonctionnelle_et_analyse_de_la_valeur (7 Novembre 2022)
- [18] J. Seim, "Participant Observation, Observant Participation, and Hybrid Ethnography" *Sociological Methods and Research*, 2021. <https://doi.org/10.1177/0049124120986209>
- [19] R. Girault, P. Rousseau, J.P. Steyer, N. Bernet, F. Béline, "Combination of batch experiments with continuous reactor data for ADM1 calibration: application to anaerobic digestion of pig slurry" *Water Science and Technology*, vol. 63, no. 11, pp. 2575- 2582, 2011.
- [20] P. Rousseau, J.-P. Steyer, E.I.P. Volcke, N. Bernet, F. Béline, "Combined anaerobic digestion and biological nitrogen removal for piggery wastewater treatment: A modelling approach," *Water Science and Technology*, vol. 58, no. 1, pp. 133-141, 2008.
- [21] Hanni, Z., Drissi, F., & TAHRI, A., *Optimisation de taux de charge organique moyenne pour La digestion anaérobie des déchets ménagers de la ville D'Adrar*, Doctoral dissertation, UNIVERSITE AHMED DRAIA-ADRAR, 2022.
- [22] T. Amon, B. Amon, V. Kryvoruchko, A. Machmüller, K. Hopfner-Sixt, V. Bodiroza, R. Hrbek, W. Zollitsch, "Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations," *Bioresource Technology*, vol. 98, no. 17, pp. 3204-3212, 2007.
- [23] D.S. Rani, K. Nand, "Ensilage of pineapple processing waste for methane generation," *Waste Management*, vol. 24, pp. 523-528, 2004.
- [24] F. Haloua, B. Hay, J. Filtz, "New French reference calorimeter for gas calorific value measurements," *Journal of thermal analysis and calorimetry*, vol. 97, no. 2, pp. 673-678, 2009.
- [25] L. De Baere, *The DRANCO technology: a unique digestion technology for solid organic waste*, In OWS. Publications, 2009. [En ligne]. http://www.ows.be/pub/The_Dranco_technology_2009_ms_22038.pdf
- [26] Fellah, M., & Hamdane, D., *Le financement d'un projet d'investissement par une banque Cas de la BADR, Agence 015 Tizi-Ouzou*, Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri, 2021.

- [27] J. B. Smith, S. H. Schneider, M. Oppenheimer, G. W. Yohe, W. Hare, M. D. Mastrandrea... & J. P. van Ypersele, "Assessing dangerous climate change through an update of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) reasons for concern," *Proceedings of the national Academy of Sciences*, vol. 106, no. 11, pp. 4133-4137, 2009.
- [28] A. Quinet, J. Bueb, B. Le Hir, B. Mesqui, A. Pommeret, M. Combaud, "La valeur de l'action pour le climat," *France stratégie*, pp. 3624-48, 2019.
- [29] Hess, J., *Modélisation de la qualité du biogaz produit par un fermenteur méthanogène et stratégie de régulation en vue de sa valorisation*, Doctoral dissertation, Université Nice Sophia Antipolis, 2007.
- [30] S. P. Jena, S. Mishra, S. K. Acharya, S. K. Mishra, "An experimental approach to produce biogas from semi dried banana leaves," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, pp. 173-178, 2017.
- [31] B. Palm, "Hydrocarbons as refrigerants in small heat pump and refrigeration systems—a review," *International journal of refrigeration*, vol. 31, no. 4, pp. 552-563, 2008.
- [32] M. R. Daelman, E. M. van Voorthuizen, U. G. van Dongen, E. I. Volcke, M. C. van Loosdrecht, "Seasonal and diurnal variability of N₂O emissions from a full-scale municipal wastewater treatment plant," *Science of the Total Environment*, vol. 536, pp. 1-11, 2015.
- [33] M.C.N. Nunes, J.P. Emond, M. Rauth, S. DEA, K.V. Chau, "Environmental conditions encountered during typical consumer retail display affect fruit and vegetable quality and waste," *Postharvest Biology and Tech*, pp. 232-241, 2009.
- [34] C. Tortoe, T.P-N. Johnson, T. Slaghek, M. Miedema, T. Timmermans, "Physicochemical, Proximate and Sensory Properties of Pineapple (Ananas sp.) Syrup Developed from Its Organic Side-Stream," *Food and Nutrition Sciences*, pp. 163-168, 2013.
- [35] P. McKendry, "Energy production from biomass (part 2): conversion technologies," *Bioresource technology*, vol. 83, no. 1, pp. 47-54, 2002.
- [36] R. M. Braga, T. S. Queiroga, G. Q. Calixto, H. N. Almeida, D. M. A. Melo, M. A. F. Melo,... & F. D. S. Curbelo, "The energetic characterization of pineapple crown leaves," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 22, no. 23, pp.18987-18993, 2015.
- [37] C. Couhert, J. M. Commandre, S. Salvador, "Is it possible to predict gas yields of any biomass after rapid pyrolysis at high temperature from its composition in cellulose, hemicellulose and lignin?," *Fuel*, vol. 88, no. 3, 2009.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2008.09.019>
- [38] T. Godjo, J.-P. Tagutchou, P. Naquin, R. Gourdon. "Valorisation des coques d'anacarde par pyrolyse au Bénin," *Déchets, Sciences et Techniques*, 2015.
<https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.3282>
- [39] A. K. Rajvanshi, "Biomass gasification," *Alternative Energy in Agriculture*, vol. II, no. 4, pp. 1–21, 2014.
- [40] A. W. I. T. D. R. U. S. Awitdrus, M. S. D. Putri, R. F. Syahputra, I. Iwantono, S. Saktioto, "Activated Carbon Based on Pineapple Crown for Heavy Metal Adsorption," *Advanced Materials Research*, vol. 1162, pp. 57-64, 2021.
- [41] C. Y. Liao, Y. J. Guan, M. Bustamante-Román, "Techno-Economic Analysis and Life Cycle Assessment of Pineapple Leaves Utilization in Costa Rica" *Energies*, vol. 15, no. 16, p. 5784, 2022.
- [42] W. T. Vieira, M. D. Bispo, S. de Melo Farias, A. D. S. V. de Almeida, T. L. da Silva, M. G. A. Vieira, ... & T. L. Balliano, "Activated carbon from macauba endocarp (*Acrocomia aculeate*) for removal of atrazine: experimental and theoretical investigation using descriptors based on DFT," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 9, no. 2, p. 105155, 2021.
- [43] Ü. Ağbulut, M. K. Yeşilyurt, S. Sarıdemir, "Wastes to energy: Improving the poor properties of waste tire pyrolysis oil with waste cooking oil methyl ester and waste fusel alcohol – A detailed assessment on the combustion, emission, and performance characteristics of a CI engine," *Energy*, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.119942>
- [44] N. Guilhaume, W. de Rezende Locatel, D. Laurenti, Y. Schuurman. "Can paints and varnish impair the physicochemical properties of wood pyrolysis oils?," *Energy and Fuels*, 2021.
<https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.1c02568>
- [45] Z. An-Xin, T. Xiao-Jun, Z. Zhong-Hua, L. Jun-Hua, "The pyrolytic experiment and thermal dynamics analysis of insulating oil," *Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena*, 2013.
<https://doi.org/10.1109/CEIDP.2013.6748327>
- [46] G. Jungmeier, "The Biorefinery Fact Sheet," *The International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 23, no. 1, 2017.
- [47] P. O. Okekunle, O. E. Itabiyi, S. O. Adetola, I. O. Alayande, H. O. Ogundiran, K. G. Odeh, "Biofuel production by pyrolysis of cassava peel in a fixed bed reactor," *International Journal of Energy for a Clean Environment*, 2016.
<https://doi.org/10.1615/InterJEnerCleanEnv.2017018176>
- [48] T. Co, T. Preta, T. Preta, C. The, T. Preta, C. Technique, R. A. Leng, T. R. Preston, S. Inthapanya, H. Urine, D. T. T. Van, N. T. Mui, I. Ledin, H. R. Kutlu, I. Ünsal, M. Görgülü, , S. Inthapanya, J. R. Kana, A. Gerlach, , ... A. Feed, "The use of biochar in cattle farming The effect of activated carbon and biochar in feeding Activated carbon = biochar ?," *Animal Feed Science and Technology*, vol. 24, no. 11, 2012.
- [49] N. J. M. Okoro, U. M. Ikegwu, K. G. Harding, M. O. Daramola, "Evaluation of Fuel Quality of Invasive Alien Plants and Tropical Hardwoods as Potential Feedstock Materials for Pyro-Gasification," *Waste and Biomass Valorization*, vol. 13, no. 2, pp. 1293-1310, 2022.
- [50] A. Anagonou, T. Godjo, V. Songmene, Y. Tankpinou, "Étude des propriétés physico-mécaniques d'un béton hydraulique contenant des cendres de coques d'anacarde de tailles micrométriques et nanométriques substituant partiellement le ciment," *Déchets, Sciences et Techniques*, 2020.

<https://doi.org/10.4267/dechets-sciences-techniques.4284e>

- [51] A. Anagonou, V. Songmene, T. Godjo, J. Kouam, "Recycling Of West African Cashew Nut Shells Waste In Asphalt Concrete: Impact On The Physico-Mechanical Properties Of Asphalt Concrete," *International Journal of Advanced Research and Publications*, vol. 4, no. 2, pp. 96–106, 2020.
- [52] A. F. Aili Hamzah, M. H. Hamzah, H. Che Man, N. S. Jamali, S. I. Siajam, M. H. Ismail, "Recent updates on the conversion of pineapple waste (*Ananas comosus*) to value-added products, future perspectives and challenges," *Agronomy*, vol. 11, no. 11, p. 2221, 2021.
- [53] S. Banerjee, V. Ranganathan, A. Patti, A. Arora, "Valorisation of pineapple wastes for food and therapeutic applications," *Trends in food science & technology*, vol. 82, pp. 60-70, 2018.
- [54] E. Baidhe, J. Kigozi, I. Mukisa, C. Muyanja L. Namubiru, B. Kitarikawe, "Unearthing the potential of solid waste generated along the pineapple drying process line in Uganda: A review" *Environmental Challenges*, 2021.
- [55] D. Souguir, G. Hörmann, M. Hachicha, "Évaluation de la qualité des eaux de la nappe de Téboulba: risque de contamination des sols agricoles," *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, vol. 32, no. 2, pp. 195-204, 2019.
- [56] Pouech, P., Coudure, R., & Marcato, C., Intérêt de la codigestion pour la valorisation des lisiers et le traitement de déchets fermentescibles a l'échelle d'un territoire, *JOURNEES DE LA RECHERCHE PORCINE EN FRANCE*, 2005.
- [57] A. Tallou, F. Aziz, A. J. Garcia, F. P. Salcedo, F. E. El Minaoui, S. Amir, "Bio-fertilizers issued from anaerobic digestion for growing tomatoes under irrigation by treated wastewater: Targeting circular economy concept," *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 19, no. 4, pp. 2379-2388, 2022.
- [58] Rivier, M., Analyse et optimisation multicritères d'un procédé de transfert thermique et de séchage pour une application en Afrique de l'Ouest, Doctoral dissertation, Montpellier SupAgro, 2017.
- [59] Boroze, T. T. E., Outil d'aide à la conception de séchoirs pour les produits agricoles tropicaux, Doctoral dissertation, Université de Lomé, 2011.

Le risque fiscal lié aux opérations de fusion: Cas du Maroc

[Tax risk related to merger operations: Case of Morocco]

El Mehdi Ajjig, Nouha El Abdelaoui, and Kaoutar El Menzhi

Département des sciences économiques et de gestion, Faculté des Sciences Juridiques, Economiques et Sociales-Souissi,
Université Mohammed V, Rabat, 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: With the signing of several bilateral and regional free trade agreements, Morocco has moved towards an economy that advocate international openness and market liberalization. It had to develop a strategy to help local businesses, made up mainly of small and medium-sized enterprises, to face international competition. It is in this logic that the Moroccan legislator has introduced measures into the general tax code with the aim of encouraging concentration and restructuring operations of companies in order to enable them to increase their performance and their competitiveness in the face of international competition. Indeed, these concentration and restructuring operations, called mergers, involve tax risks. This article aims to provide a clarification of the concept of tax risk, to present the forms of mergers proposed by Moroccan legislation and to shed light on the tax risk that these operations may entail.

KEYWORDS: Free exchange, International competition, Tax risk, Merger, Tax compliance, Tax benefit, Tax expenditure.

RESUME: Avec la signature de plusieurs conventions de libre échange bilatérales et régionales, le Maroc s'est orienté vers une économie qui prône l'ouverture à l'international et la libéralisation des marchés. Il se devait d'élaborer une stratégie pour aider les entreprises locales, composées majoritairement de petites et moyennes entreprises, à faire face à la concurrence internationale. C'est dans cette logique que le législateur marocain a introduit au Code Général des Impôts des mesures avec pour objectif d'encourager les opérations de concentration et de restructuration des entreprises afin de leurs permettre d'augmenter leur performance et leur compétitivité face à la concurrence internationale. En effet, ces opérations de concentration et de restructuration, appelées fusions, comportent des risques fiscaux. Cet article a pour objectif d'apporter une clarification du concept du risque fiscal, présenter les formes de fusions proposées par la législation marocaine et de mettre la lumière sur le risque fiscal que peut comporter ces opérations.

MOTS-CLEFS: Libre échange, Concurrence internationale, Risque fiscal, Fusion, Conformité fiscale, Avantage fiscal, Dépense fiscale.

1 INTRODUCTION

Depuis une décennie, le Maroc s'est engagé dans un processus d'ouverture et de libéralisation en signant des conventions de libre échange bilatérales et régionales. Ayant un tissu économique composé majoritairement de petites et moyennes entreprises, il a fallu développer une stratégie qui aidera les entreprises marocaines à faire face à la concurrence internationale.

Dans cette optique, des dispositions du Code Général des Impôts ont été introduites encourageant les opérations de concentration et de restructuration des entreprises, en répondant à une stratégie globale d'augmentation de la performance et la compétitivité des entreprises marocaines face à la concurrence internationale. Ces opérations de concentration et de restructuration, appelées fusions, comportent des risques fiscaux. Dans cet article, nous allons, dans un premier temps,

présenter la notion du risque fiscal. Ensuite, on détaillera les opérations de fusion prévues par la législation marocaine ainsi que les risques fiscaux y afférents.

2 NOTION DU RISQUE FISCAL

Compte tenu de l'absence d'une définition qui englobe tous les aspects du risque fiscal, il convient, tout d'abord, d'expliquer l'intérêt porté au risque fiscal, ses sources, ses caractéristiques, et ses types pour pouvoir produire à la fin une définition précise et complète [1].

2.1 L'INTÉRÊT POUR LE RISQUE FISCAL ET SES SOURCES

Selon l'article publié par l'association des Comptables Professionnels Agréés (CPA) au Canada (2013), six macros tendances principales expliquent l'intérêt accordé au risque fiscal: la mondialisation, les pressions concernant l'information financière, la concurrence fiscale mondiale, les pressions médiatiques et les atteintes à la réputation, les pressions quant à la conformité fiscale et les réactions des fonctions « fiscalité » dans le monde.

2.1.1 LA MONDIALISATION

L'expansion des entreprises sur des marchés où les régimes fiscaux et les administrations fiscales sont encore en voie de maturation crée souvent des risques nouveaux et accroît l'incertitude. Dans certains pays, la gestion de la conformité et de la controverse dépendra des liens avec les organismes de réglementation locaux. La délocalisation des compétences comptables crée aussi des tensions qui contribuent à accroître le risque fiscal.

2.1.2 LES PRESSIONS CONCERNANT L'INFORMATION FINANCIÈRE

La loi Sarbanes-Oxley (SOX), adoptée en 2002, oblige les hauts dirigeants à certifier individuellement l'exactitude de l'information financière. Elle impose des pénalités plus lourdes en cas d'activités financières frauduleuses et vise à accroître l'indépendance des auditeurs externes et le rôle de surveillance du conseil d'administration. Des règles semblables, adoptées au Royaume-Uni en 2009, obligent les administrateurs nommés à certifier annuellement la présence de mécanismes adéquats de comptabilisation de l'impôt.

Le Financial Accounting Standards Board des États-Unis (FASB) a alors publié la FIN48, qui oblige les entreprises à ne constater que les positions fiscales dont il est plus probable qu'elles produisent un avantage aux fins de la comptabilisation de l'impôt.

2.1.3 LA CONCURRENCE FISCALE MONDIALE

Partout dans le monde, les gouvernements ont d'abord réagi au ralentissement économique par des programmes de relance budgétaire, puis par des mesures d'austérité pour contrer les déficits et réduire la dette publique. Alors que ces programmes prévoyaient parfois des hausses d'impôt, de nombreux gouvernements ont continué d'axer leurs efforts sur la relance budgétaire et le maintien ou l'accentuation du caractère concurrentiel de leur administration en ce qui concerne l'impôt des sociétés. Mais la perception d'une érosion de l'assiette de l'impôt des sociétés et du déplacement des bénéfices vers des pays à faible imposition inquiète de nombreux pays membres de l'OCDE.

2.1.4 LES PRESSIONS MÉDIATIQUES ET LES ATTEINTES À LA RÉPUTATION

Un problème d'impôt qui fait la manchette peut s'avérer coûteux et créer de fortes tensions pour la haute direction. Mentionnons, à titre d'exemples, la publication d'articles au sujet de Facebook et Starbucks dans le Guardian et la parution, dans le New York Times, d'un article sur les stratégies d'évitement fiscal de GE puis enfin, dans Bloomberg, d'un article sur Google, Pfizer, Lilly, Oracle, Facebook et Microsoft qui ont profité de paradis fiscaux à l'étranger.

2.1.5 LES PRESSIONS QUANT À LA CONFORMITÉ FISCALE

La collaboration internationale des autorités fiscales a contribué à accroître le risque fiscal de nombreuses façons au cours des dernières années: En 2009, les leaders du G20 au sommet de Londres se sont engagés à prendre des mesures contre les paradis fiscaux dans le cadre d'une série d'initiatives en réaction à la crise financière. Après en 2010, le Forum de l'OCDE sur

l'administration fiscale publiait le communiqué d'Istanbul sur le contrôle conjoint, par les autorités fiscales concernées, des entreprises ou des particuliers possédant des intérêts dans plusieurs pays. Enfin en 2011, l'OCDE annonçait l'ouverture de la Convention concernant l'assistance administrative mutuelle en matière fiscale à tous les pays, afin d'épauler les gouvernements dans l'application de leurs lois fiscales par la création d'un cadre international de coopération visant à faire face à l'évasion fiscale à l'échelle mondiale.

2.1.6 LES RÉACTIONS DES FONCTIONS « FISCALITÉ » DANS LE MONDE

Partout dans le monde, la plupart des fonctions "fiscalité" ont eu à répondre à des demandes croissantes et bon nombre d'entre elles reconnaissent qu'elles ont encore beaucoup à faire. Cette situation a favorisé l'émergence de plusieurs pratiques de pointe.

Selon Rossignol (2002) [2], le risque fiscal trouve son origine de trois sources:

Les lois et la réglementation fiscale: Les incertitudes et les zones de risques proviennent en premier lieu de l'environnement externe et plus précisément des lois et réglementations fiscales. La complexité des textes fiscaux et le manque de transparence et de clarté peuvent causer des irrégularités fiscales. D'après l'étude de l'OCDE (2004) [3] sur la gestion du risque d'indiscipline fiscale, « *une législation très complexe ou ambiguë multiplie les possibilités, pour le contribuable, d'adopter un comportement que le législateur ne jugeait pas souhaitable* » [1].

Dans les cas où la réglementation fiscale est claire, les contribuables peuvent y échapper lorsqu'elle est jugée lourde. Si l'impôt à payer est élevé [4], le contribuable pourra échapper à cet impôt en ajustant les données mentionnées dans la déclaration fiscale pour diminuer sa base d'imposition et par la suite l'impôt à payer.

En plus de l'impôt dû, le contribuable supporte des frais liés à l'exécution des obligations fiscales tels que les frais d'appel au conseil fiscal. Ces coûts influencent la régularité fiscale du contribuable [1]. En effet, les PME ne disposent pas d'assez de ressources pour se conformer aux exigences fiscales [4] ce qui peut augmenter leurs risques fiscaux au moment de la préparation des déclarations fiscales [1].

L'organisation de l'entreprise: D'après l'étude de l'OCDE (2004) [3], le profil de l'entreprise peut influencer son degré de risque fiscal. En effet, l'organisation de l'entreprise, ses activités, son ouverture (importation, exportation) et même les investisseurs peuvent avoir un effet sur sa régularité fiscale.

Les opérations spécifiques, telles que les fusions, acquisitions, ne sont pas toujours faciles à aborder pour les entreprises surtout quand il s'agit de la manipulation des dispositions fiscales. Ce qui engendre un risque fiscal plus élevé que celui relatif aux opérations courantes de l'entreprise telles que les opérations d'achat et de vente [4].

Certaines études montrent que la fusion rapide entre la société holding et la société cible après une opération de Leveraged buy-out (LBO) (rachat avec effet de levier) peut être source de risque fiscal. Selon Gerschel (1996) [5], « *le principal risque fiscal, dans le cas d'une opération de fusion rapide à la suite d'un LBO, réside dans la remise en cause, par l'Administration fiscale, du « montage » en lui-même. Cette remise en cause peut être envisagée sur le terrain de l'abus de droit et sur celui de l'acte anormal de gestion* » [1].

L'internationalisation des entreprises peut aussi être source de risque fiscal. En effet, une entreprise qui s'internationalise se trouve confrontée à une multitude de dispositions fiscales qu'elle se doit de maîtriser et de respecter. Selon l'étude de l'OCDE (2004), « *le transfert incorrect de bénéfices dans un contexte multinational afin d'en retirer un avantage fiscal (prix de transfert) est un risque d'indiscipline fiscale qui doit être traité via la procédure de gestion de ce risque* » [2].

Le recrutement de personnel qualifié dans les fonctions fiscales ainsi que la formation continue du personnel garantit une détection et une gestion plus rapide des risques fiscaux. D'après une étude menée par le cabinet Ernst & Young (2008) [6] sur le risque fiscal, 77% des personnes interrogées estiment que le manque de personnes compétentes contribue au risque fiscal et 20% affirment que la présence d'un tel facteur a créé beaucoup de risques [1].

L'organisation de l'Administration fiscale: L'organisation de l'Administration fiscale peut être considérée également comme une source de risque fiscal. Selon l'étude réalisée par l'OCDE (2004) [3], le manque de compétences au niveau des Administrations fiscales, le manque de formation continue et la faible maîtrise de l'outil informatique par le personnel de cette Administration sont des facteurs qui augmentent le risque de non-détection des risques fiscaux des contribuables lors du contrôle fiscal. Ajouté à cela le manque de ressources financières et de technologies d'information nécessaires pour collecter et traiter le volume énorme d'informations variées sur les contribuables [1].

2.2 LES CARACTÉRISTIQUES DU RISQUE FISCAL

La revue de la littérature théorique et empirique nous a conduits à définir les caractéristiques du risque fiscal. En effet, le risque fiscal est lié à une législation fiscale souvent complexe, il est permanent et peut être volontaire ou involontaire.

2.2.1 LE RISQUE FISCAL EST LIÉ À UNE LÉGISLATION FISCALE SOUVENT COMPLEXE

Rossignol (2002) [2] signale que la difficulté de cerner ce type de risque est due au fait que les probabilités de contrôle fiscal et de détection de l'irrégularité qui en résultent restent inconnues [1]. Dans le cas où la législation fiscale énonce un principe, l'appréciation du comportement de l'entreprise face au respect de ce principe est souvent difficile à faire [2]. En plus du risque de détection, le risque d'évaluation ou de quantification du risque vient compléter le problème d'appréciation de ce risque. En effet, « *Si la rémunération est excessive, ou si une transaction est conclue à un prix anormal, la question se pose ensuite de savoir où se situe la norme, qui seule permettra de quantifier le risque* » [1].

2.2.2 LE RISQUE FISCAL EST UN RISQUE PERMANENT

Le risque fiscal est considéré comme un risque permanent et non seulement ponctuel [1] vu qu'il n'est pas seulement lié à l'année courante mais il peut impacter les années postérieures [4].

2.2.3 LE RISQUE PEUT ÊTRE VOLONTAIRE OU INVOLONTAIRE

Le non-respect des dispositions fiscales peut être involontaire comme il peut résulter de la volonté délibérée du contribuable. Dans ce cas, il faudra faire la différence entre les notions d'erreur et de fraude fiscale [1].

On parle d'erreur quand le risque fiscal est involontaire, et qu'il résulte d'une erreur dans l'application des dispositions fiscales. Selon Cozian (2008) [7], « *tout le monde peut se tromper, y compris l'administration fiscale surtout quand il s'agit du maniement de textes fiscaux dont la clarté n'est pas toujours la qualité première. L'administration peut évidemment rectifier les erreurs commises et notifier les rappels d'impôt correspondants. Comme le contribuable est présumé de bonne foi, il n'encourt aucune sanction. Il supporte simplement l'intérêt de retard* ». Si le contribuable se trompe involontairement dans l'application des règles fiscales, il n'encourt pas de sanctions mais supporte tout de même des pénalités et majorations dues au retard soit de la déclaration ou du paiement [1].

Le non-respect des dispositions fiscales volontaire est considéré comme une volonté délibérée d'échapper à l'impôt par des procédés illégaux et c'est ce qu'on appelle la fraude fiscale.

La fraude fiscale est définie par Rossignol et Chadefaux (2001) [8] comme étant « *l'action qui consiste à se soustraire ou à tenter de se soustraire frauduleusement à l'établissement ou au paiement total ou partiel de l'impôt. Cette fraude constitue un délit qui, pour être caractérisé en tant que tel, repose sur une intention délibérée* ». Selon Cozian (2008) [7], « *il y a fraude lorsque le contribuable viole, de façon délibérée et éhontée, les prescriptions de la loi fiscale. Il ne déclare pas les bénéfices ou le chiffre d'affaires qu'il a réalisés, il déduit des charges qu'il n'a pas payées, sa comptabilité est truquée* » [1].

2.3 TYPOLOGIE DU RISQUE FISCAL

Une étude menée par le cabinet PricewaterhouseCoopers (2004) [9] classe les risques fiscaux en deux catégories: des risques spécifiques et des risques génériques.

Les risques spécifiques englobent le risque de transaction qui est associé à la mise en œuvre de transactions spécifiques ou inhabituelles par l'entreprise, le risque opérationnel qui est lié à l'application des règles fiscales aux opérations courantes de l'entreprise, le risque de conformité qui est associé à la conformité aux obligations fiscales de l'entreprise, le risque de comptabilité financière qui est lié au processus d'élaboration des états financiers ainsi qu'au système de contrôle interne lié à ce processus.

Les risques génériques comportent le risque de portefeuille qui représente la somme des risques de transaction, opérationnel et de conformité ainsi que le risque de gestion qui est lié à la mauvaise gestion des risques fiscaux précédemment cités. Enfin, le risque de réputation liée aux problèmes fiscaux de l'entreprise mis à la connaissance du public [10].

Pour résumer, on peut classer les risques fiscaux en deux catégories:

Le risque de non-conformité: il fait référence à la notion de la régularité fiscale, il est lié au non-respect des dispositions fiscales. Il peut être volontaire ou involontaire et dépend de deux paramètres:

La probabilité d'existence d'erreurs fiscales au niveau des comptes de l'entreprise: Cette probabilité est de plus en plus importante vu la complexité de la matière fiscale, la multitude des obligations mises à la charge de l'entreprise, l'autonomie du droit comptable et également le niveau de compétence des services fiscaux et financiers de l'entreprise et des consultants externes auxquels elle fait appel.

L'éventualité de mise en œuvre par l'Administration du contrôle fiscal: Une probabilité qui devient de plus en plus importante compte tenu du fait que celle-ci renforce davantage sa fonction de contrôle ainsi que le renouvellement des moyens matériels et humains des services de contrôle.

Le risque d'opportunité: Ce deuxième type de risque se rapporte à la stratégie fiscale adoptée par l'entreprise, et ce dans le cadre du respect des dispositions fiscales. A ne pas confondre avec la fraude fiscale, il s'agit d'une gestion fiscale mais qui se fait dans la violation des règles fiscales et elle fait partie du premier type de risque qui est le risque de non-conformité et non-respect de la loi fiscale [1].

La loi fiscale renferme aujourd'hui plusieurs régimes d'option et plusieurs choix que l'entreprise peut aménager au mieux de ses intérêts afin de réduire au maximum sa charge fiscale. Les responsables fiscaux des entreprises peuvent ignorer ces options soit volontairement ou involontairement. Dans le premier cas, les responsables maîtrisent les dispositions fiscales mais ne veulent pas en profiter par peur d'attirer l'attention de l'Administration fiscale ce qui peut les conduire à un contrôle fiscal. Dans le deuxième cas, ces responsables n'actualisent pas leurs connaissances en matière de fiscalité ou ne disposent pas des compétences requises afin d'utiliser la réglementation fiscale et ses avantages dans en faveur de l'entreprise [1].

2.4 DÉFINITION DU RISQUE FISCAL

En revoyant les recherches faites sur le concept du risque fiscal, on peut conclure qu'il n'existe pas une définition adoptée par l'unanimité des chercheurs. Chaque chercheur traite un aspect particulier de ce risque. Dans une définition générale du concept de risque fiscal, Oyedele (2006) [10] et Erle (2008) [11] le considèrent comme le risque de subir un coût fiscal qui soit supérieur ou inférieur à celui exigé légalement ou à celui que le contribuable est préparé ou capable de payer.

Selon Rossignol (2002) [2], la notion du risque fiscal englobe deux acceptations: « *la première correspond au non-respect, volontaire ou non, des règles fiscales, alors que la seconde, toute aussi inefficace, se rapporte davantage à la méconnaissance d'une disposition favorable qui peut générer un manque à gagner important* ». Selon le même auteur, le risque fiscal combine entre un risque de sanction lié au contrôle fiscal et un risque d'opportunité [1].

Le risque fiscal, tel qu'appelé par l'OCDE (2004) [3] comme risque d'indiscipline fiscale se définit comme le non-respect par le contribuable des obligations suivantes: l'enregistrement comptable dans le système; la production en temps utile de déclarations et de renseignements; l'établissement d'informations complètes et exactes; le paiement ponctuel de l'impôt dû.

Le cabinet Ernst & Young (2008) [6] propose également une autre définition du risque fiscal, il le définit comme suit: « *n'importe quel événement, action ou inaction dans la stratégie fiscale, les opérations, le rapport financier et la conformité qui affectent défavorablement la position fiscale ou d'affaire de l'entreprise ou qui entraînent un niveau imprévu de pénalités, de redressements, d'impôts supplémentaires, une atteinte à la réputation, des pertes d'opportunité ou une exposition des états financiers* » [1].

Par ailleurs, Mouna Guedrib Ben Abderrahmen (2013) définit le risque fiscal comme étant « *un risque opérationnel, dans la mesure où la défaillance fiscale peut avoir comme origine les processus ou le personnel de l'entreprise. Le risque fiscal est aussi un risque stratégique dans la mesure où l'entreprise peut adopter des stratégies qui, bien qu'elles lui permettent de réduire sa charge fiscale, n'ont pas de substance économique et contredisent ainsi la politique générale de l'entreprise. Le risque fiscal est un risque juridique dans le sens où il résulte du non-respect des dispositions du droit fiscal. Le risque fiscal peut être aussi considéré comme un risque financier dans la mesure où la détection du non-respect des règles fiscales par l'Administration fiscale peut engendrer des redressements, des pénalités et des amendes ce qui peut affecter la situation financière de l'entreprise. C'est aussi un risque de marché étant donné qu'une défaillance de nature fiscale peut entraîner des effets défavorables sur le prix des actions sur le marché. La présence d'un tel risque est de nature à influencer la position de l'entreprise sur le marché. Enfin, le risque fiscal est un risque de réputation étant donné qu'une sanction fiscale adressée par l'Administration fiscale, ou un litige fiscal porté devant le juge et dont le résultat est en faveur de cette dernière, porte certainement atteinte à la réputation de l'entreprise* » [1].

On peut conclure que le risque fiscal est le risque de subir des charges fiscales supplémentaires suite au non-respect des obligations comptables et fiscales. Le risque est de subir des redressements, des pénalités et des amendes fiscales ayant un impact négatif sur la situation financière de l'entreprise. Le risque fiscal peut entraîner l'entreprise dans un processus de contrôle fiscal pouvant influencer négativement sa position sur le marché et sa réputation.

3 LES OPÉRATIONS DE FUSION AU MAROC ET LE RISQUE FISCAL

La fusion est l'opération par laquelle deux ou plusieurs sociétés se réunissent pour n'en former qu'une seule. Au Maroc, cette opération est cadrée par une législation qui, de par sa complexité et ses formes, ne présente un risque fiscal que si les sociétés ne les appréhendent pas, peut augmenter la charge fiscale et ainsi diminuer l'efficacité de l'opération. Dans cette partie, on présentera le cadre législatif et fiscal des opérations de fusion au Maroc, et on énumérera par la suite les risques fiscaux que peuvent contenir cette opération.

3.1 CADRE LÉGAL DES OPÉRATIONS DE FUSION AU MAROC

Dans le cas du Maroc, les opérations de fusion sont régies par la loi 17-95 du 30 août 1996 relative aux sociétés anonymes. Les articles 222 et 223 de cette loi octroient aux sociétés la possibilité d'effectuer des opérations de fusion quelle que soit leur forme juridique soit en pratiquant une fusion-réunion où deux ou plusieurs sociétés existantes participent à la constitution d'une société nouvelle, soit une fusion absorption qui est l'absorption d'une ou plusieurs sociétés par une autre et se traduit par une augmentation du capital d'une société existante.

Ces opérations peuvent être réalisées entre des sociétés de même forme juridique ou de formes différentes.

Selon les dispositions de l'article 224 de la loi n° 17-95 relative aux sociétés anonymes, la fusion entraîne la dissolution sans liquidation de la société qui disparaît et la transmission universelle de son patrimoine à la société bénéficiaire dans l'état où il se trouve à la date de la réalisation définitive de l'opération qui entraînera simultanément l'acquisition par les associés de la société qui disparaît de la qualité d'associés des sociétés bénéficiaires, dans les conditions déterminées par le contrat de fusion. Donc, une fusion ne peut se réaliser sans la réunion de ces trois caractéristiques:

- La dissolution sans liquidation de la société absorbée ce qui entraîne la disparition juridique de la société puisqu'elle cessera d'exister et par conséquent elle sera radiée du registre de commerce;
- La transmission de la totalité du patrimoine de l'entité absorbée à l'entité absorbante puisque cette dernière récupèrera la totalité des actifs et des passifs de l'absorbée, ce qui conférerait à l'absorbante tous les droits de la société absorbée mais aussi elle serait responsable de toutes ses obligations et toutes ses dettes. En fait, l'achèvement du processus de fusion devra aboutir à une mixtion patrimoniale des deux sociétés;
- L'acquisition de la qualité d'associés dans la société absorbante par les associés de la société absorbée selon les modalités du traité de fusion. Cependant, la loi ne permet l'échange de parts ou d'actions de la société bénéficiaire contre des parts ou actions de la société absorbée lorsqu'elles sont détenues par l'absorbante ou par une personne agissant en son propre nom pour le compte de cette dernière et aussi quand elles sont détenues soit par l'entité absorbée ou par une personne agissant en son propre nom pour le compte de cette dernière. De ce fait, la fusion, dans la loi marocaine, ne peut être réalisée que dans le contexte d'une fusion-renonciation par laquelle la société absorbante renonce à l'augmentation de capital correspondant aux titres qu'elle détient dans la société absorbée.

3.2 DISPOSITIONS FISCALES DES OPÉRATIONS DE FUSION

Le Code Général des Impôts au Maroc offre aux entreprises qui désirent se restructurer à travers des opérations de fusion deux régimes fiscaux offrant ainsi le choix aux entreprises d'opter pour le régime qui correspond à leur organisation et leurs objectifs:

Dans le cadre du régime de droit commun, la fusion est assimilée à une cession. Si c'est une fusion-réunion, l'opération de fusion est considérée comme une cession des entreprises fusionnées et si c'est une fusion absorption, elle est considérée comme une cession de l'actif des sociétés absorbées. De ce fait, les sociétés absorbées ou fusionnées sont imposées immédiatement conformément aux dispositions de l'article 150 – I du Code Général des Impôts. Ainsi, en sus de leur bénéfice normal d'exploitation, sont imposées les plus-values nettes résultantes de l'apport de leur actif à la nouvelle société ou à la société absorbante, ainsi que les provisions régulièrement constituées suivant les dispositions de l'article 10 du Code Général des Impôts et qui ont conservé leurs objets.

Également, est imposée immédiatement la prime de fusion réalisée par la société absorbante et correspondante à la plus-value sur sa participation dans la société fusionnée.

Le régime dérogatoire ou transitoire de fusion de sociétés, est un régime qui est venu en remplacement du « régime particulier de fusion ». Ce dernier a été introduit par la loi de finance de l'année budgétaire 2010, et prorogé par la loi de finance de 2013 jusqu'au 31 Décembre 2016. La loi de finance pour l'année budgétaire 2017 a remplacé le régime particulier prévu à l'article 162 par le régime dérogatoire régis selon les dispositions prévues à l'article 247.

Il faut noter que seules les opérations de fusion avec apport total de l'actif et les scissions totales entraînant la disparition de la société scindée sont éligibles à ce régime. Ce régime a repris les mêmes avantages de l'ancien régime particulier avec quelques modifications: Alors que la prime de fusion réalisée par la société absorbante pour la partie relative à sa participation est imposable immédiatement chez l'absorbante dans l'ancien régime particulier, elle est exonérée en vertu des dispositions du régime dérogatoire.

Dans le cas où la valeur d'apport des terrains construits ou non construits est inférieure à 75% de l'actif net immobilisé, l'imposition des plus-values nettes réalisées les immobilisations amortissables est étalée sur la durée d'amortissement desdits biens chez l'absorbante au lieu des 10 ans prévus dans l'ancien régime particulier.

Les plus-values résultant de l'échange de titres détenus par les personnes physiques ou morales actionnaires de la société absorbée par des titres de la société absorbante ne sont imposables chez ces personnes qu'ultérieurement lors de leur retrait ou cession ultérieure alors que ces plus-values étaient taxées immédiatement dans l'ancien régime particulier. Il s'applique même aux opérations de scissions totales qui s'ensuivent par une dissolution de la société scindée, tandis que l'ancien régime particulier ne s'appliquait qu'en cas de fusion avec apport total de l'actif. Cependant, chaque société bénéficiaire de l'apport doit respecter les conditions d'éligibilité.

En ce qui concerne les plus-values sur les titres de participation, elles seront imposées au titre de l'exercice de leur cession ou leur retrait à la place de l'étalement sur 10 ans prévu dans l'ancien régime particulier.

3.3 LE RISQUE FISCAL LIÉ AUX OPÉRATIONS DE FUSION AU MAROC

La matérialisation du risque fiscal lié aux opérations de fusion peut se présenter sous différentes formes. Celles-ci peuvent être analysées en se basant sur le Code Général des Impôts ou encore sur la pratique (gestion fiscale ordinaire, contrôle fiscal, etc.). A cet effet, nous avons tenté de fusionner ces deux sources pour en déduire les cinq risques développés ci-après:

3.3.1 L'IMPOSITION DES PLUS-VALUES RÉSULTANT DE L'ÉCHANGE DES TITRES CHEZ LES PERSONNES PHYSIQUES ET MORALES

Selon les dispositions de l'article 162-II-D du Code Général des Impôts, « *l'imposition des plus-values résultant de l'échange des titres de la société absorbée ou scindée contre des titres de la société absorbante, réalisées dans le cadre des opérations de fusion ou scission selon le régime particulier des fusions, ne sont imposables chez les personnes physiques ou morales actionnaires de la société absorbée ou scindée qu'au moment de cession ou de retrait de ces titres* » [12].

3.3.2 LA NON-RÉINTÉGRATION DES DOTATIONS AUX PROVISIONS POUR DÉPRÉCIATION DES TITRES DE PARTICIPATION

Selon l'article 162-II-H du Code Général des Impôts et afin de bénéficier des avantages que prévoit ce régime optionnel de fusion, « *les dotations aux provisions pour dépréciation des titres objet d'apport ne sont pas admises en déduction pendant toute la durée de détention de ces titres par la société absorbante concernée* » [12]. De ce fait, la non-réintégration de ces dotations aux provisions constitue une condition qui doit être surveillée de près afin de minimiser au maximum le risque fiscal qui en découle.

3.3.3 LA RÉGULARISATION DE LA DÉDUCTION PORTANT SUR LES BIENS IMMOBILISÉS SUITE À VARIATION DU PRORATA EN MATIÈRE DE TVA

L'article 104 du Code Général des Impôts relatif au montant de la taxe sur la valeur ajoutée admise en déduction ou en remboursement stipule que « *les assujettis effectuant concurremment des opérations taxables et des opérations situées en dehors du champ d'application de la taxe ou exonérées sans droit à déduction* » doivent calculer un prorata de déduction. Ce dernier « *est déterminé par l'assujetti à la fin de chaque année civile à partir des opérations réalisées au cours de ladite année et retenu pour le calcul de la taxe à déduire au cours de l'année suivante.* » (Article 104-I-c du Code Général des Impôts).

Le deuxième paragraphe de l'article 104 précise que: « *En ce qui concerne les biens inscrits dans un compte d'immobilisation visés à l'article 102 ci-dessus, lorsque au cours de la période de cinq années suivant la date d'acquisition desdits biens, le prorata*

de déduction calculée dans les conditions prévues au I ci-dessus, pour l'une de ces cinq années, se révèle supérieur de plus de cinq centièmes au prorata initial, les entreprises peuvent opérer une déduction complémentaire. Celle-ci est égale au cinquième de la différence entre la déduction calculée sur la base du prorata dégagé à la fin de l'année considérée et le montant de la déduction opérée dans les conditions prévues au paragraphe I du présent article. » [12] s

Ainsi, dans le cas où l'examen des déclarations de TVA déposées par les sociétés objet de l'opération de fusion fait ressortir que celles-ci pratiquent des proratas de déduction différents, il serait judicieux d'inviter la société absorbante à régulariser sa situation en matière de TVA et ce de façon « amicale », vue l'absence de toute disposition de loi prévoyant ce cas de figure. C'est alors un risque qui demeure tributaire de l'appréciation des deux parties –administration et contribuable– auquel il faut accorder une attention particulière. Toutefois, une demande de clarification de ce point a été remontée au service de la législation au sein de la DGI dans le but d'apporter les précisions qui s'imposent.

3.3.4 LE SEUIL DE 75% DE LA VALEUR DES TERRAINS PAR RAPPORT À LA VALEUR GLOBALE DE L'ACTIF NET IMMOBILISÉ

Conformément à l'article 162-II-A-3-b du Code Général des Impôts, la société absorbante doit: « Réintégrer, dans ses bénéfices imposables, la plus-value nette réalisée par chacune des sociétés fusionnées ou scindées sur l'apport:

- Soit de l'ensemble des titres de participation et des éléments de l'actif immobilisé lorsque, parmi ces éléments, figurent **des terrains construits ou non dont la valeur d'apport est égale ou supérieure à 75%** de la valeur globale de l'actif net immobilisé de la société concernée. Dans ce cas, la plus-value nette est réintégrée au résultat du premier exercice comptable clos après la fusion ou la scission;
- Soit, uniquement des éléments amortissables **lorsque la proportion de 75% n'est pas atteinte**. Dans ce cas, la plus-value nette réalisée sur l'apport des éléments amortissables est réintégrée dans le résultat fiscal, par fractions égales, sur la période d'amortissement desdits éléments. La valeur d'apport des éléments concernés par cette réintégration est prise en considération pour le calcul des amortissements et des plus-values ultérieures. » [12]

3.3.5 LA RENONCIATION DES SOCIÉTÉS ABSORBANTES DES DOTATIONS AUX PROVISIONS ET DES DÉFICITS CUMULÉS

Conformément aux dispositions de l'article 162-II-H, pour que les sociétés absorbées puissent bénéficier pleinement des avantages prévues par le régime particulier des fusions, les sociétés absorbantes doivent renoncer à la déduction des dotations aux provisions pour dépréciation des titres objet d'apport constatées pendant toute la durée de détention de ces titres par la société absorbante, ainsi que des déficits cumulés, autres que ceux correspondant aux amortissements régulièrement comptabilisés, figurant dans la déclaration fiscale du dernier exercice précédant la fusion. Il est donc important de veiller à l'application stricte et rigoureuse de ces conditions afin de minimiser le risque fiscal qui peut en découler.

4 CONCLUSION

Dans le présent travail, on a présenté les différentes formes de fusions prévues par le législateur marocain. Ce dernier offre aux entreprises marocaines, à travers une réglementation juridique appuyée par un dispositif fiscal, des avantages fiscaux, des réductions et des crédits d'impôt pour les inciter à se concentrer afin d'unir leurs forces et consolider leur savoir-faire pour résister à la forte concurrence que connaît l'économie marocaine suite à son ouverture à l'international.

Toutefois, ces avantages fiscaux, qu'on peut qualifier de subventions indirectes, accordées aux entreprises marocaines constituent un manque à gagner pour le budget de l'Etat marocain. Ces dépenses fiscales nécessitent une évaluation, qui respecterait une norme fiscale, pour juger leur efficacité et leur capacité à atteindre les objectifs fixés par l'Etat marocain.

REFERENCES

- [1] M. Guedrib Ben Abderrahmen, « Impact des mécanismes internes de gouvernance sur le risque fiscal : une étude menée dans le contexte tunisien », Université Tunis El Manar, 2013.
- [2] Rossignol, « Risque et fiscalité de l'entreprise », p. 36-30, 2002.
- [3] OCDE préparée par le Forum sur l'administration de l'impôt Sous-groupe sur la discipline fiscale, « Note d'orientation Gestion du risque d'indiscipline fiscale : Gérer et améliorer la discipline fiscale ». 2004.
- [4] R. Cherfioui et A. Bedrane, « Audit fiscal : le passage du résultat comptable au résultat fiscal, Cas de l'entreprise SOCOTHYD », Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Faculté des sciences économiques, commerciales et des sciences de gestion - Département Sciences de gestion, 2018.
- [5] Gerschel, « Le risque fiscal de la fusion rapide entre la société holding et la société cible après une opération de LBO », p. 465, 1996.
- [6] Ernst & Young, « Steady course, uncharted waters ». 2008.
- [7] Cozian, « Précis de fiscalité des entreprises 2008/2009 », p. 628, 2008.
- [8] Rossignol et Chadeaux, « Ethique et comportement fiscal de l'entreprise », n° Spécial Fiscalité et Ethique, p. 12-21, 2001.
- [9] PricewaterhouseCoopers, « Tax risk management ». 2004.
- [10] Oyedele, « Understanding and managing tax risk », 2006.
- [11] Erle, Tax risk management and Board Responsibility, in tax and corporate governance. 2008.
- [12] « Code Général des Impôts du Maroc institué par l'article 5 de la loi des finances n° 43-06 pour l'année budgétaire 2007, promulguée par le dahir n° 1-06-232 du 10 Hija 1427 (31 décembre 2006), tel que modifié et complété ». 2014.

Inventaire préliminaire des Araignées (Arachnida, Cuvier 1812) dans la région de Kasugho, Nord-Kivu, République Démocratique du Congo

[Preliminary inventory of spiders (Arachnida, Cuvier 1812) in the Kasugho region, North Kivu, Democratic Republic of Congo]

Kambere Vindu Jimmy¹, Kulethatha Sengemoja Emmanuel¹, Kakule Kambere Prosper², Mbusa Mapoli Joël³, Musubaho Kako-Wanzalire Loving⁴, Paluku Siwako Vyanesco⁵, and Juakaly Mbumba Jean-Louis⁶

¹Université de la Conservation de la Nature et Développement de Kasugho, NORD KIVU, RD Congo

²Université Officielle de Semuliki (UOS), Beni, Nord Kivu, RD Congo

³Research Center for Environmental Planning (RCEP), GOMA, Nord-Kivu, RD Congo

⁴Doctorant, Université de Liège, Gembloux Agro-Bio Tech, Gembloux, RD Congo

⁵Institut Supérieur Pédagogique d'OICHA (ISP-OICHA), Territoire de Beni, RD Congo

⁶Université de Kisangani (UNIKIS), Kisangani, 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 is foculazid on the contribution to diversity of spiders in Kasugho region, with the aim of to enumerate spiders find in the kasugho environnement according to the habitat.To get data we used the view hunting.The identification was carried out using a monocular magnifying glass and identification key books. To analyse our resultats, we calculated the Shannon diversity indice, the Simpson indice, the Jaccard similarity, the equitability.The ANOVA test was used to compare data of the differents site of harvest.769 specimens of spiders was captured.They are regroup in 30 families and 59 species.The most abundant families are Lycosidae (56,6), follow by Araneidae (16,5%), Ctenidae (0, 04%) and Tetragnatidae (0,06).The most diversified family is Araneidae (6 genera with 12 species).The fallow about the largest number of species, (55,9%) but less diversified than the secondary forest, the banana plantation is the least diversified.The species similarity of species harvested in the old fallow and the secondary forest is 12,1%, 13,1% between the old fallow and banana plantation, 13,4% between secondary forest and banana plantation. In view of the above, it was found a very great dissimilarity between the different habitats.

KEYWORDS: Spiders, forest, fallow, eve, banana plantation, biodiversity, Kasugho.

RESUME: La présente étude porte sur l'inventaire préliminaire de la diversité des araignées dans la région de Kasugho. L'objectif principal de cette étude était de donner la liste des araignées retrouvées dans la région de Kasugho et comparer leur abondance selon les types d'habitats. Pour la récolte de données, nous avons utilisé la chasse en vue et la collecte manuelle. Une loupe monoculaire pour faciliter l'identification. Les indices de diversité de Shannon, de Simpson, la similarité de Jaccard, l'équitabilité ont été calculés à l'aide du logiciel Past 3.2 pour décrire les données. Le test ANOVA a été utilisé pour comparer les différents sites de récolte des données. Au total, 769 spécimens d'araignées ont été capturés. Ils sont regroupés en 30 familles et 59 espèces. Les familles les plus abondantes sont celle de Lycosidae (56,8), suivi des Araneidae (16, 5%), Ctenidae (0, 06%) et Tetragnatidae (0,04%). La plus diversifiée des familles est celle des Araneidae (6 genres et 12 espèces). La Jachère

regorge le plus grand nombre d'espèces, soit 55,9% mais moins diversifié que la forêt secondaire, la bananeraie est à la dernière place en terme de diversité. La similarité des espèces récoltées dans la jachère vieille et celles récoltées en forêt secondaire est de 12,1%, elle est de 13,1% entre la jachère vieille et la bananeraie et de 13,4% entre la forêt secondaire et la Bananeraie. Au regard de ce qui précède, il a été trouvé une très grande dissemblance entre les différents habitats.

MOTS-CLEFS: Araignées, forêt, jachère, vieille, bananeraie, biodiversité, Kasugho.

1 INTRODUCTION

Le taux de disparition des espèces est aujourd'hui d'environ 1000 fois supérieur au taux naturel. Après la dégradation de l'habitat naturel de la faune et de la flore, le commerce international représente l'une des principales causes de leur disparition (Cazeauch, 2005). L'Analyse de la situation de l'Afrique centrale et de l'Ouest, réalisée par l'UICN indique clairement que la perte de la biodiversité dans ces régions est en grande partie attribuable à une importante dégradation et perte d'habitat causées par l'exploitation forestière non durable, l'urbanisation, l'expansion agricole, la surexploitation, le changement climatique, l'introduction d'espèces exotiques envahissantes, ainsi qu'à la chasse et au commerce illégal des espèces sauvages (David et al, 2015). Puisque les araignées sont finement adaptées à leur habitat, il est facile à comprendre que le moindre changement aura un impact sur la composition de la faune (Jocqué, 1981). Les arachnophobes sont nombreux, les arachnologues plus rares. Pourtant, sans le travail de ces scientifiques, toutes les capacités et les potentialités des araignées nous auraient échappé. Nommer et classer ces animaux est la première étape indispensable et de longue haleine. Les chercheurs estiment que des dizaines, voire des centaines de milliers d'espèces restent encore à découvrir, notamment dans les zones tropicales (Anonyme, 2011). L'aranéofaune du milieu de Kasugho est méconnue du monde scientifique. Vu les menaces qui pèsent sur elle, il est temps qu'on se penche à leur inventaire.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MILIEU D'ÉTUDE

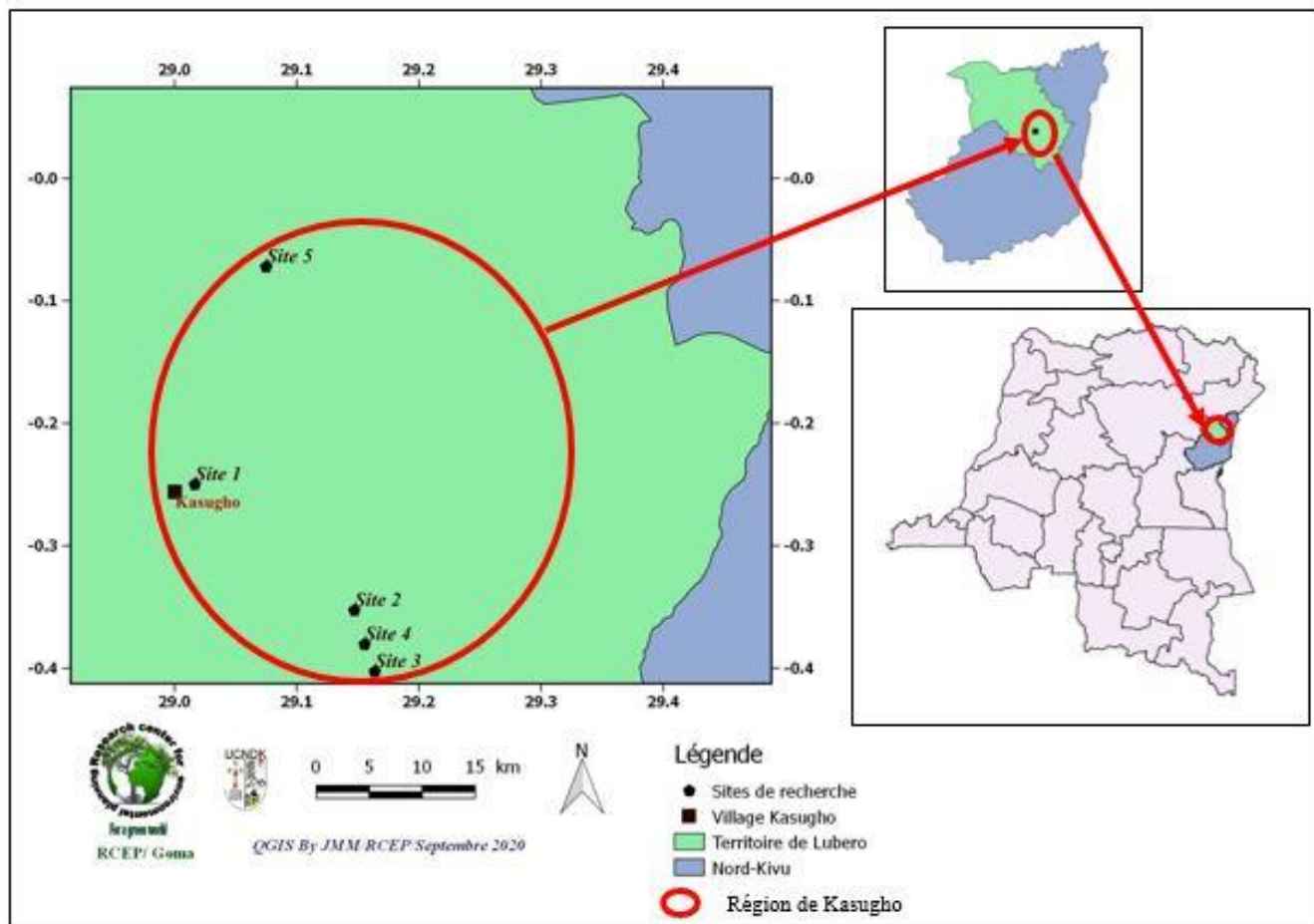
Le village de Kasugho est le chef-lieu de la localité Bas-Musindi, situé dans le Groupement Musindi, chefferie des Batangi, Territoire de Lubero, Province du Nord Kivu en République démocratique du Congo (Figure 1). Il se trouve à 1510m d'altitude, 00°15'20.4" Latitude Sud et 029°59' 59.3" Longitude Est. Le sol de notre milieu d'étude est du type argilo-sableux, cette texture repose sur une roche mère latéritique (Kakuni, 2007) Son relief est essentiellement montagneux. Ces montagnes et collines s'étendent vers la vaste plaine de la cuvette centrale. Le climat de Kasugho est équatorial, dominé par la saison pluvieuse allant de Février à Mai et d'Aout à Décembre, entrecoupée par des périodes chaudes en Janvier, Juin et Juillet. Les précipitations annuelles sont estimées à plus ou moins 1174ml; les températures annuelles fluctuent minimalement entre 10 et 17°C et maximalement entre 24 et 37°C (Pharmakina cité par Misave, 2006). Deux principales rivières drainent les eaux de cette contrée notamment: la rivière Musumumbu et la rivière Lulemo (Katembo, 2008). La végétation de notre milieu d'étude est constituée des jachères à prédominance de *Pennisetum purpureum*. Des îlots de forêts secondaires jeunes sont aussi à noter avec prédominance de certaines espèces comme: *Albizia gummifera*, *Peptadenia africana*, *Musanga cecropioides*, *Ocotea usambarensis*, *Ficaloa laurifolia*, *Myrianthus arboreus*. On note également un nombre assez important d'espèces de mauvaises herbes ennemis aux cultures du milieu telles que: *Bidens pilosa*, *Commelina diffusa*, *Rumex abyssinica*, *Crassocephalum montuosum*, *Galinsoga parviflora* (Misave, 2006; Muhindo, 2008; Katembo, 2008). Du point de vue faunistique, la région de Kasugho regorge plusieurs espèces des petits Mammifères (Rongeurs, Soricomorphes, chauve-souris), des Reptiles, des Amphibiens et d'Oiseaux. A ce qui est des grands Mammifères, il est noté la présence des certaines espèces des singes (Cercopithèques et Chimpanzés). Les gorilles de plaine de l'Est (*Gorilla beringei graueri*) sont signalés un peu plus loin de la contrée dans la Réserve Naturelle de Tayna en forêt primaire et l'état sauvage, et certains spécimens sont présents au niveau du Projet GRACE.



Fig. 1. Localisation de Kasugho en Province du Nord-Kivu

2.1.1 DESCRIPTION DES SITES D'ÉCHANTILLONNAGES

La récolte des données a été effectuée dans cinq sites se différenciant par leur végétation (Figure 2).



Le premier site est caractérisé par une jachère vieille dominée par *Pennisetum purpureum*, *Triumfeta cordifolia*, *Maessa lanceolata*, avec une pente d'environ 30°. Il est situé à Katiri sur 1412 m d'altitude.

Le deuxième site est situé à 1863 m d'altitude sur la colline Katoyo, ce site est une forêt secondaire dominée par *Albizzia gummifera*, *Bridellia ferruginea*, *Chrysophyllum sp.* Ce site est celui sur lequel se trouve le projet GRACE.

Le troisième site est une bananeraie située à Vuluma, à 1773 m.

Situé à Katoyo, le quatrième site est une forêt secondaire jeune dominée par *Eseta ventricosum*, *Triumfeta cordifolia*; avec quelques essences forestières comme *Celtis africana*, *Myrianthus holstii*. Il est situé sur 1805 m d'altitude.

Le dernier site, situé à 1810 m d'altitude est une plantation de quinquina (*Cinçona ledgeriana*), envahit des fougères et une petite jachère vieille à jeune pousse de *Cyatea maniana*, *Pteridium aquilinum*. Il se trouve dans un milieu appelé Munona (Site d'exploitation artisanale de l'or, présence de nombreux champ de quinquina, des portions de forêt secondaire jeunes).

En somme, les cinq sites décrits ci-haut se résument à trois habitats, à savoir, la forêt secondaire (Site 2 et 4), jachère (1 et 5) et une bananeraie (site 3).

2.2 MÉTHODE UTILISÉE

La récolte de données a été faite selon un échantillonnage aléatoire simple (EAS). Il s'agit d'une méthode basée sur le principe que chaque partie d'une zone ou entité a la même chance d'être échantillonnée. Nos récoltes sont parties du mois de mai jusqu'à juillet, dix sorties ont été effectuées au total. Ainsi après prospection nous avons décidé d'établir 5 sites ou unités d'échantillonnage de 50 m² chacun. De ces 5 sites, deux se trouvaient dans la forêt secondaire (Sites 2 et 4), un dans une bananeraie (site 3), un dans une jachère vieille (site 1) et le dernier était un champ de quinquina regorgeant des îlots de la forêt secondaire jeune. Sur base de ces caractéristiques nous l'avons classé comme jachère vieille en considérant le type d'habitats.

Dans chaque unité d'échantillonnage, 5 layons étaient frayés distant de 10 m pour faciliter la chasse à la vue. Cette dernière avait consisté à capturer l'individu une fois vu. De ce fait, les différents layons étaient parcourus pour capturer les spécimens. Nos récoltes se faisaient de part et d'autres du transect. L'identification a été faite à l'aide d'une loupe monoculaire facilitant l'agrandissement. Cet appareil donne la vue d'une image en relief et non inversé comme dans le microscope ordinaire (Aladro, 2009). Nombreuses clés d'identifications ont été utilisées au cours de ce travail, notamment celle de Whyte & Anderson (2017), Dejean (2015), Jocqué & Dippenaar-Schoeman (2007), Gerald & Wegner (2004). Après identification, les spécimens étaient remis dans l'alcool concentré à 70% dans des boîtes selon les sites de captures. Il est important de noter que l'internet a aussi appuyé les travaux d'identification. Pour l'analyse de nos résultats nous avons calculé:

a) La fréquence d'occurrence ou constance (C)

La fréquence d'occurrence est le rapport exprimé sous la forme d'un pourcentage du nombre de relevés contenant l'espèce prise en considération sur le nombre total de relevés (Dajoz, 1971).

Elle est calculée par la formule:

$$C = \frac{pa}{P} \times 100$$

b) Indice de diversité de SHANNON-WEAVER (H')

Il sert à apprécier l'évolution de la biodiversité dans les habitats. Cet indice varie directement en fonction du nombre d'espèces. On l'appelle aussi diversité intra biotope (Barbault in Mukinzi, 2014).

$$H' = - \sum Pi \ln Pi$$

c) Equitabilité ou Equirepartition (Nshimba, 2008)

Elle sert à comparer des diversités des peuplements ayant des richesses spécifiques ou taxonomiques.

$$E = \frac{H'}{\log_2 S}$$

L'équitabilité est le rapport de la diversité calculée à la diversité maximale et sert à comparer les diversités de peuplements ayant des richesses spécifiques différentes.

Dajoz (2006) indique qu'une faible équitabilité représente une grande importance de quelques espèces dominantes.

d) Indice de diversité de Simpson (1-D)

C'est la probabilité pour que deux individus pris au hasard d'un peuplement appartiennent en deux espèces différentes.

$$D = 1 - \sum (pi)^2$$

D=indice de diversité de Simpson

Pi=la proportion de chaque espèce dans la communauté.

1-D varie de 0 (une seule espèce présente) à 1 (même abondance pour toutes les espèces).

e) L'abondance relative (Arel)

L'abondance relative renseigne sur l'importance de chaque espèce par rapport à l'ensemble des espèces présentes.

Abondance relative: $Arel = \frac{ni}{N} \times 100$ Où: ni = Nombre d'individus par espèce et N = Nombre total d'individus.

f) Indice de similarité de Jaccard ou indice de communauté

Cet indice s'exprime par: $S7 = \frac{a}{a+b+c}$

Avec b le nombre d'espèces du site 1, c le nombre d'espèces du site 2 et a le nombre d'espèces communes aux deux sites. Cet indice permet d'évaluer l'affinité faunistique entre les sites/habitats exploités.

g) Le test ANOVA

Il a permis de vérifier si les individus sont équitablement répartis au sein des habitats.

Le logiciel past nous a facilité la tâche dans l'analyse de nos données.

3 RÉSULTATS

La description des sites de récolte de données a conduit à une répartition des spécimens dans 3 habitats différents, à savoir: la jachère, la forêt secondaire et la bananeraie. Le tableau (1) donne l'habitat préféré par les espèces déterminées dans cette.

Tableau 1. Systématique, diversité, abondance relative, indices de diversité et constance

Familles	Espèces	JV	FS	Ban	Ni	Arel	C (%)
Agelenidae	<i>Agelena sp</i>	5	0	2	7	1	66,6
	<i>Agelenopsis sp</i>	0	1	0	1	0,1	33,3
Araneidae	<i>Araneus sp1</i>	1	0	0	1	0,1	33,3
	<i>Araneus sp2</i>	1	0	0	1	0,1	33,3
	<i>Argiope sp</i>	1	0	0	1	0,1	33,3
	<i>Cyclosa insula</i>	0	0	2	2	0,3	33,3
	<i>Cyclosa sp</i>	0	0	1	1	0,1	33,3
	<i>Cyrtophora citricola</i>	21	44	0	65	8,4	66,6
	<i>Gasteracantha milvoides</i>	1	0	0	1	0,1	33,3
	<i>G. cf.sanguinolenta</i>	1	0	1	2	0,3	66,6
	<i>Gasteracantha sp1</i>	0	0	1	1	0,1	33,3
	<i>Gasteracantha sp2</i>	0	0	2	2	0,3	33,3
	<i>Caerostris sp1</i>	28	0	0	28	3,6	33,3
	<i>Caerostris sp2</i>	11	0	0	11	1,4	33,3
	<i>Caerostris sp3</i>	11	0	0	11	1,4	33,3
	Anapidae	<i>Pseudanapis sp</i>	0	1	0	1	0,1
Aniphaenidae	<i>Aniphaena accentuata</i>	3	0	0	3	0,4	33,3
Clubionidae	<i>Clubiona corticalis</i>	2	0	0	2	0,3	33,3
Corinidae	<i>Supunna picta</i>	0	2	0	2	0,3	33,3
Ctenidae	<i>Ctenus sp</i>	11	5	6	22	3	100
	<i>Africactenus decorosus</i>	10	9	8	27	3,5	100
Dictenyidae	<i>Nigma walckenaeri</i>	4	0	0	4	0,5	33,3
Eutichuridae	<i>Cheiracanthium sp</i>	0	2	0	2	0,3	33,3
Gnaphosidae	<i>Minosia sp.</i>	2	0	0	2	0,3	33,3
Gallieniellidae	<i>Gallienella mygaloides</i>	0	1	0	1	0,1	33,3
Hersiliidae	<i>Hersilia sp</i>	5	5	0	10	1,3	66,6
Lynphiidae	<i>Walckenaera acuminata</i>	0	0	3	3	0,4	33,3
	<i>Neriere radiata</i>	0	1	0	1	0,1	33,3
	<i>Frontinellina sp</i>	0	1	0	1	0,1	33,3
Lycosidae	<i>Aulonia albimana</i>	104	8	39	151	19,6	100

	<i>Pardosa sp</i>	105	18	163	286	37,2	100
Liocranidae	<i>Lyocranum sp</i>	10	0	0	10	1,3	33,3
Nephilidae	<i>Nephila turneri</i>	1	0	0	1	0,1	33,3
	<i>Nephila Fenestrata</i>	2	0	0	2	0,3	33,3
	<i>Nephilingys creuentata</i>	0	9	0	9	1,2	33,3
Oxyopidae	<i>Oxyopes sp</i>	0	0	3	3	0,4	33,3
Palpimanidae	<i>Palpimanus gibbulus</i>	0	1	0	1	0,1	33,3
Philodromidae	<i>Philodromus cespitium</i>	1	0	0	1	0,1	33,3
Pholcidae	<i>Pholcus sp</i>	0	4	0	4	0,5	33,3
Pisauridae	<i>Rothus aethiopicus</i>	2	0	0	2	0,3	33,3
	<i>Rothus sp</i>	0	0	1	1	0,1	33,3
Salticidae	<i>Salticus sp</i>	1	9	12	22	3	100
Pimosidae	<i>Pimosa sp</i>	4	0	0	4	0,5	33,3
Selenopidae	<i>Anyphops sp</i>	0	0	1	1	0,1	33,3
Sicariidae	<i>Loxosceles sp1</i>	0	2	0	2	0,3	33,3
	<i>Loxosceles sp2</i>	0	1	0	1	0,1	33,3
Thomisidae	<i>Diaea sp</i>	1	0	0	1	0,1	33,3
	<i>Misumena vatia</i>	3	0	1	4	0,5	66,6
	<i>Thomusus sp</i>	0	0	1	1	0,1	33,3
	<i>Sinema globisum</i>	1	0	0	1	0,1	33,3
Theridiidae	<i>Steatoda albomaculata</i>	0	0	1	1	0,1	33,3
	<i>Theridion sp</i>	0	1	0	1	0,1	33,3
Tetragnathidae	<i>Tetragnatha sp</i>	0	1	0	1	0,1	33,3
	<i>Meta bourneti</i>	3	0	0	3	0,4	33,3
	<i>Leucage argyrobata</i>	12	1	15	28	3,6	100
	<i>Leucauge sp1</i>	0	1	0	1	0,1	33,3
	<i>Leucage sp2</i>	0	2	1	3	0,4	66,6
Zodaridae	<i>Dolomedes sp</i>	4	2	0	6	0,8	66,6
Zoropsidae	<i>Zoropsis media</i>	1	0	0	1	0,1	33,3
	N	373	132	264	769	99,8	***
	%	48,5	17,2	34,3	100	***	***
	S	33	25	20	59	***	***
	H'	2,35	2,435	1,478	2,414	***	***
	E	0,672	0,756	0,493	0,592	***	***
	1-D	0,828	0,847	0,589	0,809	***	***
	ANOVA	p= 0,435, ddl=2					

Légende: JV: Jachère vieille; FS: forêt secondaire; Ban: Bananeraie, ni: nombre d'individus par espèce, N: nombre total d'individu par habitat, C: Constance, S: richesse spécifique, H': Indice de Shannon, E: Equitabilité, 1-D: Indice de Simpson.

Les observations faites du tableau (1) montrent qu'au total, 769 spécimens ont été récoltés réparties 59 espèces et 30 familles. Les familles les plus abondantes sont celle de Lycosidae (56,6%), suivi des Araneidae (16,5%), Ctenidae (0,04%) et Tetragnathidae (0,06%). La plus diversifiée parmi les familles répertoriées est celle des Araneidae (avec 6 genres, 12 espèces) suivi de Thomisidae (4genres, 4 espèces), les Tetragnathidae, les Lynphiidae sont représentées par 3 genres chacune, les autres n'ont que 2 ou un seul genre voir une seule espèce.

La Jachère est l'habitat la plus riche en espèces (S=33). La bananeraie est moins spécifiée avec 20 espèces. De toute la collection, *Pardosa sp* est l'espèce la plus abondante, avec 37,2%.

Néanmoins, dans la Jachère vieille *Pardosa sp* (ni=105, soit 28,1%) et *Aulonia albimana* (ni= 104, soit 27,9%) sont les espèces les plus abondantes. Dans la forêt secondaire, les espèces les plus abondantes sont *Cyrtophora citricola* (ni=44, soit 33,3%) et *Pardosa sp* (ni=18, soit 13,6%) et dans la bananeraie, *Pardosa sp* (ni=163, soit 61,7%) et *Aulonia albimana* (ni=39, soit 14,8%).

En terme de répartition spatiale la jachère vielle est plus abondante avec 48,5%, suivi de la bananeraie avec 34,3%, la forêt secondaire vient à la dernière place (17,2%).

13/59 espèces sont constantes. Il s'agit d'*Agelena sp*, *Cyrtophora citricola*, *Gasteracantha cf.sanguinolenta*, *Ctenus sp*, *Africactenus decorosus*, *Hersilia sp*, *Aulonia albimana*, *Pardosa sp*, *Salticus sp*, *Misumena vatia*, *Leucage argyrobata*, *Leucage sp2* et *Dolomedes sp*, et les restes sont accessoires.

Le résultat du logiciel Past 3.2 montre que tous les habitats sont diversifiés, la forêt secondaire légèrement plus diversifiées que la jachère vielle avec un minimum dans la bananeraie. La probabilité de prélever, dans un même habitat, deux individus qui soient d'espèces différentes est supérieure à 80% en jachère et en forêt secondaire et de 58,9% dans la bananeraie. Les individus sont presque équitablement répartis au sein des habitats exploités et l'analyse des variances prouvent qu'il n'y a pas de différence significative entre les habitats exploités dans la région de Kasugho ($p= 0,435$ avec $ddl=2$).

L'indice de similarité de Jaccard a été calculé pour comparer les trois types d'habitats étudiés. Les valeurs sont données dans le tableau (2).

Tableau 2. Indice de similarité de Jaccard

Habitats	Valeurs de l'indice
JV et FS	0,1212
JV et Ban	0,1311
FS et Ban	0,1346

Légende: JV: Jachère vielle, FS: Forêt secondaire, Ban: Bananeraie

Le tableau (2) nous montre que la similarité des espèces récoltées dans la jachère vielle et celles récoltées en forêt secondaire est de 12,1%, elle est de 13,1% entre la jachère vielle et la bananeraie et de 13,4% entre la forêt secondaire et la Bananeraie. C'est qui prouve une grande dissemblance.

4 DISCUSSION

Après deux mois d'investigation dans différents sites répartis en trois habitats (forêt secondaire, jachère vielle, bananeraie) dans la région de Kasugho nous sommes arrivés à capturer par la main suite à une chasse à vue, 769 spécimens d'araignées regroupés en 30 familles et 59 espèces.

Parmi les 30 familles identifiées dans la région de Kasugho, 2 avaient été trouvées par Juakaly (2007), à savoir Ctenidae et Lycosidae; et 3 par Aladro (2009) qui sont Ctenidae, Lycosidae et Pisauridae dans la région de Kisangani. Les deux chercheurs avaient utilisé la méthode Distance sampling, spécifique pour les araignées capables de refléter la lumière (Ctenidae, Lycosidae, Sparassidae et Pisauridae) (Juakaly, 2007). Ceci expliquerait une faible abondance des familles lors de leurs études. Néanmoins, en utilisant le piège Barber, le nombre de famille est plus élevé car toute araignée en déplacement tombe facilement dans le dispositif (Canard, 1981).

Les familles les plus abondantes sont celle de Lycosidae ($n_i=437$), suivi des Araneidae ($n_i=127$), Ctenidae ($n_i=49$) et Tetragnatidae ($n=37$). Hansali & Belkessam (2017) prouve l'existence de 20 familles en Algérie dans la région de Bouira, où les Lycosidae sont les plus abondantes avec 195 individus à la Crête rouge et 90 individus à El-Asnam. Ils sont suivis par les Salticidae avec 32 individus, et 27 individus à l'El-Asnam, cette dernière est suivie par les Gnaphosidae (31 individus) c'est qui est partiellement convergent vers nos résultats.

Par contre nos résultats n'appuient pas ceux de Makata (2016) qui a prouvé que la famille des Salticidae est la plus abondante avec 39 individus suivie des familles des Thomisidae et Araneidae qui ont respectivement 35 et 25 individus chacune et parmi les moins représentées, sont les Lycosidae, les Tetragnathidae et les Liocranidae avec chacune 1 individu.

La plus diversifiée parmi les familles répertoriées est celle des Araneidae (avec 6 genres, 12 espèces) suivi de Thomisidae (4 genres, 4 espèces), les Tetragnatidae, les Lynphiidae sont représentées par 3 genres chacune, les autres n'ont que 2 ou un seul genre voir une seule espèce.

Ce résultat concorde avec celui d'Abiola & Joshua (2014) qui ont trouvé au Nigeria les Araneidae plus riche en espèces et plus abondante avec 45% d'individus récoltés. Par contre, Dippenaar- Schoeman *et al.* (2018), dans leur étude en Afrique du

Sud, ont trouvé que les Salticidae étaient plus représentés ($S=20$), suivi des Thomisidae ($S=18$), les Araneidae ($S=11$). Dans cette même étude 9 familles sont représentées chacune par une espèce.

Ce résultat est parallèle à celui de Juakaly (2077) qui pour lui les plus diversifiées étaient les Corinnidae, des Zodariidae, des Lycosidae, et des Salticidae c'est qui serait dû au choix d'une méthode qui cible une catégorie d'araignées.

Ce résultat ne corrobore pas avec celui d'Aladro (2009) sauf par piège Barber il trouve la famille de Ctenidae qui était la plus représentée avec 2 genres et 8 espèces et celle de Thomisidae avec deux genres et 2 espèces. Cette dernière illustrée dans nos résultats.

Nos résultats rejoignent partiellement ceux de Berretima (2016) en Algérie pour lui les Gnaphosidae sont notés avec le plus grand nombre d'espèces soit 29, Linyphiidae et Lalticidae 11 espèces Lycosidae 9, Thomisidae 8 par piège Barber et la chasse à vue.

Russell-Smith (2009) a trouvé un résultat contraire au notre en Tanzanie et en Namibie. Les Salticidae et les Gnaphosidae comptaient la plus grande proportion en espèces, approximativement 16% à 17% de toutes les espèces à Etosha (Tanzanie) et 14% de toutes les espèces à Mkomazi (Namibie).

Sur le plan spécifique, les résultats montrent que l'espèce *Pardosa sp* est la plus abondante avec 37,2% suivi d'*Aulonia albimana* avec 19,6% (Lycosidae), *Cyrtophora cytricola* avec 8,4%

(Araneidae), *Leucage argyrobata* (Tetragnatidae), *Caesrostris sp1* (Araneidae), *Africtenus decorosus* (Ctenidae) viennent après respectivement avec 3,7%, 3,6%, 3,5%. Les autres espèces sont faiblement représentées.

Pour Berretima (op cit) les espèces appartenant à la famille des Gnaphosidae sont les plus abondantes en effectifs à Biskra. Il cite *Zelotes laetus*, *Trachyzelotes mutabilis*, *Nomisio exornata*, *Urozelotes rusticus*, *Haplodrassus dalmatensis*, A Serraoui les espèces de la famille de Lycosidae sont les plus abondantes *Pardosa proxima* et *Alopecosa albofasciata*. Pour Touggourt, *Zodarium sp* (Zodariidae) est plus représentée en effectifs. Ce résultat converge moins vers le nôtre sauf pour la région de Biskra avec les Lycosidae qui sont plus abondants chez nous.

Dans la jachère vieille l'espèce qui est plus abondante est *Pardosa sp* (Lycosidae) suivi d'*Aulonia albimana* (Lycosidae), *Leucage argyrobata* (Tetragnatidae), *Ctenus sp* (Ctenidae), *Liocranum sp*. Dans la forêt secondaire *Cyrtophora citricola* (Araneidae) est la plus abondante espèce, après vient *Caesrostris sp1*, *Pardosa sp*, *Aulonia albimana*. Dans la bananeraie *Pardosa sp* vient à la première place suivi d'*Aulonia albimana*, *Leucage argyrobata*, *Salticus sp* (Salticidae).

Aladro (op cit) a trouvé que, les espèces *Pardosa sp* (Lycosidae) et *Africtenus decorosus* (Ctenidae) sont abondantes en jachère vieille. En forêt secondaire, les espèces *Anahita lineata*, *Ctenus fallax*, *C. pilosus* et *Africtenus decorosus* sont abondamment capturées. En forêt primaire, les espèces *Ctenus fallax* et *C. pilosus* sont abondantes. Ce résultat se rapproche avec le nôtre avec une différence près, *Pardosa sp* qui se retrouve parmi les plus abondantes dans tous nos habitats.

Les observations faites du tableau (2) montrent que la Jachère est l'habitat le plus diversifié en espèces ($S=33$). La bananeraie est moins spécifiée avec 20 espèces. Ce résultat confirme celui d'Aladro (op cit) et Kapita (2011) qui ont respectivement trouvé 20 espèces sont présentes dans la jachère vieille, 19 en forêt secondaire et 18 en forêt primaire; 14 genres en Forêt Primaire, 15 en Forêt secondaire vieille 12 en jachère vieille et 16 en jachère Jeune.

Nos résultats ne croisent pas ceux de Lofanga (2015) qui a trouvé dans la forêt monodominante présente une richesse spécifique légèrement plus élevée que la forêt mixte (29 contre 28).

Nos résultats convergent partiellement avec ceux de Michaud (2018), qui a trouvé dans son inventaire en France que le boisement humide était le plus riche avec 44 espèces sur les 132 inventoriées et que la pelouse sèche possédait des peuplements un peu moins riches.

Après analyse des résultats tous les habitats sont diversifiés avec un minimum dans la bananeraie. L'indice de Shannon est de 2,35 dans la jachère vieille, 2,435 dans la forêt secondaire et de 1,478 dans la bananeraie. Ce résultat rejoint celui de Mbusa (2007) Car pour son cas la forêt primaire a un indice de Shannon supérieur à celui de la jachère vieille; $H = 3,423$ en forêt primaire et $H = 3,166$ en jachère vieille.

Nos résultats corroborent avec ceux de Drangozo (2018) qui, les indices de la biodiversité montrent que le sous-bois est plus diversifié ($H=3,17$) que la litière ($H=2,47$).

Nos données ne collent pas avec celles de Baelo (2008) qui l'indice de diversité de Shannon montre que ses habitats ont une faible diversité. Elle est de 0,2346 en Arboretum; 0,2669 en forêt secondaire vieille et 0.262 en forêt primaire.

Dajoz (2006) indique qu'un indice de diversité élevée correspond à des conditions de milieu favorables permettant l'installation de nombreux groupes zoologiques.

En terme de répartition spatiale la jachère vieille est plus abondante avec 48,5%, suivi de la bananeraie avec 34,3%, la forêt secondaire vient à la dernière place (17,2%). Ce résultat est différent de celui de Mbusa (2007) qui avait capturé 69,5% des spécimens en forêt primaire et 30,4% en jachère vieille. Nos résultats concordent en terme de pourcentage avec ceux de Baelo (2008) qui a prouvé la présence dans trois habitats choisis du point de vue abondance relative, 30,6% de spécimens ont été récoltés en Arboretum, 37,1% en forêt secondaire vieille et 32,2% en forêt primaire.

Pour Juakaly (2007) La jachère jeune est la plus riche en effectifs avec 32,8% d'effectifs, tandis que la forêt secondaire jeune (11,62%) semble être le biotope le moins riche, pour les récoltes au piège Barber. Mais pour celle faites suivant la méthode de « Distance sampling », c'est plutôt la forêt primaire (30,71%) qui est la plus riche, tandis que la jachère jeune est la plus pauvre (15,98). Ce constat corrobore partiellement avec le nôtre pour les pièges Barber.

Partant du tableau (3) 13/59 espèces sont constantes. Il s'agit d'*Agelena sp*, *Cyrtophora citricola*, *Gasteracantha cf. sanguinolenta*, *Ctenus sp*, *Africactenus decorosus*, *Hersilia sp*, *Aulonia albimana*, *Pardosa sp*, *Salticus sp*, *Misumena vatia*, *Leucage argyrobata*, *Leucage sp2* et *Dolomedes sp*, et les restes sont accessoires. Ce résultat ne divergent pas tellement avec celui de Kipita (2011) qui a trouvé 6 genres constants sur 53 *Mallinella*, *Anahita*, *Storena*, *Synaema*, *Africactenus* et *Thyene*. Ces résultats sont parallèles à ceux de Berretima (op cit) dans son analyse de la fréquence d'occurrence n'a trouvé aucune espèce constante selon ses résultats trouvé après la détermination des classes par l'équation de sturge, il reparti les échantillons entre 4 classes de constance dans la palmeraie de l'I.t.d.a.s dont 25 espèces sont classées rare, 17 espèces très rares et 4 espèces accidentelles. Les espèces échantillonnées dans la palmeraie de la s.r.p.v se répartissent entre 5 classes de constance dont 29 espèces très rare 20 espèces rares 8 espèces accidentelles, 3 espèces accessoires, et 3 peu fréquentes. Dans la palmeraie de seraoui, 3 classes apparaissent dont l'une avec 36 espèces, très rares et les autres avec 7 espèces rares et 2 espèces accidentelles. Les espèces échantillonnées dans la palmeraie de Touggourt se répartissent entre 3 classes de constance, avec 30 espèces très rares au sein de la première, 19 espèces rares dans la seconde et 4 espèces accidentelles dans la troisième.

Par contre Hansali & Belkessam (2017) ont trouvé dans leur recherche des espèces fréquente, à la Crête rouge, l'analyse de la fréquence d'occurrence a permis de classer les familles capturées en 5 classes de constance: rare, peu fréquente, fréquente, accessoire et très accessoire. Dans la station d'El-Asnam, l'équation de Sturge permis de classer les individus capturés en 4 classes de constance: peu fréquente, fréquente, accessoire et très accessoire.

Les individus sont presque équitablement répartis au sein des habitats exploités et l'analyse des variances prouvent qu'il n'y a pas de différence significative entre les habitats exploités dans la région de Kasugho ($p=0,435$ avec $ddl=2$). La probabilité de prélever, dans un même habitat, deux individus qui soient d'espèces différentes est supérieure à 80% en jachère et en forêt secondaire et de 58,9% dans la bananeraie. Ce résultat colle en moitié avec celui de Lomangi (2011) lors de ses investigations, dans tous les habitats, les individus étaient équitablement répartis dans les différentes espèces, les peuplements étaient entièrement différents. La probabilité de tirer au hasard 2 individus appartenant à 2 espèces différentes variait entre de 81% et 89%.

Nos observations convergent partiellement avec ceux de Berretima (2016) car ayant travaillé dans les palmerais qui différents de nos habitats. Dans la plantation de palmiers-dattiers de l'I.t.d.a.s l'équitabilité appartient à l'intervalle $0,88 < E < 1$. Les valeurs de E dans la station S.r.p.v., font partie de la fourchette $0,85 < E < 0,98$. Il en est de même pour la palmeraie Seraoui ou l'équitabilité se retrouve dans l'intervalle ($0,79 < E < 1$) Toutes ces valeurs pour les palmerais de Biskra tendent vers 1 ce qui montre les effectifs des espèces tendent à être en équilibre entre eux.

Aladro (op cit) les individus sont en grande partie équitablement répartis entre les espèces. Les peuplements d'Araignées sont semblables dans les trois habitats. Ce qui va dans le même sens que nos observations.

Le tableau (2) nous montre que la similarité des espèces récoltées dans la jachère vieille et celles récoltées en forêt secondaire est de 12,1%, elle est de 13,1% entre la jachère vieille et la bananeraie et de 13,4% entre la forêt secondaire et la Bananeraie. C'est qui prouve une grande dissemblance. Ceci confirme les résultats de Lomangi (2011) ses peuplements étaient différents.

5 CONCLUSION

La présente étude porte sur l'inventaire préliminaire de la diversité des araignées dans la région de Kasugho. L'objectif principal de cette étude était de donner la liste des araignées retrouvées dans la région de Kasugho et comparer leur abondance selon les types d'habitats. A l'issue de cette étude, les conclusions suivantes ont été tirées: Les résultats ont fourni 59 espèces

réparties dans 30 familles; la famille la plus abondante est celle des Lycosidae avec 437 individus et la plus diversifiée est celle des Araneidae avec 6 genres et 12 espèces.

La jachère est l'habitat le plus riche en espèce (33) et le plus riche en individus (373) mais légèrement moins diversifié que la forêt secondaire. La bananeraie est moins spécifiée avec 20 espèces. Dans la Jachère vieille *Pardosa sp* (soit 28,1%) et *Aulonia albimana* (27,9%) sont les espèces les plus abondantes. Dans la forêt secondaire, les espèces les plus abondantes sont *Cyrtophora citricola* (33,3%) et *Pardosa sp* (13,6%) et dans la bananeraie, *Pardosa sp* (61,7%) et *Aulonia albimana* (14,8%).

Le résultat du logiciel Past 3.2 montre que tous les habitats sont diversifiés avec un minimum dans la bananeraie. La probabilité de prélever, dans un même habitat, deux individus qui soient d'espèces différentes est supérieure à 80% en jachère et en forêt secondaire et de 58,9% dans la bananeraie. Les individus sont presque équitablement répartis au sein des habitats exploités et l'analyse des variances prouvent qu'il n'y a pas de différence significative entre les habitats exploités dans la région de Kasugho ($p = 0,435$ avec $ddl=2$). 13/59 espèces sont constantes. Il s'agit d'*Agelena sp*, *Cyrtophora citricola*, *Gasteracantha cf. sanguinolenta*, *Ctenus sp*, *Africactenus decorosus*, *Hersilia sp*, *Aulonia albimana*, *Pardosa sp*, *Salticus sp*, *Misumena vatia*, *Leucage argyrobata*, *Leucage sp2* et *Dolomedes sp*, et les restes sont accessoires. En termes de répartition spatiale la jachère vieille est plus abondante avec 48,5%, suivi de la bananeraie avec 34,3% et la forêt secondaire vient en dernier lieu 17,2%.

Les investigations sur les Araignées dans la région de Kasugho doivent être spécifiées, l'utilisation de diverses techniques est d'importance capitale pour bien élucidé la diversité dans les différents groupes d'Araignées, les études doivent s'étaler sur des longues périodes pour aborder d'autres facteurs importants.

REFERENCES

- [1] Aladro M., (2009). Biodiversité et écologie des araignées de la réserve forestière de la Yoko et ses environs (Ubundu, RDC), mémoire inédit, fac des sc. UNIKIS, 48P.
- [2] Anonyme, (2011). au fils des araignées, Exposition co-produite par l'Espace des sciences de Rennes et le Muséum National d'Histoire Naturelle, 57P.
- [3] Baleo L., 2008, influence de l'isolement sur la résilience des araignées du sol (cas de l'arboretum de Kisangani et de la réserve forestière de masako, mémoire inedit R.DCongo, fac. des sc. UNIKIS, 29P.
- [4] Berretima W., (2016). Biosystématique des araignées dans les régions de biskra et de touggourt, DES inedit, fac des sc, Ensa-el-Harrach Alger, 171P.
- [5] Bernard, (2002). De l'activité individuelle à la coopération auto-organisée chez les Arthropodes: Exemple de la construction d'une toile chez les Araignées, faculté des sciences & techniques, thèse inédit, l'Université Henri Poincaré, Nancy 1 en Neurosciences, 164P.
- [6] Beudin Eric, Bourel Benoît, Crespel Delphine, (2012). Araignées en Nord-Pas de Calais.
- [7] Support d'aide à la détermination à vue Section Araignées du GON-V1, 28P.
- [8] Blandin P., 1986. Bioindicateurs et diagnostic des systèmes écologiques. Bull Ecologie, 17 (4): 215-307p.
- [9] Canard. & Rollard., (2015). A la découverte des araignées. Dunod éditeur, 75P.
- [10] Canard, (1981). Utilisation comparée de quelques méthodes d'échantillonnage pour l'étude de la distribution des araignées en landes, C.R. VIème Coll. Arachnol. Express. franç., Modena-Pisa Atti Soc. Tose. Sei. Nat., Mem., ser. B, 88, suppl, 85-94P.
- [11] Cazeach, (2005). Faune et flore sauvages sont menacées, pdf, 5P.
- [12] Dajoz R., (2006). Précis d'écologie, 8ème Edition, Dunod, Paris, 631p.
- [13] Drouard, et Bounias-Delacour, (2018). C - L'identification des espèces d'araignées sans toile de chasse de la région PACA, Première version, 96P.
- [14] Drouard F. & Bounias-Delacour A., (2017). L'identification des espèces d'Araignées à toile géométrique de la région PACA, 18P.
- [15] Dippenaar- Schoeman, Haddad, Lyle, Lotz, Foord, Jocque, Webb, (2018). South African National Survey of Arachnida: A checklist of the spiders (Arachnida, Araneae) of the Tswalu Kalahari Reserve in the Northern Cape province, South Africa, in Koedoe - African Protected Area Conservation and Science, 14p.
- [16] Dippenaar-Schoeman, Haddad, Foord, Lyle, Lotz, Helberg, Mathebula, Marais, Van Niekerk & Jocqué, (2010). First Atlas of the spiders of south africa (arachnida: araneae) South African National Survey of Arachnida Technical Report 2010 version 1.97P.
- [17] Drangozo, (2018). biodiversité et abondance des araignées de la famille des salticidae (blackwell, 1841) à l'île mbiye, kisangani, RDC, Fac.Sc.TFC inedit, 26P.

- [18] Drouard et Bounias-Delacour, (2017). B - L'identification des espèces d'araignées à toile irrégulière de la région PACA, Première version, 48P.
- [19] Foord, Dippenaar-Schoeman, Haddad, Lotz & Lyle (2011). *The faunistic diversity of spiders (Arachnida: Araneae) of the Savanna Biome in South Africa*, Transactions of the Royal Society of South Africa, 66: 3, 170-201P.
- [20] Gerry Wegner, (2011). *Spiders identification guide*, 60p.
- [21] Gon, (2012). *Araignées en Nord-Pas de Calais - Support d'aide à la détermination à vue* Section Araignées du GON-V1, 28P.
- [22] Hansali & Belkessam, (2017). Contribution à l'étude de la biosystématique des araignées dans deux stations de cultures maraichères à Bouira. DES inedit, Universite Akli Mohand Oulhadj – Bouira, snv, Sc Agronomiques, 83P.
- [23] Ikazukuse N. (2007). Contribution à l'écologie des Araignées comestibles à toile du genre.
- [24] Nephila LEACH, 1915 (Nephilidae) à Masako (Kisangani, R.D Congo) Mémoire Inédit. Fac. Sc.Unikis.34p.
- [25] Juakaly M. JL., (2007). Résilience et l'écologie des Araignées du sol d'une Forêt équatoriale de basse altitude; thèse volume 1 inédit, Fac des sc UNIKIS, 149P.
- [26] Jocqué, R. 1981. A generic revision of the spider family Zodariidae (Araneae). Bull. An, Mus. Nat. His.201: 1-160.74 illustrations.
- [27] Jocqué & Dippenaar-Schoeman, (2007). Spider Families of the World. Ed. mrac, Tervuren et ARC-PPRU, 299p.
- [28] Kapita, (2011). Résilience et capacité de dispersion des araignées dans la réserve forestière de masako (kisangani, r.d. congo), TFE inédit, Fac. SC. UNIKIS, 60P.
- [29] Kakuni, 2007, Cours de Pédologie, Cours Inédit, Faculté des Sciences, TCCB-UCNDK, G3 Biologie.
- [30] Lofanga A., (2015). biodiversité et écologie des araignées dans la réserve forestière de la yoko (ubundu, rdc): Forêt mixte et forêt monodominante, TFC inédit, Fac. Sc.UNIKIS, 50p.
- [31] Lomangi G.C., (2011). Résilience et capacité de dispersion des araignées en forêt pluviale: cas de la réserve forestière de la yoko (ubundu, r.d.congo), TFC Inédit Fac Sc UNIKIS, 58P.
- [32] Makata, (2016). Biodiversité des Salticidae et Lycosidae dans la forêt mono dominant à gilletiodendron kisantuense aux environs de la Réserve Forestière de Yoko. TFC inédit, Fac.Sc.Unikis, 32p.
- [33] Mallon, Hoffmann, Grainger, Hibert, van Vliet, et Mc Gowan, (2015). Analyse de situation de l'UICN concernant la faune terrestre et d'eau douce en Afrique centrale et de l'Ouest. Document occasionnel de la Commission de la sauvegarde des espèces de l'UICN n° 54. Gland, Suisse et Cambridge, Royaume-Uni: UICN. x 162 pp.
- [34] Mbusa, (2007). Biodiversité et écologies des Araignées arboricoles des sois bois à Masako (RD. Congo). Mémoire inédit, Fac. SC/UNIKIS, 43p.
- [35] Mouret, Michaud et Prevel, (2016). Les araignées préservée la biodiversité dans la métropole de Lyon. Métropole de Lyon 20, rue du Lac CS 33569 - 69505 Lyon Cedex 03, 20P.
- [36] Misave, (2006). Contribution à l'étude floristique des mauvaises herbes colonisant les cultures saisonnières dans le milieu de Kasugho, TFC inedit fac des Sc. UCNDK. 32P.
- [37] Mukinzi, I.J.C. (2014). Biodiversité et Ecologie des Musaraignes (Soricomorpha, Mammalia) de la Réserve Forestière de Yoko et des milieux perturbés environnants (Kisangani, RDC). Thèse Doct. Inédite, Fac. Sci., Kisangani, 228p.
- [38] Mukwarabya, (2010). Structure de population de *Suncus megulura* (jentink 1888) et *Sylvisorex granti* Thomas 1907 (Soricomorpha, Mammalia) de Kasugho (Nord-Kivu, RDC) basée sur des caractères cranio-dentaires, mémoire, inédit, fac. Des sc. UCNDK, 37p.
- [39] Ngalire, (2017). Les Araignées comestibles du genre *Nephila* Leach 1815 (Nephilidae) dans la Réserve Forestière de Yoko et ses environs (Ubundu, RDC) Distribution et composition nutritionnelle, TFE inédit, Fac Sc.UNIKIS, 49P.
- [40] Nshimba, S.W. (2008). Etude floristique, écologique et phytosociologique des forêts de l'île Mbiye à Kisangani. Thèse de Doctorat, inédite. ULB, 255 p.
- [41] Sankaran & Sebastian (2018). First record of *Africactenus Hyatt, 1954* and redescriptions of two poorly known species of *Ctenus Walckenaer, 1805* (Araneae, Ctenidae, Cteninae) from India, Division of Arachnology, Department of Zoology, Sacred Heart College, Thevara, Cochin, Kerala 682 013, India. 395-406P.
- [42] Rollard & Max Goyffon, (2012). Biologie des araignées et des scorpions, conference-debat tenue le 27 novembre 2012 à l'Institut Curie, Paris, 4P.

Contribution au dépistage des kystes des protozoaires intestinaux: Etude comparative entre la coloration directe au LUGOL et la concentration de THEBAUT dans l'identification des protozoaires intestinaux (Amibes)

[Contribution to the screening of intestinal protozoa cysts: Comparative study between direct staining with LUGOL and the concentration of THEBAUT in the identification of intestinal protozoa (Amoebas)]

Paluku Kanyere Dieudonné

Institut Supérieur d'Etudes Agronomiques, Vétérinaires et Forestières (ISEAVF-Butembo), Butembo, 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: Butembo city is undergoing serious disease problems as that of dirty hands. Among these diseases we have that caused by *Entamoeba histolytica* which is spreading a great deal among pupils although the increasing health structures. Two methods of checking the *Entamoeba* are held:

- The direct lugol coloration and.
- The Thebaut test.

Our concern is to detect which one of two mentioned above will offer us a good result. As a sample we examined 50 primary school pupils stool specimen. After a deep study, we got a clear conclusion that the Thebaut test is better than the direct Lugol coloration.

KEYWORDS: screening, cysts, intestinal protozoa, LUGOL, THEBAUT, Amoebas.

RESUME: La ville de Butembo connaît de sérieux problèmes des maladies dites de main sale. Parmi celles-ci nous avons l'amibiase dont la prévalence se manifeste avec des proportions inquiétantes au sein de la population notamment scolaire malgré la multiplicité des structures sanitaires. Deux méthodes de dépistage des kystes d'amibe sont utilisées: la coloration directe au lugol et le test de Thebaut. L'objectif du travail vise à identifier la méthode la plus performante. C'est à ce titre que nous avons prélevé des échantillons des selles frais auprès de 50 écoliers de la ville de Butembo. Après analyse des résultats, le test de Thebaut est de loin plus performant que la simple coloration au lugol. (39 cas positifs sur les 50 échantillons soit 78% contre 11 cas sur 50 soit 22% pour la coloration directe au Lugol).

MOTS-CLEFS: dépistage, kystes, protozoaires intestinaux, LUGOL, THEBAUT, Amibes.

1 INTRODUCTION

Le manque d'eau potable dans la ville de Butembo et ses environs est à la base des maladies hydriques dans les ménages. Parmi ces maladies, nous retenons principalement les parasitoses intestinales, les diarrhées, les dysenteries bacillaires, etc. (Raven, 2009).

Par ailleurs, faute des moyens péculinaires et techniques, le personnel soignant dans les structures sanitaires se limite à prescrire un traitement sans pour autant exiger les examens au laboratoire. Même quand ces derniers sont effectués, ils ne

sont pas du tout différenciés à cause du coût que cette opération exige. Cette situation se fait remarquer surtout en cas d'amibiase (Croux M, 1984).

L'amibe appartient à la classe des Protozoaires, sous-classe des *Rhizopoda*; genre *Entamoeba*, espèce *Entamoeba histolytica* et *Entamoeba coli* qui sont fréquents chez l'homme. Dans leur cycle évolutif, les amibes présentent deux formes; la forme kystique et la forme végétative (Golvan Y, 1983).

La forme végétative est allongée d'une taille diamétrale de 12-35 μ m, elle se déforme pendant les mouvements. Elle est arrondie quand elle est immobile, son cytoplasme est transparent et bien différent de l'endoplasme finement granuleux. (Golvan Y, Op.cit). La forme kystique est ronde, de taille diamétrale de 12-15 μ m, elle a un à quatre noyaux avec une membrane fine, régulière et circulaire. Son cytoplasme est de couleur jaune grisâtre et granuleux. Toute fois le kyste d'*Entamoeba coli* a huit noyaux avec une coque épaisse. Sa taille diamétrale est de 15-20 μ m ou même 30 μ m. (Vasombolwa K, 2002) et (Croux M, Op.cit).

La recherche précédente à celle-ci était orientée vers l'étude de la prévalence de l'amibiase en milieu rural et urbain en périphéries directes de la Ville de Butembo, nous a révélé que les populations villageoises présentent un taux d'infections plus élevé (33%) contre une plus faible proportion en milieu urbain (17%). Ces résultats nous ont poussé à chercher à comprendre cette différence et à rechercher une méthode rapide et précise qui permettrait au personnel soignant d'agir sans doute.

Cette étude a été menée pour diagnostiquer le genre *Entamoeba* et en particulier l'espèce *E. histolytica*. Cette espèce est spécifiquement humaine et elle est répandue dans le monde entier sur une proportion de 10% de la population mondiale. Mais l'amibiase est surtout endémique dans les zones tropicales où l'hygiène est insuffisante. Ici on constate que les patients présentent différents symptômes allant de la forme intestinale aigue chronique; et extra intestinale. Pour tous ces cas, le porteur souffre jusqu'à devenir moins actif dans sa vie et passer parfois dans un état de dépendance. D'où ce mal est à déceler le plus tôt possible et chercher à l'éradiquer, en appliquant la méthode la plus efficace possible. Cependant, l'examen direct d'un fragment des selles émis peu de temps avant l'observation microscopique permet la mise en évidence des formes végétatives mobiles et d'en préciser les caractères (Vasombolwa, Op.cit).

Si ce premier examen est négatif, il est conseillé de reprendre l'examen au besoin après réaction par un purgatif salin tel que le sulfate de magnésium puis le compléter par une technique de concentration comme celle de Thebaut. Cette technique est en effet indiquée pour la recherche des protozoaires enkystés (Vasombolwa, Op.cit).

Préoccupé par l'endémicité de l'amibiase dans nos agglomérations, nous souhaitons que l'analyse effectuée pendant la manifestation du malaise soit précise et qu'elle soit en mesure de relever un résultat fiable pour vite soulager le patient sans tâtonnement. Généralement les techniciens de laboratoire recourent à la méthode de coloration directe au lugol au détriment de la méthode de Thebaut. (Roland M, 1974).

En effet la recherche de l'amibe se fait par l'examen au microscope photonique à objectif 10 ou 40fois. Elle consiste à mettre en évidence les formes végétatives dans les selles fraîches ou conservées à 37° C. Pour confirmer les résultats, il faut reprendre l'examen sur trois échantillons frais entre 3 à 4 jours d'intervalle chez le même individu.

La réaction sérologique est indispensable dans le cas de l'amibiase extra intestinale primitive notamment hépatique. Le diagnostic différentiel avec la dysenterie bacillaire se fait par culture bactériologique qui isole l'espèce *Shigella dysenteriae*.

Au cours de la présente recherche, nous voulons présenter l'efficacité de la méthode de Thebaut pour un diagnostic rapide et précis de kyste des protozoaires (Amibes). En plus, nous aimerions encourager les techniciens de laboratoire d'appliquer les deux méthodes pour atteindre et présenter un résultat fiable enfin de réduire l'incidence de ce mal dans notre environnement direct.

2 MATÉRIELS, RÉACTIFS ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIELS

A part les consommables (papiers, feuille de caoutchouc, bâtonnet râpé) les matériels suivants ont été utilisés:

- Microscope binoculaire
- Balance de précision
- Lame porte objet
- Lame couvre objet

- Pipette de transfert
- Centrifugeuse
- Tube
- Gaz (chinois métallique)
- Verre à pieds
- Ballon à décanter

2.2 LES MÉTHODES

2.2.1 COLLECTION DES ÉCHANTILLONS

Les échantillons de recherche "ont été prélevés auprès des écoliers de l'école primaire Tsaka-Tsaka dont l'âge varie de 6 à 10 ans. Nous les avons choisi de manière aléatoire dans les classes de première à troisième année. Dans chaque classe nous avons choisi cinq élèves chez qui nous avons réalisé deux examens destinés à la recherche des cellules végétatives ou kystiques des *Entamoeba* et cela par deux méthodes différentes à savoir; la coloration directe au lugol et la méthode de concentration de Thebaut.

Tous les échantillons prélevés ont été examinés au laboratoire central de l'Université Catholique du Graben fonctionnant dans les bâtiments de l'Institut Technique Agricole et Vétérinaire de Butembo.

Pour assurer un prélèvement conforme des échantillons, nous donnions à l'écolier un morceau de caoutchouc propre, un papier propre et un bâtonnet propre en bois (tigette de balais râpée). Ensuite nous demandions à l'écolier de déféquer sur papier et de prélever rapidement une portion importante des selles, le placer sur caoutchouc et nous l'amener. Nous avons alors nous même pris l'échantillon, l'étiqueter et l'amener au laboratoire.

2.2.2 COLORATION AU LUGOL

- **Matériels**
 - Microscope binoculaire
 - Lame porte objet
 - Lame couvre objet
- **Réactifs**
 - Lugol dilué 5 fois
 - Mode opératoire

Une portion de selles est mélangée avec la goutée de Lugol sur la lame P. objet la préparation est couverte moyennant la lamelle. La lecture est réalisée au microscope avec l'objectif 10 et 40 X.

2.2.3 MÉTHODE DE CONCENTRATION DE THEBAUT

- **Matériels**
 - Microscope binoculaire
 - La balance de précision
 - Lame porte objet
 - Lame couvre objet
 - Pipette de transfert
 - Centrifugeuse
 - Tube
 - Gaz (chinois métallique)
- **Réactifs**
 - Solution d'acide trichloroacétique formolée, ethersulfirique), Lugol
 - Verre à pied
 - Ballon à décanter

• **Mode opératoire**

Technique: délayer les selles dans la solution d'acide trichloracétique formolée à raison d'un volume de selles pour 10 volumes de liquide de dilution sur un chinois métallique (Gaz) et recueillir le filtrat dans un verre à pied. Laisser déposer au moins 2 minutes pour que les résidus lourds se rassemblent au fond du verre. Verser alors le surnageant dans le ballon à décanter et ajouter un volume égal d'Ether sulfurique. Emulsionner par agitation vigoureuse.

Laisser déposer au moins pendant 2 minutes. Soutirer le liquide clair dans un tube à centrifuger. S'il y a encore un dépôt abondant au fond du ballon à décanter, laisser de côté le 1^{er} millilitre de façon à ne garder que le liquide clair, centrifuger (1800 tours/minutes). Recueillir et examiner le culot.

3 PRÉSENTATION ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

3.1 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Les résultats des examens des selles au Laboratoire sont repris à l'annexe 1. Pendant nos manipulations, nous exprimons les résultats par lame, c'est-à-dire le résultat global de toute la préparation en déterminant le nombre de tous les éléments rencontrés dans la préparation entière. Pour une lame positive (+), il était question de révéler les éléments qui font de la lame positive. Pour un résultat négatif, nous confirmions cette dernière après avoir lu deux à trois préparations.

C'est ainsi que sur 50 échantillons, 13 cas ont été positifs par la méthode de coloration directe au Lugol et 37 négatifs par la même méthode. Par contre 39 cas ont été positifs après concentration de THEBAUT et 11 cas négatifs par la même méthode. Aussi à partir du tableau en annexe n°1, nous constatons que sur 50 échantillons,

Les résultats obtenus au laboratoire sont repris dans le tableau 1 suivant:

Tableau 1. Cas positifs et Négatifs des kystes selon les classes

Taille de l'échantillon	Classe	Fréquence	Examen après coloration directe au lugol				Examen après concentration de Thebaut			
			+	%	-	%	+	%	-	%
50	1 ^{ère} année	15	7	14	8	16	14	28	1	2
	II ^{ème} année	13	4	8	9,	18	10	20	3	6
	III ^{ème} année	22	2	4	20	40	15	30	7	14
Total		50	13	26	36	74	39	78	11	22

Selon ce tableau, les cas positifs des selles correspondant aux classes de I^{ère} année, II^{ème} année, III^{ème} année étant respectivement de 14%, 8%, 4 % par l'examen direct au lugol augmente respectivement à 28 %, 20 %, 30 % dans l'examen après concentration de THEBAUT. Aussi les cas négatifs des selles correspondant aux classes de I^{ère} année, II^{ème} année, III^{ème} année étant respectivement de 16 %, 18%, 40 % par l'examen direct au Lugol diminue respectivement à 2 %, 6 %, 14% par la méthode après concentration de Thebaut.

Tableau 2. Cas positifs et cas négatifs des kystes pour chacune de deux méthodes

Type d'examen / Résultat	Après coloration directe au lugol		Après concentration de Thebaut	
	Effectif	%	Effectif	%
Positif	13	26	39	78
Négatif	37	74	11	22
Total	50	100	50	100

De l'observation de ce tableau ci-après, il ressort d'un d'échantillon de 50 ans, on a 13 cas positifs présentant les kystes à l'examen après coloration directe au Lugol soit 26% contre 39 cas positifs après concentration de Thebaut soit 78%.

Tableau 3. Fréquence de consistance des selles, les résultats positifs et les résultats négatifs, aux kystes selon la méthode utilisée

Consistance	Fréquence	%	Examen après coloration directe au lugol				Examen après concentration de THEBAUT			
			+	%	-	%	+	%	-	%
Selles Molles	15	30	1	2	14	28	10	20	5	10
Selles très molles	4	8	3	6	1	2	3	6	1	2
Moulées	31	62	9	18	22	44	26	52	5	10
Total	50	100	13	26	37	74	39	78	11	22

Selon ce tableau 3, les résultats positifs des selles molles par la méthode de coloration directe au lugol est de 2 % alors qu'après concentration, elle augmente à 20 %. En même temps les résultats négatifs des selles molles par la méthode de coloration directe au lugol sont de 28% alors qu'après concentration ils diminuent à 10 %. Les résultats positifs des selles très molles par la méthode de coloration directe au Lugol est la même que par la méthode après concentration de Thebaut, soit 6 % pour les 2 méthodes dans le cas des selles très molles et 2 % des résultats négatifs par les deux méthodes.

Enfin, les résultats positifs des selles moulées par la méthode de coloration directe au Lugol sont de 18 % alors qu'après concentration, ils augmentent à 52 % et les résultats négatifs des selles moulées par la méthode de coloration directe au Lugol sont de 44 % alors qu'après concentration, ils diminuent à 10 %.

En somme, avec une taille de 50 échantillons seulement 13 cas ont été positifs, soit 26 % après examen direct, contre 39 cas positifs soit 78 % après concentration de Thebaut.

Tableau 4. Cas négatifs aux kystes pour la méthode de coloration directe au Lugol comparés à leurs résultats après concentration de Thebaut

L'échantillon	Lugol		Thebaut	
	Effectif cas négatifs	%	Effectif cas négatifs	%
37	37	74	11	22

Des 37 cas déclarés négatifs après coloration directe au Lugol, 26 soit 72,22 % se sont révélés positifs après concentration de Thebaut.

3.2 INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

En utilisant le test de chi-deux (chi-carré), nous aurons ce qui suit conformément aux résultats présentés dans le tableau n°2: Si la méthode utilisée n'avait aucun rapport avec les résultats de l'analyse, au Laboratoire, et si cette variable " méthode appliquée" était parfaitement indifférente, on s'attendrait à ce que le pourcentage des résultats positifs et négatifs soient le même dans l'une ou l'autre méthode.

Cependant, la situation effectivement constatée s'écarte de cette hypothèse nulle. D'où il y a lieu d'appliquer un test statistique, en l'occurrence le test chi-deux pour éprouver l'hypothèse nulle qui stipule que le résultat par la méthode à la coloration au lugol serait le même que celui de la méthode à la concentration de Thebaut.

$$X^2 = \sum \frac{(fo - ft)^2}{ft} = \text{avec } \sum = \text{somme,}$$

Fo = Fréquence Observée et ft = Fréquence Théorique

Le tableau de contingence s'exprime de la manière suivante :

fo	ft	$\frac{(fo - ft)^2}{ft}$
13	26	6.5
39	26	6.5
37	24	7.04
11	24	7.04
Total		27.08 = x^2_{obs}

$$\alpha = 0.5 \text{ et } ddl = 1 \Rightarrow X^2_{th} = 3.84$$

$$x^2_{obs} = 27.08 \text{ supérieur à } x^2_{crit} = 3,84$$

L'hypothèse nulle est rejetée selon laquelle la méthode au Lugol donnerait les mêmes résultats que la méthode de Thebaut.

4 CONCLUSION

Notre préoccupation majeure était de savoir la quelle de deux méthodes serait plus fiable. Au cours de cette recherche, les objectifs poursuivis pour l'intérêt de notre population exposée à une infection continue sont:

- Fixer l'opinion des techniciens de laboratoire sur la méthode désormais fiable pour le dépistage des kystes de protozoaires pour identifier les pathogènes;
- Eclaircir rapidement le diagnostic pour permettre une décision urgente au personnel soignant

Pour réaliser ce travail nous avons procédé à la récolte aléatoire de 50 échantillons des selles chez les enfants de 1^{ère}, 2^{ème} et 3^{ème} année d'études primaires à l'école TSAKA-TSAKA située en Ville de Butembo. Ces échantillons ont été examinés au Laboratoire Central de l'U.C.G. (Université Catholique du Graben) en mai 2018 par deux méthodes d'analyse à savoir:

- La coloration directe au Lugol;
- La méthode de Thebaut

Les résultats sont clairs, la deuxième méthode améliore la mise en évidence des kystes des protozoaires soit 39 cas sur 50 ou 78% de l'effectif global.

Aussi cette méthode démontre une hétérogénéité des parasites dans un même échantillon allant jusqu'à 30,76% soit 4 cas sur 13 ayant présenté une espèce autre que celles trouvées dans les examens à la coloration au Lugol.

La méthode de Thebaut décèle les parasites même s'ils sont moins nombreux dans l'échantillon. Elle révèle des kystes dans un examen direct au Lugol sorti négatif. Nous confirmons donc que la méthode de concentration de Thebaut est performante pour la mise en évidence des kystes d'amibes dans un échantillon des selles.

REFERENCES

- [1] Herve HARANT, 1963, *parasitologie médicale et pathologie exotique*, 5 (me édition, librairie maloine S.A, Paris.
- [2] VASOMBOLWA K, 2002, *séminaire de microbiologie générale*, UNIKIS; Programme DES en chimie industrielle.
- [3] CROUX M et al, 1984, guide diagnostic de laboratoire Mangnen.
- [4] Roland -MARIE S.A, 1974, in documentation scientifique, laboratoire épidémiologie clinique et diagnostic thérapeutique.
- [5] GOLVAN Y-J, 1983, éléments de parasitologie médicale, éditions médicales Flammarion, Paris VI pp 49-52 et 216-240.
- [6] RAVEN et al, 2009: Environnement, 6^e éd, Boeck university, 39 B-1000 Bruxelles 687p.
- [7] SEKERAVITI, M., 1999: Essai de potabilité de l'eau de boisson du mont LUBWE, TFE, inédit, ISCA-Butembo.

ANNEXE 1. RÉSULTAT DES EXAMENS DES SELLES AU LABORATOIRE

N°	Classe	Examens macroscopique	Examens microscopiques	
			Après coloration directe au Lugol	Après concentration de THEBAUT
1	1 ^{ère} année	Molles	Négatif	Négatif
2	1 ^{ère} année	Très molles	3 kystes d' <i>E. Histolytica</i> /lame 1kyste d' <i>E. Coli</i> /lame	13 kystes d' <i>E. Histolytica</i> /lame 9 kystes d' <i>E. Coli</i> /lame
3	1 ^{ère} année	Moulées	2 kystes d' <i>E. Histolytica</i> /lame	13 kystes d' <i>E. Histolytica</i> /lame
4	II ^{ème} année	Molles	Négatif	9 kystes d' <i>E. Histolytica</i> /lame
5	II ^{ème} année	Moulées	2kystes d' <i>E. Coli</i> /lame	2kystes d' <i>E. coli</i> /lame; 1kyste d' <i>E. Histolytica</i> /lame
6	III ^{ème} année	Moulées	Négatif	Négatif
7	III ^{ème} année	Molles	2kystes d' <i>E. Histolytica</i> /lame	8 kystes d' <i>E. Histolytica</i> /lame
8	II ^{ème} année	Moulées	3kystes d' <i>E. Histolytica</i> /lame	12 kystes d' <i>E. Histolytica</i> /lame
9	II ^{ème} année	Moulées	3kystes d' <i>E. Histolytica</i> /lame	10 kystes d' <i>E. Histolytica</i> /lame
10	1 ^{ère} année	Moulées	10 kystes de Giardia/lame	30 kystes de giardia/lame
11	1 ^{ère} année	Moulées	1 kyste d' <i>E. Histolytica</i> /lame	14 kystes d' <i>E. Histolytica</i> /lame
12	1 ^{ère} année	Moulées	Négatif	5 kystes d' <i>E. Histolytica</i> /lame; 3 kystes d' <i>E. Coli</i> /lame
13	II ^{ème} année	Moulées	Négatif	Négatif
14	III ^{ème} année	Molles	Négatif	Négatif
15	III ^{ème} année	Très molles	Négatif	Négatif
16	III ^{ème} année	Moulées	Négatif	1 kyste d' <i>E. Coli</i> /lame
17	III ^{ème} année	Très molles	17 kystes d' <i>E. Histolytica</i> /lame	21 kystes d' <i>E. Histolytica</i> /lame, 6 kystes d' <i>E. Coli</i> /lame
18	I ^{ère} année	Très molles	1 kyste d' <i>E. Histolytica</i> /lame	3kystes d' <i>E. Histolytica</i> /lame
19	II ^{ème} année	Molles	Négatif	Négatif
20	II ^{ème} année	Moulées	Négatif	Négatif
21	II ^{ème} année	Moulées	Négatif	1 kyste d' <i>E. Histolytica</i> /lame
22	1 ^{ère} année	Moulées	Négatif	1 kyste d' <i>E. Coli</i> /lame
23	1 ^{ère} année	Moulées	Négatif	2kystes d' <i>E. Coli</i> /lame
24	1 ^{ère} année	Molles	Négatif	2kystes d' <i>E. Coli</i> /lame
25	1 ^{ère} année	Moulées	Négatif	4kystes d' <i>E. Histolytica</i> /lame, 2 kystes d' <i>E. Coli</i> /lame
26	1 ^{ère} année	Molles	Négatif	2kystes d' <i>E. Histolytica</i> /lame, 1 kyste de Giardia/lame
27	II ^{ème} année	Moulées	Négatif	Négatif
28	III ^{ème} année	Moulées	Négatif	4 kystes d' <i>E. Coli</i> /lame
29	III ^{ème} année	Moulées	Négatif aux kystes	Négatif
30	1 ^{ère} année	Moulées	Négatif	5kystes d' <i>E. Histolytica</i> /lame, 2 kystes d' <i>E. Coli</i> /lame
31	II ^{ème} année	Moulées	Négatif	4kystes d' <i>E. Histolytica</i> /lame, 1 kyste d' <i>E. Coli</i> /lame
32	II ^{ème} année	Moulées	Négatif	2kystes d' <i>E. Coli</i> /lame
33	II ^{ème} année	Moulées	Négatif	4kystes d' <i>E. Coli</i> /lame
34	II ^{ème} année	Molles	Négatif	3kystes d' <i>E. Histolytica</i> /lame
35	II ^{ème} année	Moulées	2kystes d' <i>E. Histolytica</i> /lame	10kystes d' <i>E. Histolytica</i> /lame, 4 kystes d' <i>E. Coli</i> /lame
36	III ^{ème} année	Moulées	Négatif	4kystes d' <i>E. Histolytica</i> /lame
37	III ^{ème} année	Molles	Négatif	1kyste d' <i>E. Histolytica</i> /lame

38	III ^{ème} année	Moulées	Négatif	1kyste d'E. Coli/ lame
39	III ^{ème} année	Molles	Négatif	Négatif
40	III ^{ème} année	Molles	Négatif	Négatif
41	1 ^{ère} année	Moulées	2kystes d'E. Coli/ lame	12kystes d'E.Coli/lame
42	1 ^{ère} année	Moulées	20 kystes d'E. <i>Histolytica</i> /lame	40kystes d'E. <i>Histolytica</i> / lame, 11 kystes d'E. Coli/lame
43	III ^{ème} année	Molles	Négatif	4kystes d'Endolinax nana/ lame, 2Kystes d'E.Coli/lame
44	III ^{ème} année	Moulées	Négatif	40kyste d'E. <i>Histolytica</i> / lame, 11 kystes d'E. Coli/lame
45	III ^{ème} année	Moulées	Négatif	1kyste d'Endolinax nana/ Lame
46	III ^{ème} année	Moulées	Négatif	4 kystes d'E <i>Histolytica</i> /lame
47	II ^{ème} année	Molles	Négatif	3 kystes d'E. <i>Histolytica</i> /lame
48	II ^{ème} année	Moulées	Négatif	3 kystes d'E. <i>Histolytica</i> /lame, 1 kyste d'E. coli/lame
49	III ^{ème} année	Moulées	Négatif	1 kyste d'E. <i>histolytica</i> / lame, 4 kystes d'E. coli/lame
50	III ^{ème} année	Moulées	Négatif	10 kystes d'E. <i>Histolytica</i> / lame 9 kystes d'E.coli/ lame

Etude géologique des formations situées entre les Villages Manterne et Luki (Province du Kongo Central, RD Congo)

[Geological study of the formations located between the Manterne and Luki Villages (Kongo Central Province, DR Congo)]

Serge Diemo¹, Patrick Mukonkole Mukonkole², Ndumba Don Raymond¹, Kazadi Mujinga Stella¹, Nsakala Tanda Reddy Andy¹, Kahindo Katoto Danielle¹, Kra Ange¹, and Ngumba Ngumba Victoire¹

¹Centre National de Télédétection (CNT), Kinshasa I, RD Congo

²Centre de Recherches Géologiques et Minières (CRGM), B.P.: 898, Kinshasa I, 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 formations of this region are essentially metamorphic Granit-Gneissic of which the term granitic is descended of the granitization-migmatization of Kimezien. Two tectonic periods have been demonstrated by double schistosity noticed to the level of the micas. The geochronology of these formations will be able to bring more precision on the age of these formations and that has the end will confirm or will invalidate the thesis to evoke in this survey.

KEYWORDS: Neoproterozoic, Migmatization, Tectonic, Schistosity, Kimezian, Orogenesis.

RESUME: Les formations de cette région sont métamorphiques essentiellement granito-gneissiques dont le terme granitique est issue de la granitisation-migmatisation d'âge Kimezien. Deux phases tectoniques ont été démontrées par une double schistosité remarquable au niveau des micas. La géochronologie de ces formations pourra apporter plus de précision sur l'âge de ces formations et qui à la fin confirmera ou infirmera la thèse évoquer dans cette étude.

MOTS-CLEFS: Néoprotérozoïque, Migmatisation, Tectonique, Schistosité, Kimezien, Orogenèse.

1 INTRODUCTION

L'intérêt de notre étude consiste en l'interprétation géologique de différentes natures pétrographiques se trouvant dans cette région. Pour parvenir à cette fin, il s'avère nécessaire de trouver des réponses aux questions sur la nature des constituants de ces roches, sur les types pétrographiques dont sont faites les roches.

Granites et migmatites se forment dans les parties profondes des chaînes de montagnes. En conséquence, on ne peut pas les étudier dans des chaînes récentes car elles s'y situent à grande profondeur et sont inaccessibles à l'observation directe. Notre étude portera sur les formations géologiques affleurant entre les villages Manterne et Luki dans la province du Kongo central, largement érodée dont les parties profondes sont donc à l'affleurement grâce à l'érosion. Ces formations sont situées dans une chaîne de collision et sont essentiellement formées de gneiss et de granites.

Les roches déformées montrent des caractéristiques pétrologiques et structurales très particulières: ce sont des migmatites qui permettent de comprendre l'origine des granites et donc le lien entre gneiss et granite. Ces migmatites sont des roches dont l'origine du mot (migma=mélange) reflète leur aspect et aussi leur mémoire.

Ces dernières formations se répartissent localement dans la province à l'Ouest et à l'Est, généralement subhorizontales et se superposent par rang d'âge. Les formations situées à l'Est sont d'origine continentale (Plateau de Bateké) tandis que celles de l'Ouest (dans le littoral) sont d'origine marine. Toujours dans ces terrains de couverture au niveau de la région occidentale du Kongo Central, on identifie une série de failles d'effondrement de la marge continentale en conséquence à l'ouverture de l'océan Atlantique (BAUDET et al., 2013 [2]). Par contre, les deux premiers Supergroupes constituent les « formations du soubassement » et appartiennent à un ensemble ayant subi plusieurs orogénèses dont la plus récente est l'orogénèse Ouest-Congolienne (TACK, 1983 [3]). Cependant, cette orogénèse Panafricaine a laissé les principales structures de la région du Kongo Central et est à la base du développement de la chaîne West-Congo (BAUDET et al., 2013 [2]).

D'après BAUDET et al. (2013) [2], les Groupes Zadinien et Mayumbien constituent les trois faisceaux ci-après:

- Les métarhyolites de Matadi-Palabala (Groupe de Matadi);
- Les métasédiments clastiques de Tshela (Groupe de Tshela);
- Les metabasaltes de Vangu et Gangila (Groupe de Seke-Banza)

Les formations géologiques comprises entre les villages Manterne et Luki sont d'âge Protérozoïque plus précisément du Néoprotérozoïque et du Paléoprotérozoïque (BAUDET et al., 2013 [2]). Les formations d'âge Néoprotérozoïque sont représentées lithostratigraphiquement par le Groupe de Tshela (Formation de Tshela). Tandis que les formations d'âge Paléoprotérozoïque sont représentées par le Supergroupe de Kimeza (Formations de Kimeza).

Formation de Tshela

Quartzites, quartzophyllites, phyllites foncées localement graphiteuses passant dans la partie supérieure à des quartzophyllites, phyllites vert-sombres avec localement des niveaux graphiteux ou carbonatés. La Formation serait l'équivalent occidental des Formations du Groupe de Seke-Banza voire peut-être même d'une partie du groupe de Matadi.

Formations de Kimeza

Le Supergroupe de Kimeza est composé de gneiss, gneiss oeillés, gneiss amphibolitiques, migmatites, marbres laminaires de diverses couleurs et quartzites. Ces gneiss peuvent se présenter localement cataclasés sous des conditions métamorphiques des schistes verts.

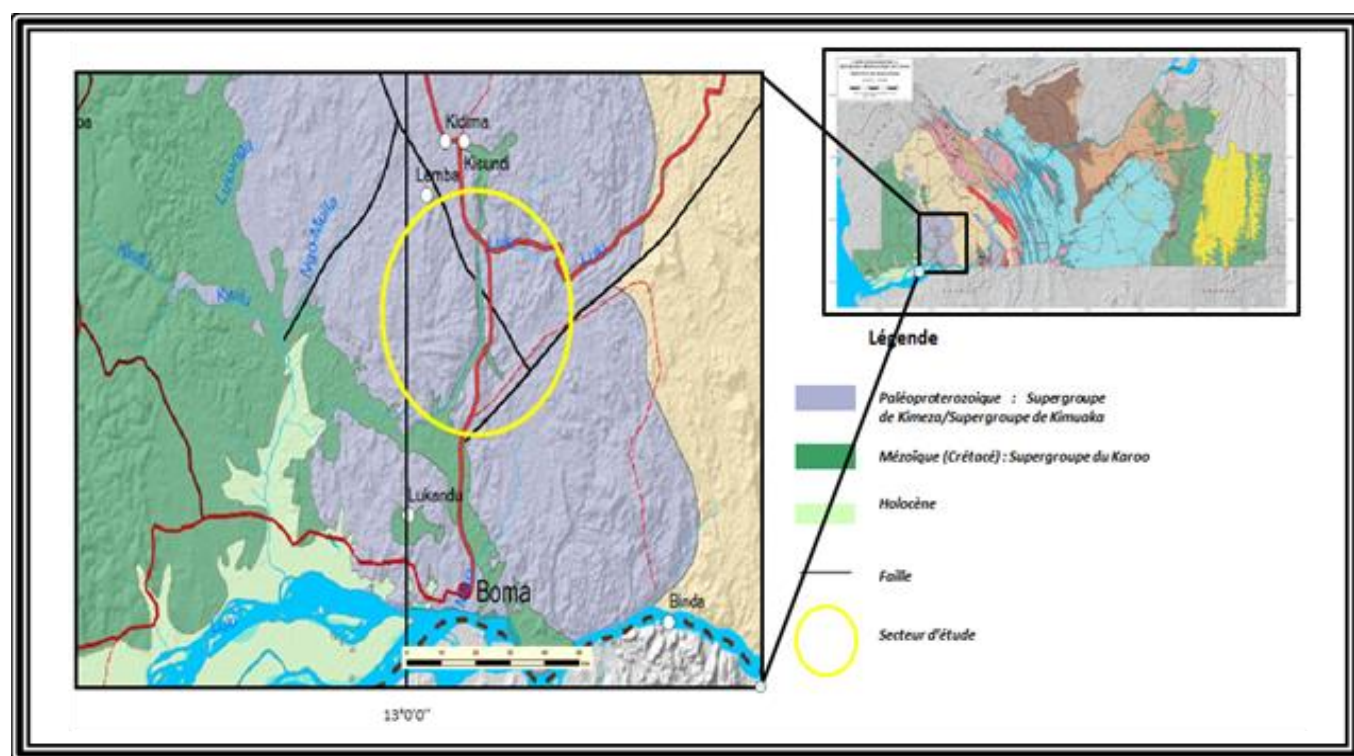


Fig. 2. Carte géologique du secteur d'étude (Extrait de la carte géologique du Kongo Central, E: 1/500.000, BAUDET et al, 2013 [2])

3.3 DESCRIPTION MACROSCOPIQUE ET MICROSCOPIQUE

Il s'agit ici de la description macroscopique à l'œil nu et à la loupe des échantillons de roches prélevés ainsi que leur description microscopique sur les lames confectionnées. Sur un total de 23 échantillons prélevés, 15 seulement ont été décrits et regroupés en familles pétrographiques et illustrés dans ce travail compte tenu des faciès qu'ils ont présentés.

3.3.1 LAME BD1

Descriptions

Macroscopiques et mesures structurales

La roche est de couleur vert foncée avec des paillettes des micas (biotite) ainsi que des cristaux des feldspaths en faible proportion (Figure 3A). N20°/80°WNW.

Microscopiques

- Quartz (22%): cristaux xénomorphes, clairs et limpides, peu abondants dans la plage de lame mince;
- Feldspaths
 - Microcline (15%): elle est kaolinisée et altérée caractérisée par une macle en quadrillage, et polarise en gris clair;
- Ferromagnésiens
 - Chlorite (52%): minéraux phylliteux jaunâtres et un bon clivage (une direction de clivage), présentant un pléochroïsme variable dans le vert;
 - Amphiboles (13%): hornblende verte à deux directions de clivage, d'où sa différence avec la chlorite et présentant des cristaux maclés, unidirectionnel suivant l'allongement du minéral, aspect troublé, pléochroïsme direct dans les nuances verdâtres

Nom: Chloritoschiste

Structure: Lépidoblastique.

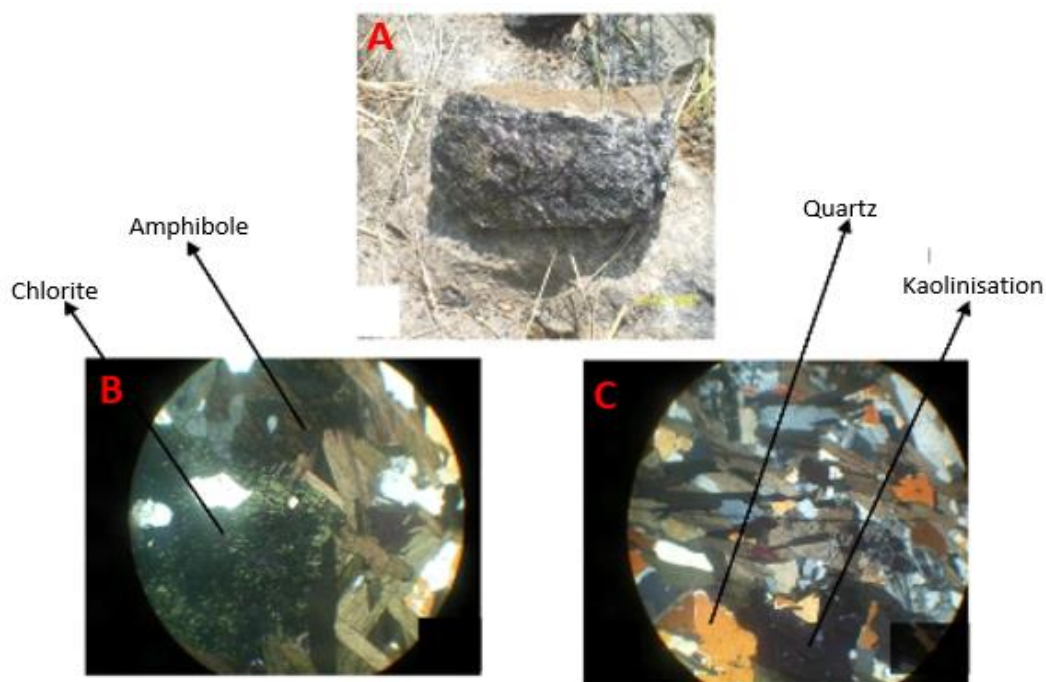


Fig. 3. Vue macroscopique (A) et microscopique (B et C) en lumière polarisée analysée (LPA) d'un chloritoschiste

3.3.2 LAMES BD2, BD7, BD9, Et Bd10

Descriptions

Macroscopiques et mesures structurales

La roche est de couleur vert foncé et non schisteuse avec des cristaux de quartz fins et de feldspaths visibles à l'œil nu et des paillettes de micas (biotite). On doit signaler que les minéraux ferromagnésiens sont dominants dans la roche (Figure 4A). N30°E/76°WNW.

Microscopiques

- Quartz (52%): cristaux xénomorphes à extinction roulante (témoins de l'action tectonique) de taille plus petite que les feldspaths, limpides;
- Feldspaths
 - Plagioclases (30%): les cristaux sont plus développés que le quartz et la biotite, ils sont xénomorphes à macle polysynthétique à peine visible, parfois pales et lessivés du fait qu'on a la présence de la damouritisation (plagioclases altérés); on doit signaler que la disparition de macle polysynthétique des plagioclases entraîne toujours l'apparition de chlorite;
 - Microcline (6%): à macle en quadrillage parfois visible. Il est moins représenté que les plagioclases;
- Ferromagnésiens
 - Biotite (10%): en lumière polarisée, elle passe de brun à noir orientée suivant une direction. Elle se présente en paillettes allongées en 2 directions distinctes traduisant vraisemblablement 2 phases de déformation, et certains individus sont chloritisés;
 - Pyroxène (1%): clivage à deux directions orthogonales perceptibles en petits cristaux;
- Minéraux d'argiles et oxydes (1%): taches brunes et noires;

Nom: Granite gneissique

Structure: Phanéritique porphyroblastique.

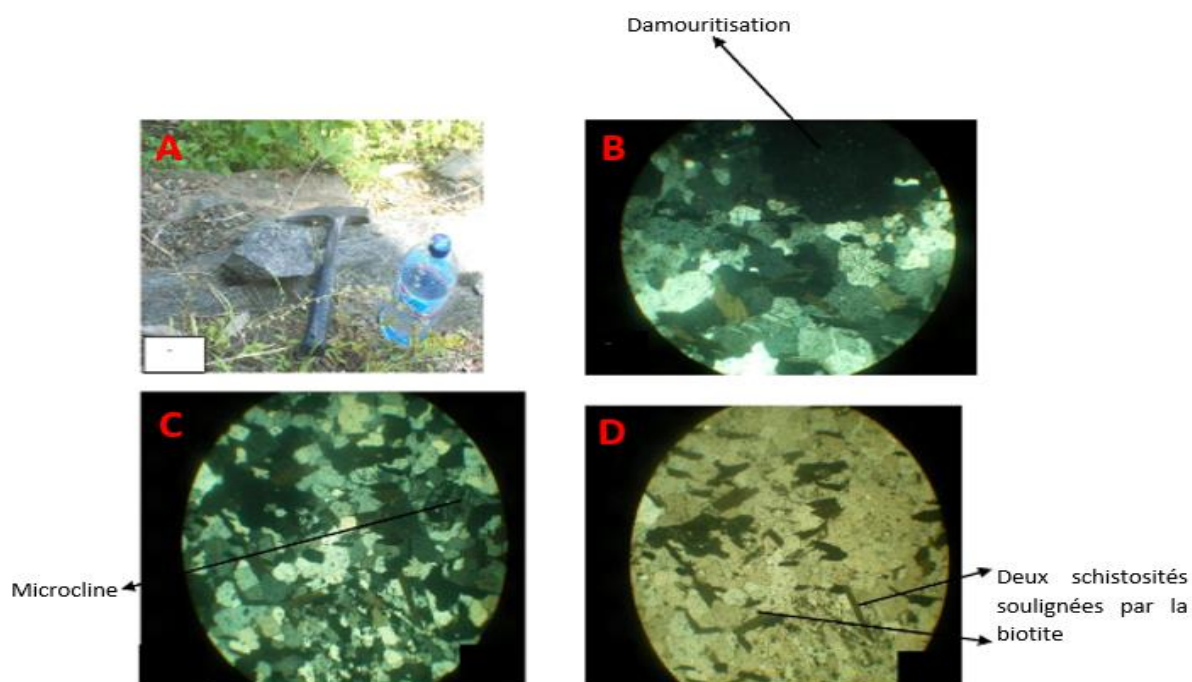


Fig. 4. Vue macroscopique (A) et microscopique en lumière polarisée analysée LPA (B et C) et en lumière polarisée non analysée LPNA du granite gneissique

3.3.3 LAMES BD3

Descriptions

Macroscopiques et mesures structurales

Roche de couleur blanche avec des fins cristaux noirs. Il faut signaler la présence des cristaux de quartz et de feldspaths en abondance ainsi que de micas (biotite) en faible proportion (Figure 5A). N40°E/82°WNW.

Microscopiques

- Quartz (56%): cristaux xénomorphes, à extinction roulante, limpides, craquelés polarisant dans le gris clair à gris sombre et sans orientation préférentielle;
- Feldspaths
 - Microcline (18%): prédomine sur les plagioclases, à macle en quadrillage, très faiblement lessivé, craquelé et n'a pas une orientation préférentielle;
 - Plagioclases (12%): cristaux craquelés à macles polysynthétiques nets bien visibles, observables et presque pas lessivés autrement dit damouritisation absente;
- Ferromagnésiens
 - Biotite (9%): en baguettes allongées, alignées. On y note la présence d'inclusions de zircon et un début de la chloritisation;
 - Muscovite (2%): se présente en petites paillettes
- Minéraux d'argiles et oxydes (3%): taches brunes et noires;

Nom: Microgneiss à deux micas.

Structure: Granoblastique.

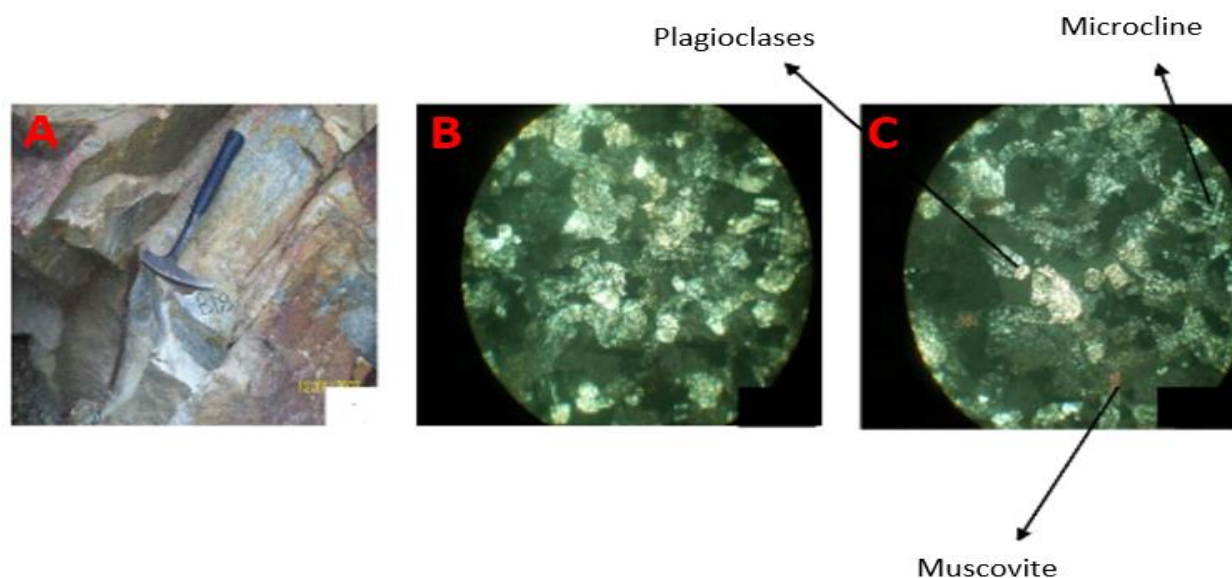


Fig. 5. Vue macroscopique (A) et microscopique (B et C) d'un Microgneiss à deux micas

3.3.4 LAMES BD4A ET B

Descriptions

Macroscopiques et mesures structurales

A l'échelle d'une carrière artisanale, nous sommes en présence des deux types pétrographiques s'alternant:

Roche de couleur claire ayant comme constituant principal les cristaux de quartz et feldspaths en forte proportion et un alignement des cristaux sombres (biotite) en faible proportion (Figure 6A). La roche est de couleur vert foncé constituée en majeure partie des cristaux ferromagnésiens comme le micas (biotite), l'amphibole et une faible proportion des minéraux blancs (quartz et feldspaths). N65°E/75°NNW.

Microscopiques

- Quartz (48%): cristaux limpides et craquelés à extinction roulante nette parfois en petits cristaux contenus soit dans les feldspaths soit dans le pyroxène; ils sont de taille plus petite que le pyroxène et les feldspaths;
- Feldspaths
 - Plagioclases (18%): caractérisés par une macle polysynthétique, parfois lessivés (damouritisés) contenant des inclusions de quartz. Ils ont des sections craquelées;
 - Microcline (16%): lessivée et craquelée, à macle en quadrillage caractéristique bien visible. Elle se présente généralement en sections très développées par rapport au quartz; mais des petites sections existent aussi;
- Ferromagnésiens
 - Biotite (5%): brune, à clivage unidirectionnel net, pléochroïque avec début de chloritisation et on observe le long de plan de clivage des taches d'oxydes opaques. Les paillettes de dimensions variées sont orientées dans tous les sens;
 - Pyroxène (8%): craquelés, à clivage bidirectionnel orthogonal visible sur des cristaux de très grande dimension, polarisant dans un ton brunâtre;
 - Amphibole (3%): individus plus petits et moins représentés que le pyroxène avec un clivage caractéristique à deux directions faisant un angle de 120° visible;
- Minéraux d'argiles et oxydes (2%): taches brunes et noires;

Nom: Migmatite.

Structure: Porphyroblastique.

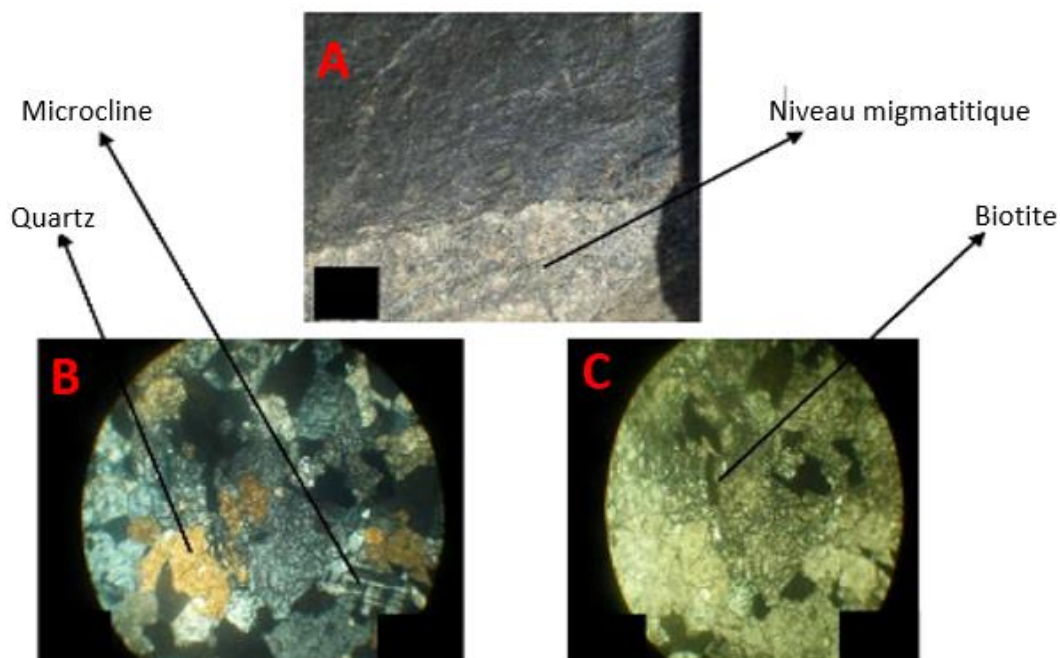


Fig. 6. Vue macroscopique (A) et microscopique en lumière polarisée analysée LPA (B) et en lumière polarisée non analysée LPNA d'un migmatite

3.3.5 LAME BD5

Descriptions

Macroscopiques et mesures structurales

La roche est de couleur noire tachetée de blanc. Il y a la présence des cristaux de micas (biotite) abondants et des cristaux blancs (quartz et feldspaths) (Figure 7A). N120°/63°SSW.

Microscopiques

- Quartz (54%): abondant dans la roche; cristaux xénomorphes à extinction roulante, souvent limpides et peu craquelés;
- Feldspaths
 - Plagioclases (11%): lessivés, la macle s'observe. Les individus sont craquelés, xénomorphes, limpides à extinction parfois roulante, de petite taille par rapport au microcline. Certains individus sont damouritisés;
 - Microcline (14%): microcline perthitique à macle en quadrillage, plus lessivée que les plagioclases;
- Ferromagnésiens: ils sont parallèlement orientés et soulignent une certaine schistosité de la roche
 - Biotite (17%): disposé suivant un plan, allongé en paillette, clivage unidirectionnel, pléochroïque, brun, chloritisation observable;
 - Pyroxène (1%): cristaux en section allongée montrant les traces de clivage bidirectionnelles orthogonales;
 - Amphibole (2%): cristaux de section allongée présentant un clivage bidirectionnel qui lui est caractéristique;
- Minéraux d'argiles et oxydes (1%): taches brunes et noires;

Nom: Gneiss granitique.

Structure: Granoblastique.

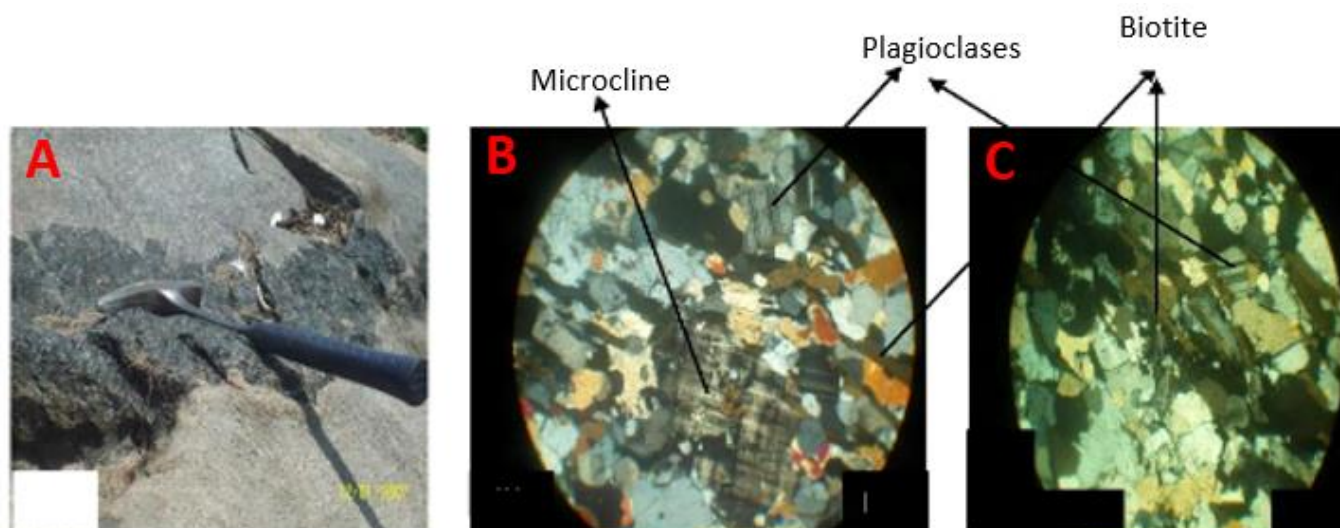


Fig. 7. Vue macroscopique (A) et microscopique en lumière polarisée analysée LPA (B et C) d'un gneiss granitique

3.3.6 LAMES BD15 ET BD18

Descriptions

Macroscopiques et mesures structurales

Roche est de couleur gris verdâtre et schisteuse avec des cristaux de quartz et de feldspaths ainsi que des paillettes de micas (biotite et muscovite) (Figure 8A). N80°E/70°NNW.

Microscopiques

- Quartz (53%): en petits cristaux xénomorphes de même taille, clairs et limpides;
- Feldspaths
 - Plagioclases (7%): les cristaux sont très lessivés, ils apparaissent troubles et damouritisés;
 - Microcline (13%): elle se présente en cristaux lessivés, macles en quadrillages peu visibles, souvent kaolinisés et apparaissent troubles;
- Ferromagnésiens
 - Biotite (4%): pléochroïque, elle se présente en petites paillettes par rapport à la muscovite;
 - Muscovite (13%): se présente en paillettes plus développées que la biotite, de teinte brune orangée parfois verdâtre, clivage unidirectionnel, visible, orienté;
 - Pyroxène (2%): clivage à deux directions visibles et peu représentés;
- Minéraux d'argiles et oxydes (3%): en taches brunes et noires en lumière naturelle

Nom: Granite à deux micas.

Structure: Grenue.

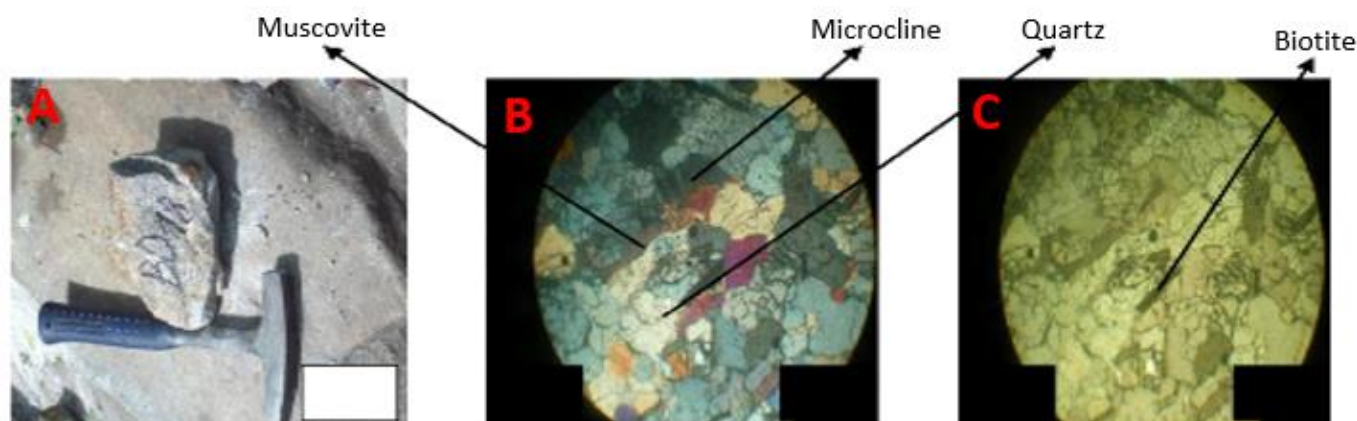


Fig. 8. Vue macroscopique (A) et microscopique en lumière polarisée analysée LPA (B) et en lumière polarisée non analysée LPNA (C) d'un granite à deux micas

3.3.7 LAME BD20

Descriptions

Macroscopiques et mesures structurales

Roche est de couleur verte, elle renferme beaucoup des cristaux verts (amphibole, chlorite,...) ainsi que de feldspaths. On doit signaler à l'échelle d'affleurement la présence des filons de quartz (Figure 9A). N80°E/62°NNW.

Microscopiques

On constate un remplissage à minéralogie grossière et de part et d'autre du remplissage une minéralogie. Les cristaux de quartz de remplissage sont craquelés. Les minéraux colorés allongés soulignent la schistosité; et dans le remplissage, on a la présence des minéraux ferromagnésiens.

- Ferromagnésiens
 - Amphiboles plus précisément de la hornblende verte (40%): brunâtres à clivage losangique (deux directions de clivage formant un angle de 120°) visible, pléochroïque; elle prédomine sur le quartz et les plagioclases;

- Chlorite (10%): vert pale en lumière naturelle et pléochroïque, à une direction de clivage;
- Feldspaths
 - Plagioclases (27%): à macles polysynthétiques lessivés visibles, à extinction roulante;
- Quartz (20%): petits cristaux à extinction roulante et limpides;
- Minéraux d'argiles (3%)

Nom: Amphiboloschiste.

Structure: Granoblastique.

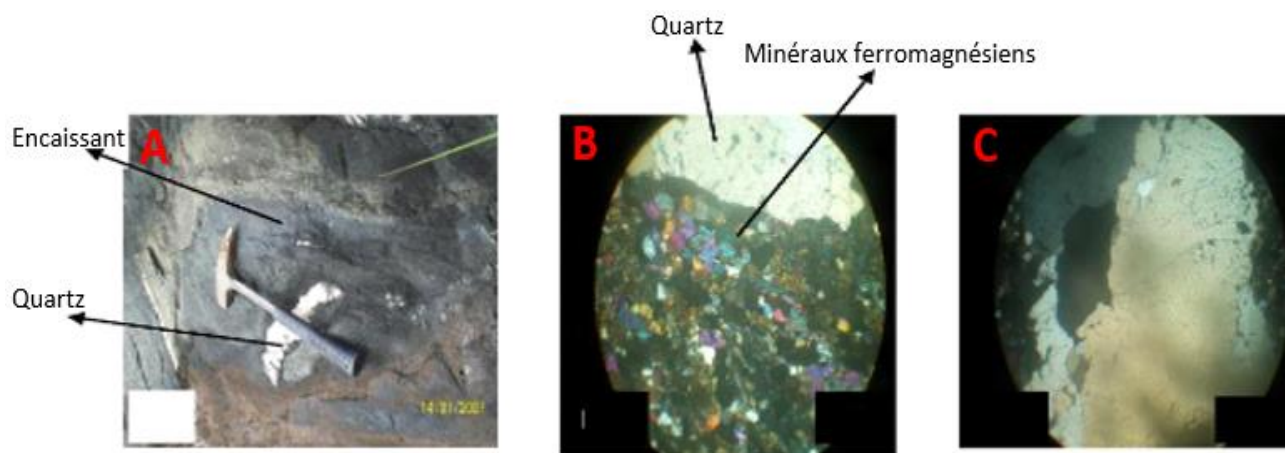


Fig. 9. Vue macroscopique (A) et microscopique en lumière polarisée analysée LPA (B) et en lumière polarisée non analysée LPNA (C) d'un amphiboloschiste

3.3.8 LAMES BD6, BD8 ET BD23

Descriptions

Macroscopiques et mesures structurales

Roche est couleur grise tachetée de noir, avec la présence des cristaux sombres et clairs (biotite allongée, quartz et feldspaths) (Figure 10A). N100°/76°SSW.

Microscopiques

- Quartz (55%): les cristaux xénomorphes et présentent une extinction roulante, craquelés;
- Feldspaths
 - Microcline (17%): les cristaux présentent une macle en quadrillages typique à peine visible, prédominant par rapport aux plagioclases;
 - Plagioclases (7%): ils sont moins représentés que le microcline et les macles polysynthétiques sont observables;
- Ferromagnésiens
 - Biotite (2%): pléochroïque et peu représentée, montrant un clivage fin régulier;
 - Muscovite (18%): pas de pléochroïsme et à clivage fin et régulier;
 - Pyroxène (3%): verdâtre, en fins cristaux à clivage unidirectionnel fin et à peine visible, pléochroïque;
- Minéraux d'argiles (1%): en lumière naturelle se présentent en tache brune

Nom: Gneiss à deux micas.

Structure: Lépidoblastique.

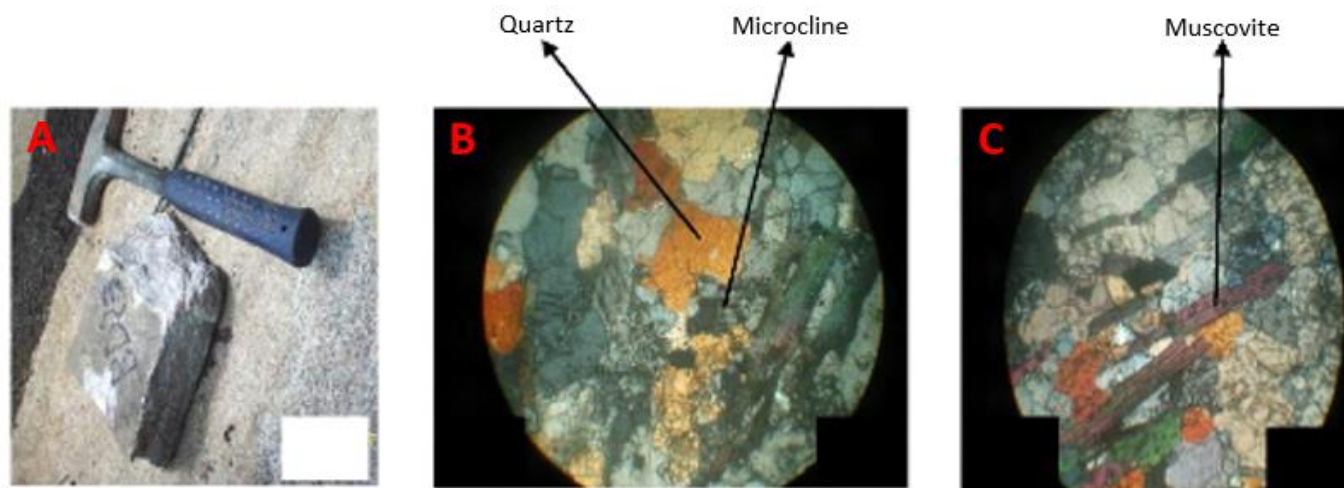


Fig. 10. Vue macroscopique (A) et microscopique (B et C) d'un gneiss à deux micas

4 INTERPRÉTATION

4.1 SUR LE PLAN PÉTROGÉNÉTIQUE

D'après les travaux antérieurs de DELHAL et LEDENT (1976) [4], notre secteur d'étude a connu une importante granitisation-migmatitisation. De telles régions sont, d'après SEDERHOLM (cité par MARMO, 1972 [5]), caractérisées par la présence des gneiss migmatitiques et des granites. La formation de tels granites est expliquée en termes d'anatexie de roches en partie au moins sédimentaires, avec l'accroissement de la température au cours d'un métamorphisme régional (SEDERHOLM, cité par MARMO, 1972 [5]).

Les formations de notre secteur d'étude présentent des caractéristiques principales suivantes:

- Les granites n'ont pas développé des bordures de refroidissement rapide (bordure figée);
- Elles passent insensiblement au granite foliacé (caractérisé par la disposition parallèle de minéraux comme les micas et l'amphibole) et aux gneiss migmatitiques

Ces caractères sont ceux typiques de « granites migmatitiques » (MEHNERT, 1968 [6]; MARMO, 1972 [5]) qui constituent avec les gneiss environnants le « complexe migmatitique ». Les formations de notre secteur sont donc métamorphiques et se rapportent aux migmatites de Boma. Les granites décrits proviennent de l'anatexie du matériel crustal et sont intimement associés aux gneiss les environnants formés au cours du phénomène de granitisation-migmatitique daté à 2150 Ma (orogénèse kimézienne) comme signalé par DELHAL et LEDENT (1976) [4].

4.2 SUR LE PLAN TECTONO-MÉTAMORPHIQUE

Dans la plupart de nos lames, les roches portent les traces d'une déformation par cataclase:

- Les minéraux présentent des craquelures;
- Les grandes plages de plagioclases sont réduites en mosaïque de fins cristaux fort damouritisés;
- Certaines grandes plages de quartz ont recristallisé en mosaïques de cristaux fins de quartz présentant une extinction roulante. Ce qui témoigne de l'action tectonique subie par cette formation;
- Dans certaines lames minces, les minéraux ferromagnésiens montrent clairement deux schistosités; ceci est une preuve indiscutable que les formations de la région d'étude ont subi une double action tectonique, comme l'ont proposé certains auteurs (CAHEN et al., 1978 [7])
- Certaines phases minérales, tel que le quartz, les plagioclases et la chlorite proviennent de la recristallisation;
- Dans certains endroits, des filonnets de quartz apparaissent plissés (plis synmigmatiques) et ces plis ont une direction parallèle à la foliation régionale

Tous ces faits suggèrent que les roches de notre secteur d'étude ont, longtemps après leur mise en place, subi une cataclase ayant occasionné leur broyage tectonique suivant certaines directions préférentielles.

Signalons que ce broyage a été accompagné d'une recristallisation; car les minéraux brisés se montrent souvent cicatrisés par de la chlorite, de la muscovite, du plagioclase et du quartz nouvellement formés. Il s'agit là, comme l'ont souligné certains auteurs (DELHAL et LEDENT, 1976 [4]) d'une évolution métamorphique des terrains étudiés dans les conditions épizonales (Greenschist facies: présence de la chlorite) au cours, probablement, de l'orogénèse Ouest-Congo; car les métasédiments zadiniens sus-jacents portent l'empreinte de ce métamorphisme. Ainsi donc, la cataclase et la recristallisation des roches du secteur étudié sont à attribuer à cette orogénèse dont le paroxysme remonte à 565 Ma (TACK et al., 2001 [1]); alors que ces roches sont Kiméziennes (2150 Ma).

Ce métamorphisme épizonal ayant affecté des terrains déjà métamorphiques et qui ont évolué dans des conditions de températures beaucoup plus élevées (migmatites, gneiss granitiques, granites gneissifiés, amphiboloschistes), il s'agit là d'une « évolution rétomorphique ».

5 CONCLUSION

Sur le plan pétrographique et minéralogique

Au total huit familles pétrographiques qui caractérisent notre secteur d'étude, on peut citer: le Migmatite, le Microgneiss à deux micas, le Gneiss granitique, le Gneiss à deux micas, le Granite gneissique, le Chloritoschiste ainsi que l'Amphiboloschiste et dans la plupart de ces roches est constitués de ces minéraux: Quartz, feldspaths: microcline + plagioclases, biotite, muscovite, pyroxène, amphiboles, pyroxène, chlorite.

Sur le plan pétrogénétique

Les formations de notre secteur d'étude sont métamorphiques issue d'une granitisation-migmatisation datant du Kimezien (2150 Ma). Les gneiss, roches métamorphiques déformées, ont donc subi une fusion partielle à l'origine des granites d'anatexie et les migmatites sont la mémoire de ce phénomène. Les migmatites ont enregistré la mémoire de la fusion partielle des gneiss qui est à l'origine d'un magma lui-même à l'origine des granites d'anatexie.

Mais, elles portent les empreintes d'une déformation (postérieurement à leur mise en place) par cataclase accompagnée d'une recristallisation dans les conditions rétomorphiques au cours de l'orogénèse Ouest-Congo. Ces effets de deux phases tectoniques (orogénèses Kiméziennes et Ouest-Congo) subies par les roches de notre secteur d'étude sont clairement soulignés par la double schistosité (deux orientations) notée au niveau de certains minéraux phylliteux.

REFERENCES

- [1] L. TACK, M.T.D. WINGATE, J.-P. LIEGEOIS, M. FERNANDEZ-ALONSO, A. DEBLOND, «Early Neoproterozoic magmatism (1000-910 Ma) of the Zadinian and Mayumbian Groups (Bas-Congo): onset of Rodinia rifting at the western edge of the Congo craton». *Precambrian Research*, 110, 277-306, 2001.
- [2] D. M. BAUDET; M. FERNANDEZ-ALONSO; K. F. KANT; L. TACK; K. THEUNISSEN; S. DEWAELE; K. EEKELERS; G. KADJA; E. MUJINGA; P. NSEKA; J. PHAMBU; N. KITAMBALA; E. KONGOTA; J. MATUNGILA; M. MUANZA et A.M. TSHIBWABWA., Notice explicative de la carte géologique de la Province du Bas-Congo et Carte géologique à l'échelle du 1/500.000, Version 1.0, MRAC (Belgique) – CRGM (R.D. Congo), 50p., 2013.
- [3] L. TACK, «Extension du Mayumbien au Bas-Zaïre: le problème de sa délimitation cartographique et implications sur les concepts du cadre géologique général du Précambrien du Bas-Zaïre», *Mus. roy. Afr. centr., Tervuren (Belg.), Dépt. Géol. Min., Rapp. Ann.*, 1981 - 1982, 127 – 133, 1983.
- [4] J. DELHAL, D. LEDENT, «Age et évolution comparée des gneiss migmatitiques près-Zadiniens des régions de Boma et Mpozo Tombagadio (Bas-Zaïre)», *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 99,165-187, 1976.
- [5] V. MARMO, *Granite petrology and the granite problem*, Elsevier, 1972.
- [6] K.R. MEHNERT, *Migmatitiques and the origin of granitic rocks*, Elsevier, 1968.
- [7] L. CAHEN, D. LEDENT et L. TACK, «Données sur la géochronologie du Mayumbien (Bas-Zaïre)», *Bull. Soc. Géol. Belg.*, 87,101-112, 1978.

Etude cartographique du massif kimberlitique 12 de Bakwanga (Kasaï oriental, RD Congo)

[Mapping study of the Bakwanga 12 kimberlite massif (Eastern Kasai Province, DR Congo)]

Serge Diemo^{1,2}, Ndumba Don Raymond¹, Kazadi Mujinga Stella¹, Nsakala Tanda Reddy Andy¹, Kahindo Katoto Danielle¹, Kra Ange¹,
and Ngumba Ngumba Victoire¹

¹Centre National de Télédétection (CNT), Kinshasa I, RD Congo

²Centre de Recherches Géologiques et Minières (CRGM), B.P. 898, Kinshasa I, 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: This cartographic survey has been done from the samples of cores of polls achieved on longitudinal and transverse profiles as well as by the modelling, appropriated precisely in the concession of the mining of Bakwanga on the massif 12.

Of these data of polls, we could achieve a cartographic survey and deduct the structure of this massive kimberlitic under survey.

Let's note that most polls on this massif, met the sand, sandstone, the epiclastic kimberlite, the xenokimberlite, the massive kimberlite and the limestone.

In a general manner, to part the limestone, the dolomite, sandstone and the sand, three facies kimberlitics has been put in evidence in this publication and it, according to the percentage in kimberlitics elements, it is about of:

- The kimberlite very tender epiclastic (0-25% of kimberlitic elements).
- The little strengthened xenokimberlite (25-50% of kimberlitic elements).
- The massive kimberlite (beyond 75% of kimberlitic elements).

KEYWORDS: Mapping, Massif, Kimberlite, Xenokimberlite, Epiclastic.

RESUME: Cette étude cartographique a été effectuée à partir des échantillons de carottes de sondages réalisés sur des profils longitudinaux et transversaux ainsi que par la modélisation, prélevée dans la concession de la minière de Bakwanga précisément sur le massif 12. De ces données de sondages, nous avons pu réaliser une étude cartographique et déduire la structure de ce massif kimberlitique sous étude.

Notons que la plupart des sondages sur ce massif, ont rencontré le sable, le grès, la kimberlite épicaustique, la xénokimberlite, la kimberlite massive et le calcaire.

D'une manière générale, à part le calcaire, la dolomie, le grès et le sable, trois faciès kimberlitiques ont été mis en évidence dans cette publication et cela, en fonction du pourcentage en éléments kimberlitiques, il s'agit de:

- La kimberlite épicaustique très tendre (0-25% d'éléments kimberlitiques).
- La xénokimberlite peu consolidé (25-50% d'éléments kimberlitiques).
- La kimberlite massive (au-delà de 75% d'éléments kimberlitique).

MOTS-CLEFS: Cartographie, Massif, Kimberlite, Xenokimberlite, Epiclastique.

1 INTRODUCTION

Cette étude cartographique a été effectuée à partir des échantillons de carottes de sondages réalisés sur des profils longitudinaux et transversaux ainsi que par la modélisation.

Par modélisation, nous sous-entendons la détermination d'un modèle mathématique de la forme du massif, se rapprochant le mieux possible de la réalité. Cette modélisation a été effectuée à partir des échantillons de carottes de sondage réalisés sur des profils longitudinaux et des profils transversaux recoupant les massifs. Un certain nombre de points a ainsi été défini pour permettre à l'ordinateur de créer un modèle vraisemblable. La méthode utilisée à cet effet est celle d'une interpolation linéaire sur une "maille irrégulière triangulaire" facilité par le logiciel, etc.

2 DONNEES GENERALES SUR LES KIMBERLITES

La kimberlite, une des rares roches ultrabasiques potassiques, riches en J éléments volatils (CO₂+H₂O), apparait en diatrème, en dyke ou en sill. Son étude est (Cibumba et al., 2011 [2]) profitable pour deux raisons à savoir:

- Du point de vue scientifique, elle contient des échantillons du manteau supérieur car elle est le véhicule des xénolithes et des mégacristsaux (Mvuemba, 1980) rencontrés lors sa venue. L'étude des inclusions des diamants et de ses xénolithes ultramafiques nous renseigne sur l'âge et la formation de la lithosphère continentale.
- Du point de vue économique, elle est importante du fait qu'elle est la source primaire principale du diamant lequel représente une richesse considérable des certains pays du monde telque le nôtre.

Les premières études sur les kimberlites ont été effectuées par Wagner (1914) [13] dans une compilation des données sur la kimberlite d'Afrique du sud. Ils ont été relayés par des scientifiques russes avec la découverte de la kimberlite en yakoutie.

D'autres auteurs ont décrit les kimberlites de la RDC et parmi les plus récents travaux, nous pouvons citer ceux de Fieremans (1966) [5], Meyer de Stadelhofen (1966) [7], Mvuemba (1980) [10], Kampata (1993) [6], etc.

2.1 DÉFINITION DE LA KIMBERLITE

Bien que le terme kimberlite ait été introduit pour la première fois il y a plus de cent ans sur base des descriptions des pipes diamantifères de Kimberley en Afrique du sud, il n'y a toujours pas d'unanimité, concernant sa définition (Clément et al, 1984 [3]; Michell 1989 [8]).

Le problème découle, en particulier, du fait qu'une définition satisfaisante de kimberlite doit tenir compte de la composition minéralogique et chimique, de la texture et de l'origine. Les premières définitions proposées, par exemple, par Wagner (1914) incluaient comme éléments caractéristiques des minéraux (pyrope chromifère, enstatite, diamant, etc.) qui sont considérés actuellement comme des xénocristsaux, c'est-à-dire des minéraux provenant d'autres sources que la kimberlite elle-même.

Les études plus récentes (Dawson, 1980 [4]; Clément et al 1984 [3]) ne tiennent plus compte de ces xénocristsaux et xénolithes pour définir la kimberlite. Par contre, plusieurs autres auteurs russes (Milashev, 1963 [9]; Artybasheva et al. 1964 [1]) maintiennent ces minéraux dans la définition des kimberlites, vu leur présence habituelle dans les provinces kimberlitiques.

Une définition récente plus complète a été proposée par Nicolas A. et Clément G (2010) [11] qui stipulent que les kimberlites forment une famille de roches ultrabasiques, potassiques riches en volatiles (communément CO₂ et H₂O); elles montrent une texture hétéroganulaire résultant de la présence de mégacristsaux (ilménite magnésienne, pyrope titanifère pauvre en chrome, diopside chromifère, enstatite, olivine, phlogopite, diopside, monticellite, pérovskite, spinelle, apatite, calcite et de serpentine. Les sulfures nickélifères, les rutiles et les diamants sont des phases accessoires communes de ces roches.

Outre les minéraux de la matrice et les mégacristsaux, les kimberlites renferment de nombreuses enclaves ou xénolithes d'origines diverses: enclaves de roches magmatiques, enclaves de roches sédimentaires et enclaves de roches métamorphiques.

Tout ce qui précède relève de la complexité et de l'origine de ces roches ainsi que de différents processus géologiques qui les ont affectés.

2.2 NOMENCLATURE DES KIMBERLITES

La nomenclature des roches volcanoclastiques, telle qu'on la trouve dans la littérature géologique, souffre quelque peu d'une certaine confusion entre une terminologie basée sur la composition des roches et une terminologie génétique, liée au mode de dépôt des roches (Service géologique de la MIBA, 2002 [12]).

Ainsi appelle-t-on les roches contenant moins de 25% d'éléments volcaniques (kimberlitiques) des « épicastites », mais en même temps définit-on ces roches comme résultantes des processus sédimentaires. Cette dernière condition n'est pas toujours facile à reconnaître, et certainement pas dans des carottes de sondages.

Du fait qu'il faut nécessairement décrire les roches issues des sondages avant de connaître leur contexte génétique (qu'on ne peut comprendre qu'après l'interprétation de l'ensemble de tous les sondages), la Miba a adopté depuis quinze ans une terminologie basée sur la composition des roches et inspirée de la littérature russe (Milashev). Elle est la mieux exprimée par les diagrammes triangulaires ci-dessous, qui détaillent aussi bien la composition que la granulométrie des roches voir figure 1.

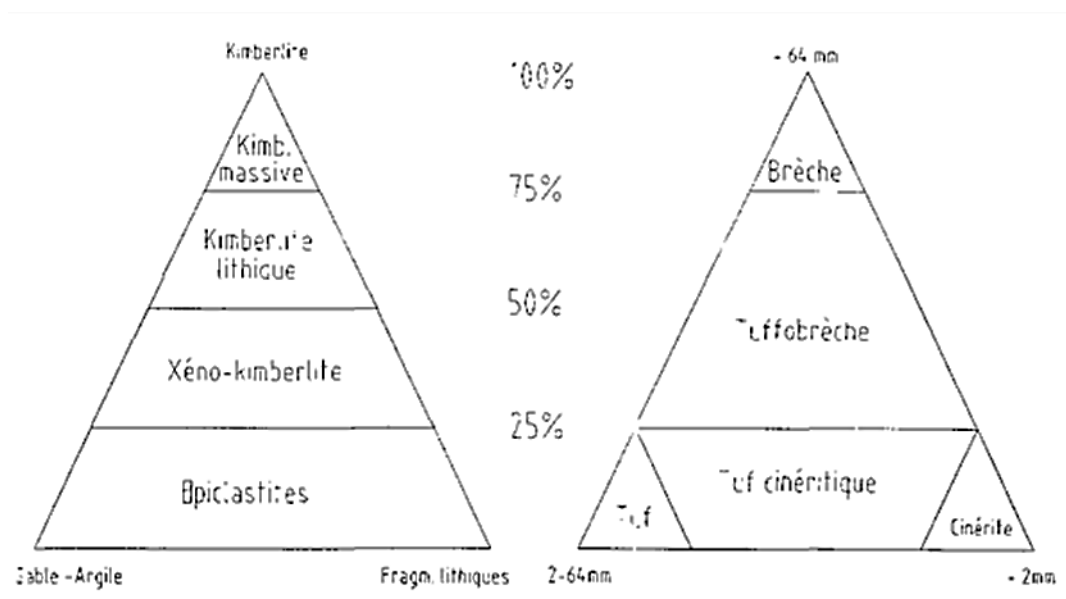


Fig. 1. Diagramme triangulaire de classification des kimberlites (d'après Milashev, 1963)

3 PRÉSENTATION DES DONNÉES DE TERRAIN

Sur l'aire d'extension de massif 12, 12 sondages carottiers ont été réalisés par la Miba suivant les repères définis par les lignes et layons des situations de sondage de chaque massif.

Les lignes sont perpendiculaires aux layons formant ainsi une maille de 20x20m pour ce massif. Les tableaux 7 et 9 présentent les bases des données comportant ainsi la lithologie ou la description, la profondeur atteinte et les coordonnées géographiques de sondage.

De ces données de sondages, nous avons pu réaliser une étude cartographique et déduire la structure de ce massif kimberlitique sous étude.

4 ETUDE CARTOGRAPHIQUE

Cette étude a été effectuée à partir des observations sur des échantillons de carottes de sondages (tableau 1 et 2) réalisés sur des profils longitudinaux et transversaux de massif géologique dont les orientations sont indiquées sur chaque figure ainsi que leur modélisation en annexe.

4.1 MASSIF 12

4.1.1 SITUATION DE SONDAGE

La structure du massif 12 a été déterminée moyennant 12 sondages carottés Diamant boart (DBB). Les coordonnées de ces sondages sont présentées dans le tableau 1 ci-dessous; tandis que la base des données fournies par ces sondages est consignée dans le tableau 2 (Service géologique de la MIBA, 2002 [12]).

Tableau 1. Base des données de sondage

Coordonnées des sondages massif 12					
N°	Nom	Coordonnées			Profondeur
		(m)	Y	Z	102,60
1	Sondage	102,60	2726,62	571,62	57,60
2	50/17	57,60	2700,05	576,31	73,60
3	50/18	73,60	2699,84	573,91	23,60
4	49/17	23,60	2758,11	573,14	10,50
5	50/16	10,50	2733,84	572,34	23,60
6	49/16	23,60	2782,92	574,76	23,60
7	51/16	23,60	2716,57	578,13	9,60
8	51/18	9,60	2667,88	576,46	85,30
9	49/18	85,30	2753,81	572,26	9,50
10	51/17	9,50	2773,21	574,22	14,50
11	52/17	14,50	2763; 41	573,26	11,50
12	51.5/17	11,50			102,60

Tableau 2. Base des données de sondage

N°	Nom	Épaisseurs (en mètre) et Lithologie (en lettre)														
		9,00 S	5,5 G	1,00 E	0,8 KV	1,2 E	22.9 KB									
1	Sondage	9,00 S	5,5 G	1,00 E	0,8 KV	1,2 E	22.9 KB									
2	50/17	8,50 G	38,0 XK	10,0 G	1 C											
3	50/18	9,90 G	3,80 XK	3,90 G	4,6 XK	7,3 G	3,5 E	4,5 XK	6 KL	3,3 XK	14,9 QZ	6,8 XK	5 C			
4	49/17	10,0 G	1,60 KV	0,36 G	0,94KV	1,7 G	0,1 QZ	5,9 KV	1,4 S	1,6 C						
5	50/16	6,60 KV	3,90 C													
6	49/16	5,90 G	4,90 E	0,40 G	6,52 KV	0,4 E		1,4 S	1 C							
7	51/16	9,50 S	5,10 G	6,52 KV	0,4 E	3,06 KL	1,4 S	1 C								
8	51/18	5,60 G	4,00 C													
9	49/18	10,5 G,	15,6 KV	11,50XK	5,5 QZ	8,6KV	1,6 XK	4,75QZ	3,6 KV	1,25 QZ	1,1 KV	19,4 XK	0,9 S	19,4 XK	0,9 S	1 C
10	51/17	S	3,00 G	4,0 C												
11	52/17	2,50 S	3,00 G	6,0 C												
12	51.5/17	5,50 S	4,60 G	3,9 C												

S: Sable, E: Epiclastites, L: Kimberlites Lithiques, KB: Kimberlites brunes, C: Calcaire, KV: Kimberlites vertes, QZ: Quartzites, G: Grès, XK: Xénokimberlite.

4.1.2 SYNTHÈSE DES DONNÉES CARTOGRAPHIQUES

Il résulte de nos analyses les éléments suivants:

- Les faciès pétrographiques, en dehors de la couverture stérile (sable, grès et brèches diverses) et l'encaissant calcaire pour le massif 12, sont les mêmes. De manière générale, la lithologie se présente comme suit:
 - Kimberlite épicaustique défini au contact immédiat du grès et du sable;
 - Xénokimberlite, intermédiaire entre la kimberlite épicaustique et la Kimberlite massive;
 - La kimberlite massive venant après la Xénokimberlite et se situant dans les grandes profondeurs
- Du point de vue de la granulométrie, en partant de la Kimberlite massive vers la surface, le remplissage de la kimberlite en éléments lithiques est graduellement décroissant.
- Les variations transversales et longitudinales montrent une extension relativement plus petite au niveau de ce massif 12 (grand axe: 360m et petit axe: 110m). (Service géologique de la MIBA, 2002 [12]).

5 INTERPRÉTATION DES RESULTATS

5.1 INTERPRÉTATION CARTOGRAPHIQUE ET STRUCTURALE

En plus du sable, de grès bréchiq ue et du calcaire, trois faciès kimberlitiques ont pu être identifiés sur le terrain d'étude: la kimberlite épiciastique, la xénokimberlite et la kimberlite massive.

Près de la surface, s'observe la kimberlite épiciastique suivie de xénokimberlite, et beaucoup plus en profondeur vient la kimberlite massive.

En surface, le massif 12 présente une forme trapézoïdale.

L'aire d'extension du massif est d'environ 3.7ha. (Service géologique de la MIBA, 2002 [12]).

Le faciès massif est plus étendu verticalement par rapport aux autres faciès.

Du centre vers la périphérie, apparaît une distribution concentrique des différents faciès kimberlitiques: la kimberlite massive se situe au cœur et est « entourée » immédiatement de la xénokimberlite; la kimberlite épiciastique occupant le pourtour.

Il se dégage de l'étude des profils de sondage que, de la surface vers la profondeur, ces corps kimberlitiques évoluent en cône et présentent la forme d'un champignon; les faciès périphériques finissent par disparaître pour ne laisser que la kimberlite massive dont la base a pu être observée pour ce massif.

Les variations latérales des faciès sont à attribuer à la forme des zones de faiblesse et à l'environnement géologique de la mise en place de cette kimberlite.

La modélisation montre une diminution progressive de l'étendue de ce massif.

Pour ce massif, Il s'agit essentiellement d'une kimberlite massive comprise entre les niveaux 560 et 460 mètres d'altitude, avec son pipe en position 50/17 (figure2).

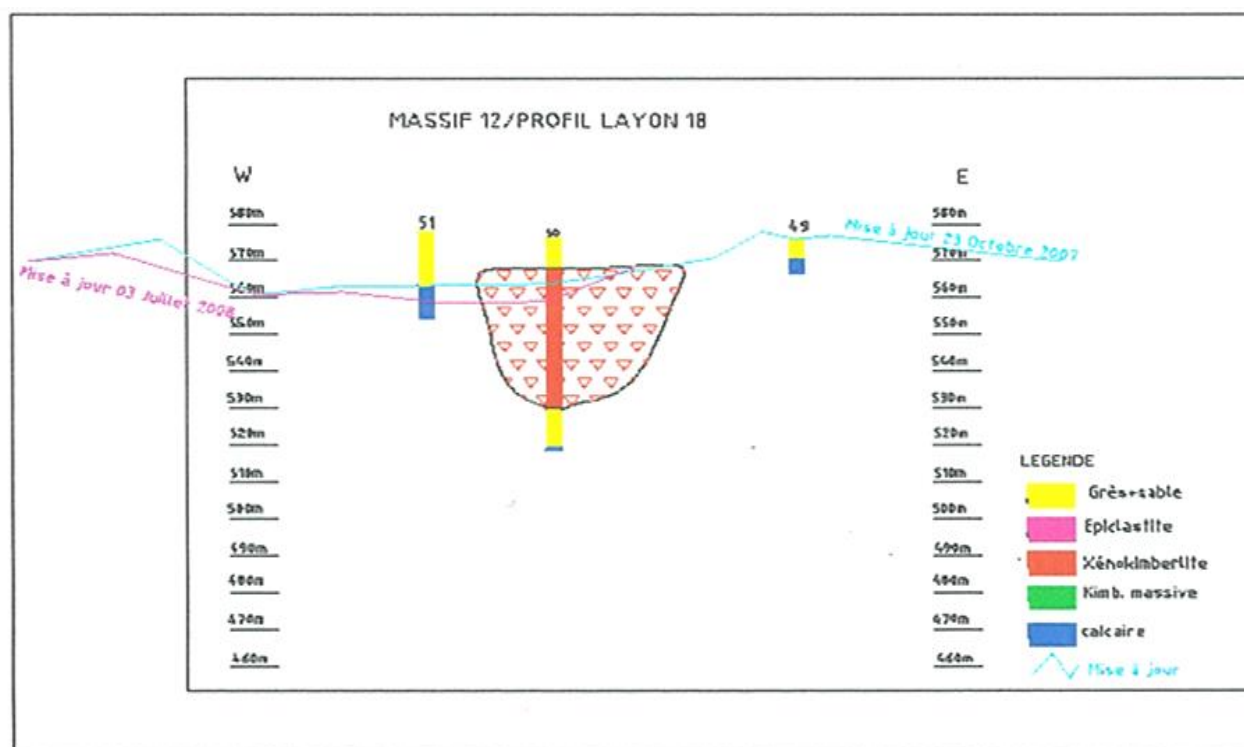


Fig. 2. Massif 12/Profil LAYON 18

12 sondages réalisés pour 445,50 mètres ont permis de déterminer un contour du massif avec une superficie de 7.576,85 m² et ont décelé la prédominance de la kimberlite massive par rapport aux autres faciès (épiciastites et xénokimberlite). Ce massif contient des passes de grès, sable et quartzite (figure 3). Les encaissants sont essentiellement du calcaire dur. Les contacts massifs kimberlitiques — calcaire sont subverticaux. Le sondage le plus profond mesure 102,60 mètres.

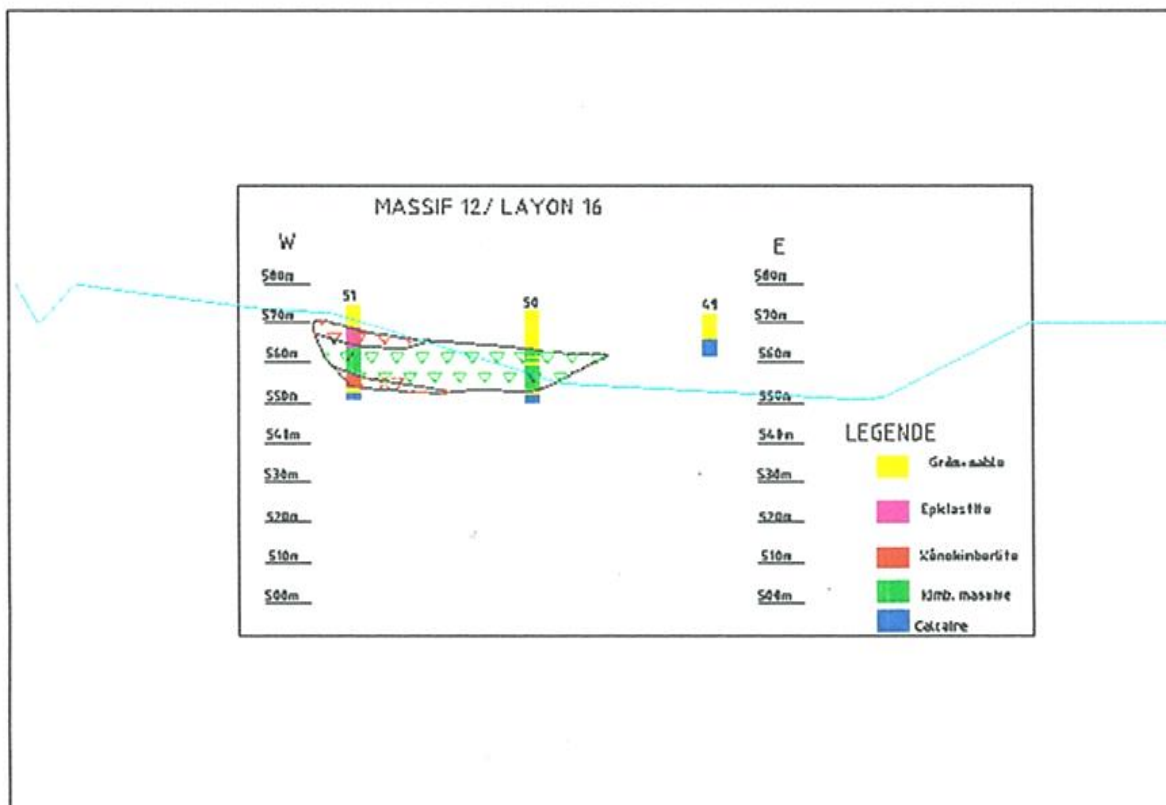


Fig. 3. Massif 12/ LAYON 16

5.2 INTERPRÉTATION LITHOSTRATIGRAPHIQUE

Rappelons que la plupart des sondages ont rencontré le sable, le grès, la kimberlite épiklastique, la xénokimberlite) la kimberlite massive et le calcaire pour le massif 12 (figure 4).

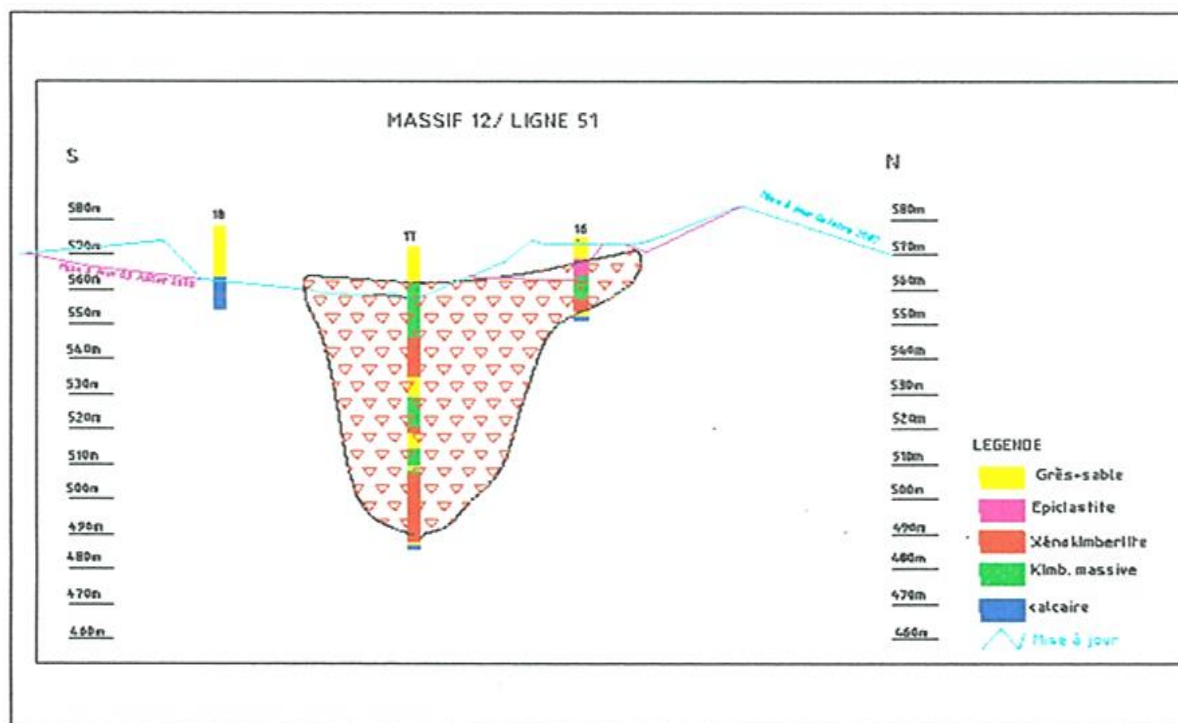


Fig. 4. Massif 12/LIGNE 51

- Le sable est un recouvrement stérile dont la minéralogie varie. Celle-ci lui confère une coloration allant du brun foncé au rouge.
- Le grès est de couleur rougeâtre, friable au toucher et parfois altéré à certains endroits.

Les graviers sont constitués en général de blocs de grès polymorphes et de galets de quartz. Il faut également signaler dans ces graviers la présence d'ilménite, de grenats, de diopside et des débris calcaireux, visible à l'œil nu.

- La Kimberlite épiciastique (moins de 25% de produits kimberlitiques) est très tendre et présente un caractère d'altérabilité fort prononcé. Elle contient beaucoup d'éléments lithiques rouges à prédominance gréseuse, parfois verts, tachetés de blanc.
- La Xénokimberlite est faiblement consolidée avec 25% à 50% d'éléments kimberlitiques et présente une couleur rouge vert. C'est également une brèche hétérogène dont le fond est à prédominance de sable argileux rouge dans lequel baignent des éléments kimberlitiques verts.
- La Kimberlite massive est plus chargée en éléments lithiques grossiers et contient beaucoup d'inclusions de calcaires dolomitiques et de débris méconnaissables à l'œil nu. Sa couleur varie du vert clair au vert foncé parfois gris.
- Le calcaire est en gros fétide et présente beaucoup d'inclusions et d'impuretés. Il est transformé en certains endroits (figure5).

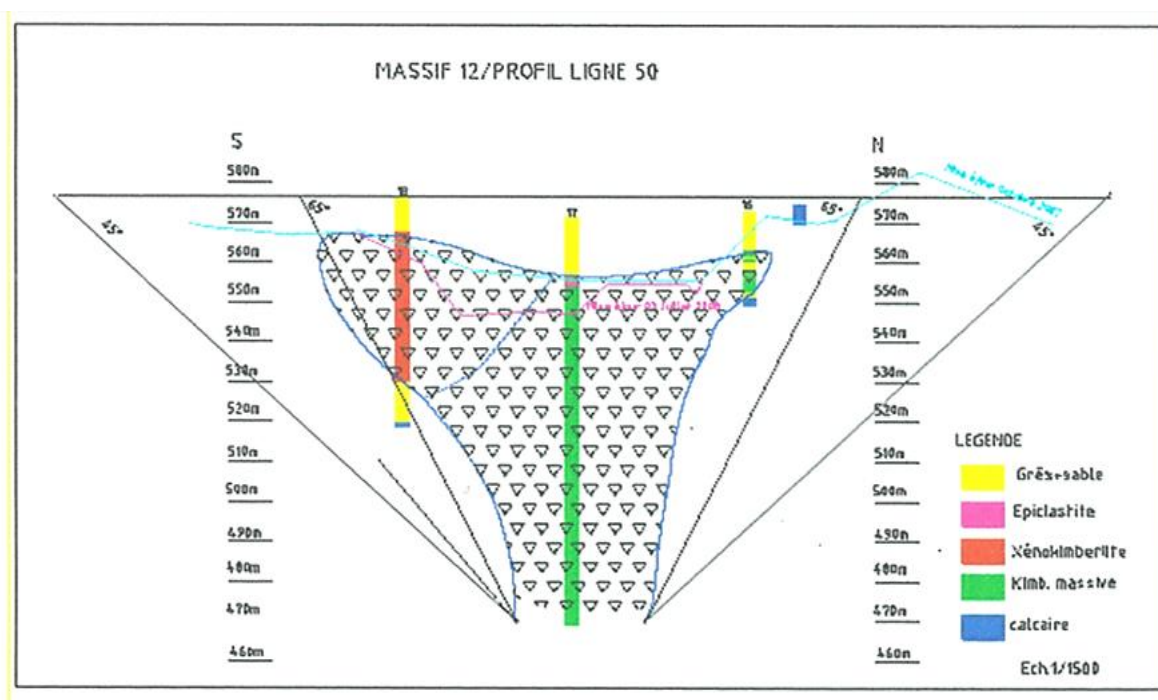


Fig. 5. Massif 12/Profil LIGNE 50

6 CONCLUSION

Le présent travail porte sur l'étude cartographique de massif 12 de Bakwanga et pétrologique des kimberlites de Bakwanga et Tsibua.

L'étude cartographique a été initiée et réalisée sur base des données de sondages ainsi que sur des profils transversaux et longitudinaux réalisés sur ce massif.

Il ressort de ces études les points saillants suivants:

En ce qui concerne le massif 12

- La forme extérieure est trapézoïdale à contour irrégulier;
- L'éruption du massif 12 a formé son cratère entièrement dans les calcaires lesquels constituent donc partout l'encaissement du massif;
- La superficie est de 0.8 hectares;
- L'axe N-S le plus long du massif mesure environ 107 mètres.
- L'axe W-E le plus long mesure 82 mètres;
- Nous avons décelé la prédominance de la kimberlite massive par rapport à d'autres faciès (épiciastites et xénokimberlites)
- La profondeur est d'environ 102.60 mètres. C'est là que se situe cette pipe;
- On ne distingue qu'une seule phase d'éruption;
- Les roches appartiennent aux faciès des cratères.

Sur le plan lithostratigraphique

D'une manière générale, à part le calcaire, la dolomie, le grès et le sable, trois faciès kimberlitiques ont été mis en évidence dans ce travail et cela en fonction du pourcentage en éléments kimberlitiques, il s'agit de

- La kimberlite épicaustique très tendre (0-25% d'éléments kimberlitiques)
- La xénokimberlite peu consolidé (25-50% d'éléments kimberlitiques)
- La kimberlite massive (au-delà de 75% d'éléments kimberlitique)

REFERENCES

- [1] ARTSYBASHEVA et al.1964: The problem of the classification of the yakutiaKimberlites based on those of the Alakit-daldynskdiamontiferous region, int.Geol.Rev.6, 1773.
- [2] CIBUMBA ET ONYA, 2010, Contribution à l'étude cartographique et pétrographique des massifs kimberlitiques de Bakwanga et de tshibua (Kasaï oriental/RDC).
- [3] CLEMENT et al. (1984): Kimberlite redefined. J. Geol., 32, 223-228.
- [4] DAWSON, J.B., (1980): Kimberlitesan theirxenolithes. Springer-verlag, New-york, 252pp.
- [5] FIEREMANS, C (1966): Contribution à l'étude pétrographique de brèche Kimberlitique de Bakwanga. Mém. Inst. Géol. Univ. Louvain T. XXIV fasc. 1, 24, 1- 92pp.
- [6] KAMPATA D (1993): Minéralogie et Géochimie des Kimberlites du haut plateau de Kundelungu (shaba), Zaire.Doct. thesis, Univ. Louvain-la-neuve. Pp 136-163, 199-2002.
- [7] MEYER DE STADELHOFEN, C. (1963): les brèches kimberlitiques du territoire de Bakwanga (Congo) Archives des sciences de la société de physique et d'histoire naturelle de Genève, 16, 1, 87-143.
- [8] MICHELL, 1989 in KAMPATA.
- [9] MILASHEV, 1963 in KAMPATA.
- [10] MVUEMBA, N. (1980) Minéralogie des méga cristaux, des xénolites écolitiques et granulitiques et des inclusions minérales dans les diamants provenant de la kimberlite du Kasaï-Oriental (Congo-) Thèse, MIG, Univ. Cath. Louvain-La- Neuve, 285p.
- [11] NICOLAS.A et CLEMENT.G (2010) in CIBUMBA et ONYA.
- [12] Service géologique de la MIBA; 2001.
- [13] WAGNER (1914) et WILLIAMS (1932) in KAMPATA.

Etude environnementale des poubelles publiques: Stratégies de réparation du site (Cas du District du Mont-Amba, Ville-Province de Kinshasa)

[Environmental study of public trash cans: Site repair strategies (Case of Mont-Amba District, City-Province of Kinshasa)]

Serge DIEMO^{1,2}, Patrick MUKONKOLE MUKONKOLE², Arnold ONYA NGILA¹, Chamira FWANI PAMBU¹, Prisca KATSHUNGA AKAZIA¹, Joséphine NKIKU KUNGA¹, and Arielle MABAYA ARIELLE¹

¹Centre Nationale de télédétection (CNT), Kinshasa, RD Congo

²Centre de Recherches Géologiques et Minières (CRGM), B.P.: 898, Kinshasa I, 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: In the city of Kinshasa, the poor management of waste (plastic bags, packaging, household waste and others) poses enormous problems of insalubrity and degradation of nature, thus causing the development of endermic diseases (malaria, typhoid, etc.). Despite the efforts made by the municipal authorities, this problem of insalubrity in the Congolese capital still remains. Good waste management through public trash cans will generate positive and negative impacts on the Kinshasa environment. On this, we propose in this study some strategies for the distribution of new locations according to the methods adopted. The data obtained in the field and the results of their analysis have made it possible to deduce that the rate of insalubrity has increased over the past six years due to poor waste management. To remedy this persistent problem, we ask the population of the District of Mont-Amba to properly manage their waste by installing garbage cans and to participate in community work. To the authorities, we are asking for strong awareness raising regarding waste management and the installation of public trash cans in appropriate places outside neighborhoods.

KEYWORDS: Waste, Management, Township, Water, Soil, Specification.

RESUME: Dans la ville de Kinshasa, la mauvaise gestion des déchets (sacs plastiques, emballages, déchets ménagers et autres) pose d'énormes problèmes d'insalubrité et de dégradation de la nature occasionnant ainsi le développement des maladies endermiques (paludisme, typhoïde, etc.). Malgré les efforts fournis par les Autorités municipales, ce problème d'insalubrité dans la capitale congolaise demeure toujours. La bonne gestion des déchets à travers les poubelles publiques va générer des impacts positifs et négatifs sur l'environnement Kinois. Sur ce, nous proposons dans cette étude quelques stratégies de répartition des nouveaux emplacements suivant les méthodes adoptées. Les données obtenues sur le terrain et les résultats d'analyse de ces dernières ont permis de déduire que le taux d'insalubrité a augmenté ces six dernières années du fait de la mauvaise gestion des déchets. Pour remédier à ce problème persistant, nous demandons à la population du District du Mont-Amba de bien gérer leurs déchets en aménageant des poubelles et de participer aux travaux communautaires. Aux Autorités, nous sollicitons une forte sensibilisation en ce qui concerne la gestion des déchets et l'implantation des poubelles publiques aux endroits appropriés en dehors des quartiers.

MOTS-CLEFS: Déchets, Gestion, Commune, Eau, Sol, Spécification.

1 INTRODUCTION

De nos jours et de par le monde, les questions sur l'environnement restent d'une actualité brûlante. A Kinshasa, l'évolution de l'insalubrité et la dégradation de la nature ont pris des proportions inquiétantes, car actuellement les déchets sont jetés dans la nature, ce qui peut provoquer la pollution. Profondément enraciné, cet état de chose a prolongé les gens dans une insensibilité sans précédent et devenue un épiphénomène (HOLENU, 2020a [1] et b [2]).

Jadis appelé "KIN-LABELLE", cette appellation est loin d'être une réalité aujourd'hui. "KIN-LABELLE" n'est qu'un lointain souvenir dans le langage des Kinois ou des Kinoises, en lieu et place de KIN-LAPOUBELLE. Du nord au sud, de l'est à l'ouest la capitale congolaise ressemble à ce jour à une décharge publique, où les collines d'immondices se rivalisent avec des nappes d'eaux stagnantes, un véritable gîte de moustiques.

Artères et lieux publics, espaces verts, rigoles et caniveaux, rien n'est épargné par ce fléau.

Curieusement, tout autour de ces endroits impropres se déroulent d'internes activités commerciales. Par conséquent, derrière cette insalubrité se colle la présence accrue des maladies endémiques telles que le paludisme, la typhoïde devenues les cantiques de diagnostics médicaux à Kinshasa.

En égard de ce qui précède, l'évaluation générale de l'insalubrité à Kinshasa a conduit les autorités provinciales à souhaiter la montée en vitesse de cette situation, afin de sauvegarder l'homme et son espace vital.

Ainsi, à travers diverses occasions, l'hôtel de ville a tenté de restaurer la salubrité dans la ville de Kinshasa. Plusieurs gouverneurs ont tour à tour lancé les opérations "SALONGO", opération coup de poing et Kin-Bopeto (VUNI et al. 2022) [3].

Depuis le départ officiel en date du 20 août 2015 du projet d'entretien et de réhabilitation des infrastructures routières en RDC et d'amélioration de l'assainissement urbain à Kinshasa "PARAU" financé par l'Union Européenne, projet réalisé dans neuf Communes des 24 Communes de la ville de Kinshasa parmi lesquelles nous citons la Communes de Kinshasa, Barumbu, Kalamu, Bandalungwa, Kintambo, Gombe, Kasa-Vubu, Lingwala et Ngiri-Ngiri en leur donnant des véhicules de transit pour aller évacuer les déchets au centre d'enfouissement à MPASA, les Kinois se préoccupent de plus en plus de la salubrité du milieu dans lequel ils évoluent sachant que sous d'autres cieux, on a pris conscience des effets néfastes des déchets plastiques pour l'environnement, les animaux, les poissons et pour l'espèce humaine.

Nul n'ignore que des sacs plastiques continuent allégrement à être produits et vendus dans les Communes, l'eau dite "pure". Les sacs plastiques dits Markets ou Obama circulent pendant, et après usage, sont jetés au sol, voire même dans les rues, il faudra également ajouter les déchets ménagers et autres générés dans les marchés entraînent des énormes dégâts lors des intempéries dans la ville de Kinshasa. Ainsi, les poubelles publiques dans la ville province de Kinshasa ou dans le district de Mont-Amba vont générer les impacts non seulement négatifs mais aussi les impacts positifs si on arrive à bien gérer ces déchets.

Comme Impacts positifs: Les déchets peuvent être une source des productions des recettes si on arrive à recycler ces déchets, cela veut dire qu'on doit les valoriser et les vendre; Une source de revenue en créant des entreprises de gestion de traitement de ceux-ci; et Production de l'énergie (biomasse) (THONART, 2005 [4]; HAFIDI, 2015 [5]; AZAITRAOUI et al, 2016 [6]; BALET, 2016 [7]).

Comme Impacts négatifs que peuvent générer les poubelles ou les déchets, on cite:

- La pollution de l'eau, de l'air et du sol;
- L'insalubrité;
- Vu le manque des décharges ou dépotoirs, on note que les sites de dépôts temporaires sont propices au développement des maladies, des gîtes de moustiques, favorisent l'obstruction des rigoles et caniveaux qui, ceux derniers conduisent aux érosions et inondations une fois qu'ils sont couchés

Cette problématique nous renvoie à poser quelques questions:

- Quels sont les éléments qui sont à la base de notre milieu ?
- L'eau usée est-elle potable ?
- Y a-t-il de différence entre l'eau usée et le sol ?
- Quels sont les impacts générés par les poubelles (ou déchets) dans la ville province de Kinshasa et à mont-Amba ?

La description faite ci-haut sur notre thème démontrerait que le problème de la dégradation aggravante de notre environnement trouverait ses origines dans la pollution des métaux lourds dans l'environnement, dans l'eau usée des manages

et industrielle. Ce que le gouvernement du pays et de celui de la ville province de Kinshasa en particulier ne serait pas à la hauteur de maintenir de bons partenaires pour continuer avec leur élan; le manque de véhicules, dépotoirs de transit serait aussi à l'origine de la pollution de notre milieu mais aussi et surtout le manque d'une grande décharge publique où seraient non seulement entassés les ordures en provenance des décharges primaires ou relais mais aussi site de triage des décharges en dégagent la proportion de différents types de déchets.

Notre objectif poursuivi est d'étudier du point de vue environnemental les poubelles ou de portoirs publics dans la ville province de Kinshasa en général, et particulièrement du district de Mont-Amba, donner quelques stratégies de répartitions du site dont on a parlé et proposé de nouveaux emplacements.

Ainsi, les objectifs poursuivis de notre étude sont les suivants:

- Identifier les emplacements pour y construire des décharges relais dans chacune des avenues, quartiers et Communes faisant partie de l'espace de notre recherche
- Proposer à l'autorité compétente de construire une très grande décharge publique capable d'accueillir et entasser les ordures venant des décharges relais des Communes au district de Mont-Amba
- Les déchets doivent être ramassés, regroupés, triés, recyclés, traités et incinérés selon leur nature pour qu'après transformation qu'ils produisent des fumiers (ordures ménagères). Les plastiques recyclés peuvent produire des pavées, les métaux collectés peuvent être vendus aux indiens et chinois

2 METHODES ET MATERIELS

2.1 DESCRIPTION DU MILIEU D'ÉTUDE

Kinshasa est la capitale de la République Démocratique du Congo (RDC). Située dans la partie occidentale du pays, elle s'étend entre 15°13'15" et 15°26'25" de longitude Est et entre 4° et 5° de latitude Sud sur une superficie de 9 965km². La ville a le statut administratif d'une province et comprend 24 Communes dont 22 Communes quasi-urbanisées d'une superficie de 590 km² soit 6% de la superficie globale, et 2 Communes urbano-rurales qui s'étendent sur environ 9 375 km² (94%) (LELO, 2008) [8]. Sa population est estimée à 15 628 000 habitants (en 2022) avec une densité de 26 047 habitants par km².

Selon la classification de Koppen AW4, la ville de Kinshasa jouit un climat tropical chaud et humide avec 4 mois de saison sèche 8 mois de pluies. Il fait une chaleur torride au mois de mars pendant lequel la température monte jusqu'à 26,5° C. Cette poussée de température précède bien les violentes averses des mois d'avril et de mai. Ce sont les mois de tous les dangers: inondations, effondrements, éboulements, morts d'hommes, arbres déracinés, maisons détruites. Et pourtant ce ne sont pas les mois les plus pluvieux de la ville (VUNI et al. 2022) [3].

Le district de Mont Amba est situé au Sud-Est du centre-ville, et est composé des Communes de Lemba, Limete, Matete, Kisenso et Ngaba. Il a une superficie de 116. 88km², avec les densités de 13 357 habitants par Km².

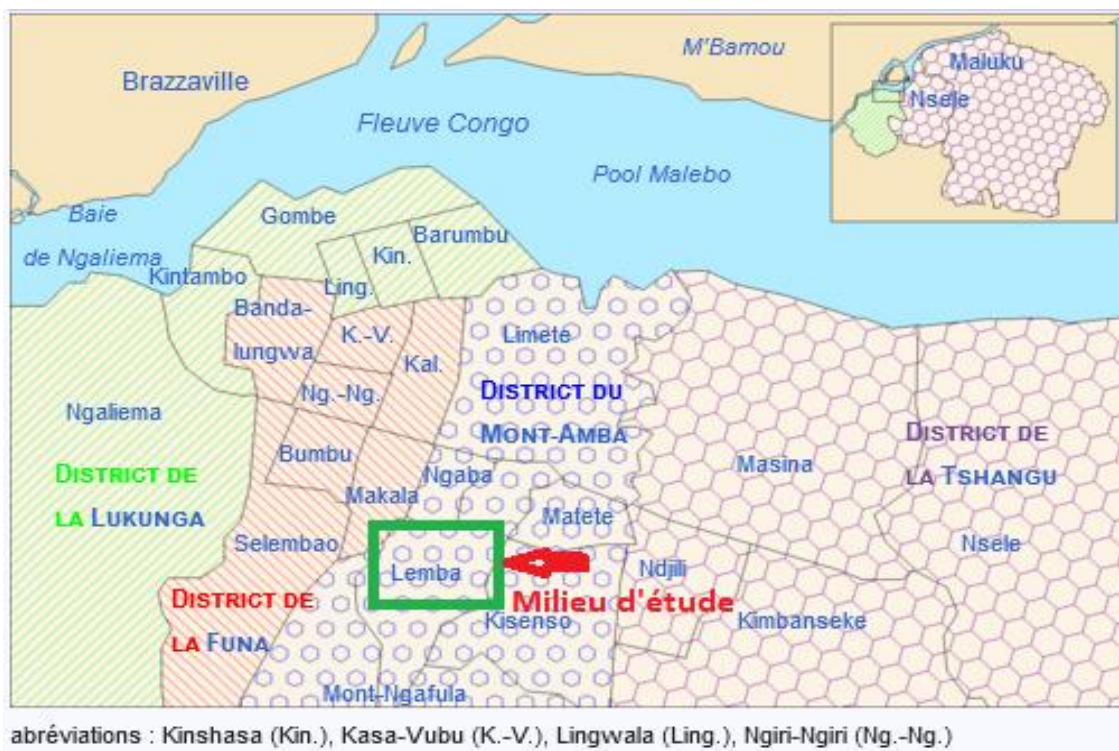


Fig. 1. Carte géographique de la ville de Kinshasa avec ses quatre Districts et 24 Communes

2.2 MÉTHODES

Cette étude a consisté en des recherches bibliographiques et des investigations de terrain.

Nous avons complété les informations en consultant les sites internet ayant trait à notre sujet et on a aussi complété les informations dans le laboratoire de chimie à la faculté des sciences de l'Université de Kinshasa pour vérifier les qualités des produits, les matériels, méthodes, résultats et rapports des essais obtenus après les analyses faites au laboratoire.

L'étude s'est déroulée en trois étapes: la première consistait à identifier la ville province de Kinshasa aussi le district de Mont-Amba et ses différentes Communes à enquêter suivant la méthode descriptive, la deuxième concernait la collecte des données sur terrain, leur dépouillement, leurs analyses et leurs résultats suivant les techniques du questionnaire d'enquête et d'analyse des données et la troisième étape concernait la réalisation du travail.

Ainsi concernant notre travail, nous avons utilisé deux types de méthodes notamment la méthode de préparation par pesée et la méthode de préparation de solution par dilution.

2.2.1 MÉTHODE DE PRÉPARATION PAR DILUTION

2.2.1.1 PRINCIPE

La dilution est une méthode chimique d'analyse qui consiste à diminuer la concentration d'une solution par ajout ou addition du solvant (eau) et à augmenter le volume et la quantité du soluté reste constante.

2.2.1.2 MODE OPÉRATOIRE

On place 500ml d'eau usée prélevée dans un ballon jaugé en ajoutant 2 6700 ml comme volume.

2.2.1.3 APPLICATION SUR LA MÉTHODE DE PRÉPARATION PAR DILUTION

On sait bien que dans la solution commerciale, on a 100 % d'eau -2%=98%

et V_{H_2O} usée = $V_1 = 500\text{ml}$

Densité eau usée = 1g/cm^3

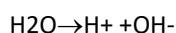
$M_{H_2O} = 18\text{g/mol}$

$N_2 = 0,1\text{ N}$ (décinormal) car il s'agit du laboratoire: petite échelle

$N_1 N_2 = N_2 V_2$

$$N_1 = \frac{\% \text{ d. } 10x}{M_m}$$

L'eau pure étant un solvant universel c'est-à-dire elle intervient dans le milieu neutre, acide et base, elle doit subir l'ionisation



$$N_1 = \frac{98.1.10.1}{18} = 54,4$$

$$N_1 = 54$$

$$N_1 = 54,4\text{N}$$

$$V_2 = \frac{N_1 V_1}{N_2} = \frac{54,4.500}{0,1} = 27\ 200\text{ml}$$

$$V_2 = 27\ 200\text{ml}$$

$$\text{Veau ajouté} = V_2 - V_1 = 27\ 200\text{ml} - 500\text{ml} = 26\ 700\text{ml}$$

$$V_1 = V_2 - \text{Veau} = 27\ 200 - 26\ 700$$

$$= 500\text{ml}$$

2.2.2 MÉTHODE DE PRÉPARATION PAR PESÉE

La méthode de préparation par pesée ou de préparation des solutions par pesée consiste à peser avec précision une masse calculée.

2.2.2.1 APPLICATION

On dispose 500g de sol, on mélange 500ml d'eau décinormal (0,1n). Calculez la masse de l'eau

$$M_m = 189\text{g/mole } m = ? \quad N = \frac{m \text{ en g} \times 1000 \times X}{M_m \cdot V_{\text{ml}}}$$

$$V = 500\text{ml}$$

$$N = 0,1\text{N}$$

$$m \text{ en g} = \frac{N \times M_m \times V}{1000 \times X}$$

$$m \text{ en g} = \frac{0,1 \times 18 \times 500}{1000 \times 1}$$

$$m = 0,9\text{ g}$$

2.2.2.2 MODE OPÉRATOIRE DE LA MÉTHODE PAR PESÉE

Placer la quantité de 500g sur la balance analytique dite balance de précision 10-3,

Lire les résultats affichés sur l'appareil.

2.2.2.3 MODE OPÉRATOIRE DES PARAMÈTRES ANALYSÉS

1) Conductivité (k)

- Rincer le tube à essai avec l'eau distillée, puis avec l'échantillon utilisé;
- Mettre une quantité de l'échantillon au choix dans le tube à essai, exemple 10ml;
- Plonger l'électrode de l'appareil dans le tube portant l'échantillon;
- Faire la lecture en notant les paramètres affichés sur le conductimètre ou sur l'appareil

2) T.D.S (total dissolved solids) = solides totaux dissous

- Appuyer 3 fois sur le bouton M du conductimètre pour changer le mode; lire les valeurs de TDS affichées

3) La température

Le premier paramètre qui s'affiche sur le conductimètre c'est la conductivité et le deuxième paramètre c'est la température.

4) La densité

- Plonger le densimètre dans le pied gradué;
- Lire la densité

5) Le pH

2.3 MATÉRIELS

Cette étude a nécessité l'utilisation du thermomètre approprié pour la détermination de la température du liquide approprié; d'un densimètre pour la détermination de la densité; d'un conductimètre pour la détermination de la conductivité; d'un pH mètre; d'une balance analytique de précision et d'un verre de montre qui servent à peser avec précision la quantité des échantillons quantifiés; d'une pipette gradué ou pied gradué ou éprouvette qui sert à prélever plusieurs volumes (volumes variables); d'une Pipette jaugée qui sert à livrer et à prélever un volume précis du liquide; d'un Ballon Jaugé qui sert à prélever le volume de la solution titrée; d'un tube à essai qui sert à faire les petites réactions; d'un Erlen Meyer qui sert au titrage, dosage et mélange des solutions; d'un Mortier en porcelaine et d'un pilon à porcelaine qui servent à homogénéiser les échantillons; d'un étuve qui sert à stériliser et à sécher les échantillons.

3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 ANALYSE QUALITATIVE

Une analyse qualitative est une analyse clinique capable qui permet de déterminer la qualité des produits utilisé au laboratoire (eaux usées et sols) dans la ville province de Kinshasa, particulièrement à Mont-Amba.

3.2 SPECIFICATION DE L'EAU USÉE

Tableau 1. Spécification d'eau usée

Paramètre Analyses	Unités	Méthodes	Spécifications	Observation
Potentiel d'hydrogène (pH)	-	Dilution	5-9	
Conductivité (k)	/cm	Dilution	100-1000	
Densité (d)	g/cm ³	Dilution	0,5-1	
Totals dissolved solids (TDS)	Mg/L	Dilution	300-1200	
Température (t°)	Degré Celcius (°C)	Dilution	20-40	

Les spécifications d'eau usée seront expliquées et interprétées dans les différents tableaux.

Tableau 2. Spécification de l'eau usée de la Commune de Matete

Paramètre Analyses	Unités	Méthodes	Spécifications	Observation
pH	-	Dilution	4	Non conforme
Conductivité	/cm	Dilution	90	Idem
Densité	g/cm ³	Dilution	2	Idem
TDS	mg/L	Dilution	260	Idem
Température	Degré Celcius (°C)	Dilution	18	idem

L'eau usée de Matete est non conforme (pollution) ou de mauvaise qualité car ne répond pas à la norme de spécification. Cela sous-entend à la pollution.

Tableau 3. Spécification de l'eau usée de la Commune de Lemba

Paramètre Analyses	Unités	Méthodes	Spécifications	Observation
pH	-	Dilution	6	Conforme
Conductivité (k)	cm	Dilution	530	Conforme
Densité (d)	g/cm ³	Dilution	1	Conforme
Totals dissolved solids (TDS)	mg/L	Dilution	350	Conforme
Température	Degré Celsius (°C)	Dilution	28,8°C	Conforme

L'eau usée de Lemba répond à la norme de conformité.

Tableau 4. Spécification de l'eau usée de la Commune de Ngaba

Paramètre Analyses	Unités	Méthodes	Spécifications	Observation
pH	-	Dilution	3	Non conforme
Conductivité (k)	cm	Dilution	80	Non conforme
Densité (d)	g/cm ³	Dilution	2	Non conforme
Totals dissolved solids (TDS)	mg/L	Dilution	241	Non conforme
Température (t°)	degré celcius	Dilution	17,9°C	Non conforme

L'eau usée de la Commune de Ngaba est de mauvaise qualité, elle ne répond pas aux normes de conformité. Elle est polluée.

Tableau 5. Spécification de l'eau usée de la Commune de Limete

Paramètre Analyses	Unités	Méthodes	Spécifications	Observation
pH	-	Dilution	8	Conforme
Conductivité	cm	Dilution	258	Conforme
Densité	g/cm ³	Dilution	1,2	Conforme
Totals dissolved solids (TDS)	Mg/l	Dilution	358	Conforme
Température	Degré celcius	Dilution	29,2°C	Conforme

L'eau usée de la Commune de Limete est conforme car elle répond à la norme de conformité du point de vue spécification.

Tableau 6. Spécification de l'eau usée de la Commune de Kisenso

Paramètre Analyses	Unités	Méthodes	Spécifications	Observation
pH	-	-	-	
Conductivité	Km	-	-	
Densité	g/cm ³	-	-	
Totals dissolved solide (TDS)	mg/L	-	-	
Température	Degré Celsius	-	-	

La Commune de Kisenso n'a pas des caniveaux pour déverser les eaux ménagères. Cela cause des dégâts énormes pour dans l'environnement.

Pour ce, la Commune de Kisenso demande au gouvernement provincial à travers son bourgmestre d'y construire des caniveaux, l'asphaltage des routes surtout l'avenue Madimba qui est une ligne principale quittant Kisenso jusqu'à l'Université de Kinshasa (Mbaza-Lemba).

La Commune de Kisenso est menacée par des érosions et inondations qui sont deux facteurs majeurs qui menacent ladite Communes. La Commune est à vocation agricole et ¾ de la population de cette Communes s'occupe de l'agriculture.

3.3 SPÉCIFICATION DU SOL

Tableau 7. Spécification du sol de Kinshasa/Mont-Amba

Analyses	Méthodes	Unités	Spécifications	Observation
pH	Pesée	-	8	
Densité	Pesée	g/cm ³	1-2,65	

Tableau 8. Spécification du sol de la Commune de Limete

Analyses	Méthodes	Unités	Spécifications	Observation
pH	Pesée	-	5 (g)	
Densité	Pesée	g/cm ³	5,62	

Ici, le sol est conforme c'est-à-dire donc le sol de Limete est conforme ou de bonne qualité.

Tableau 9. Spécification du sol de Communes de Matete

Analyses	Méthodes	Unités	Spécifications	Observation
pH	Pesée	-	6	
Densité	Pesée	g/cm ³	3	

Le sol de Matete est non conforme du point de vue spécification.

Tableau 10. Spécification du sol de la Commune de Kisenso

Analyses	Méthodes	Unités	Spécifications	Observation
pH	Pesée	-	9	
Densité	Pesée	g/cm ³	2,3	

Le sol de Kisenso est de bonne qualité du point de vue conditions de spécification parce que les paramètres ont respecté les conceptions de spécification.

Tableau 11. Spécification sol de la Communes de Lemba

Analyses	Méthodes	Unités	Spécifications
pH	Pesée	-	8-31
Densité	Pesée	g/cm ³	1,5

Donc, le sol de Lemba est également de bonne qualité.

Tableau 12. Spécification sol de la Commune de Ngaba

Analyses	Méthodes	Unités	Spécifications
pH	Pesée	-	5
Densité	Pesée	g/cm ³	5,8

Le sol de la Communes de Ngaba est de mauvaise qualité ou non conforme.

L'interprétation des résultats se focalise sur l'eau usée dont les paramètres n'ont pas respecté les conditions de spécification. Une discussion consistera à la comparaison des résultats des réactifs (eau usée et sol) des Communes constituants les districts de Mont-Amba.

L'eau usée est contaminée par les sédiments et tant d'autres produits lourds et légers. On dira l'eau usée est non conforme par rapport à la spécification cela sous-entend à la pollution.

L'eau usée dont les paramètres ont respecté les conditions de spécification. On dira l'eau usée est conforme.

Le Sol dont les paramètres n'ont pas respecté les conditions de spécification est contaminé par les impuretés telles que les métaux lourds (ZMIROU et al., 2003) [9]. Par conséquent, le sol est non conforme par rapport à la spécification et cela sous-entend à la pollution.

Le Sol dont les paramètres ont respecté les conditions de spécification, ce sol est conforme.

L'eau usée des Communes de Matete et Ngaba est dite non conforme car les paramètres n'ont pas respecté les conditions de spécifications d'eau usée.

L'eau usée des Communes de Lemba et Limete est dite conforme, car les paramètres ont respecté les conditions de spécification.

Le sol de la Commune de Kisenso est conforme, car les paramètres ont respecté les conditions de spécification.

4 CONCLUSION

Partant de nos résultats, disons que nous avons bien concerné l'étude ou le problème lié à la gestion de déchets dans la ville de Kinshasa en général, et dans le district de MONT-AMBA en particulier.

Les résultats obtenus montrent que 83% de nos enquêtes déclarent qu'il y a eu une forte présence des déchets dans la ville de province de Kinshasa et en district de MONT-AMBA sur tout dans les années 2016,2017, 2018, 2019 et 2020 dont la fréquence des déchets dans les différents quartiers est enregistrée surtout dans les mois de Juin, juillet et Août; les mois caractérisés par la sécheresse avec comme l'utilisation des cours publiques comme poubelles ou dans les parcelles soit 60% mais aussi comme types de poubelles utilisées sont des poubelles classiques soit 40% et les vieux récipients soit 30%.

La mauvaise gestion des déchets dans les Communes, quartiers et avenues est observée par l'utilisation des enfants soit 73% et domestiques soit 15% dont la plupart des déchets sont organiques soit 83% et les emballages soit 39%.

Notre contribution est de faire voire aux habitants de la ville province de Kinshasa, précisément ceux de Mont-Amba les avantages et inconvénients des déchets, aussi leur donner quelques solutions lors de la gestion et des traitements de ceux derniers.

Nous suggérons à la population de Kinshasa et de Mont-Amba:

- de ne plus utiliser les enfants ou les domestique dans les déchargements des déchets;
- de bien aménager leurs déchets surtout en s'appliquant sur la bonne gestion des poubelles;
- de respecter les travaux communautaires

Un changement de mentalité, car nul ne peut l'ignorer que le développement d'une nation commence par la population qui y vivent. D'où pour assainir la ville de Kinshasa, population congolaise doit changer de mentalité.

Dans le passé, l'insuccès du programme d'assainissement de la ville de Kinshasa était attribué à un problème d'approche; les personnes enquêtées estiment quant à eux pour que le programme Kin-Bopeto soit un succès, il faut responsabiliser l'individu. Car il faut que la conscience de Kinois travaille. Il faudra que le Kinois lui-même se reproche que ce qu'il est en train de faire n'est pas propre. La personne doit toujours continuer à faire du bien sans être forcé par qui.

Aux autorités de la ville de Kinshasa et du district de mont-Amba:

- De faire la campagne de sensibilisation ou de formation de gestion des déchets ménagers;
- De faire respecter ou de suivre de près les travaux communautaires dans les avenues, quartiers et Communes de la ville de province de Kinshasa en général, et particulièrement de MONT-AMBA en disposant les polices d'environnement;
- De disposer des poubelles publiques aux endroits en dehors des quartiers
- De susciter l'adhésion, inculquer une nouvelle vision, communiquer et donner l'information. Au fait, l'Etat doit inscrire le changement dans la dynamique d'une interaction pérennante et constructive. Tel qu'en Europe, il y a des gens qu'on met en route pour dire par exemple aux gens qu'il ne faut pas jeter la bouteille là-bas, il y a une poubelle
- Organiser le Salongo de chaque Samedi car le faire une fois le mois serait insuffisant. Aujourd'hui pour assainir la ville de Kinshasa, il faudrait que le Salongo soit une action permanent avec suivi et que cela ne soit pas vu comme une expression de tracasserie et gagne-pain
- Mettre des poubelles dans chaque Avenue qui seront évacuées après le Salongo. D'où la mise en place de tout un système d'évacuation des déchets et des ordures jusqu'à la décharge finale. Car une évacuation inconsidérée des déchets a pour conséquences la contamination de l'air, de l'eau et du soi
- Une bonne Gestion des déchets tout en plaçant des usines de transformation de ces déchets car une moindre négligence dans la gestion des déchets entraîne une double conséquence d'une part la dégradation de l'espace vital et d'autre part la présence accrue des certaines maladies

REFERENCES

- [1] H. HOLENU MANGENDA, Kinshasa: Urbanisation et enjeux écologiques durables. L'Harmattan, 2020a.
- [2] H. HOLENU MANGENDA, P. MULABA, A. KIAWUTUA, «Gestion des déchets ménagers dans la ville de Kinshasa: Enquête sur la perception des habitants et propositions,» Environnement, Ingénierie & développement, vol. 2, no. 83, pp. 19–26, 2020b.
- [3] A. S VUNI, M.H. HOLENU, P.F. PUELA, W.E. KISUNGILA, M.F. TSHIBUABUA, P. MASAMUNA, N.F. LELO, M.J-P. MOLA, K. J. ALONI and U.M.C. NZAU, «Etude de la gestion actuelle des déchets urbains à Kinshasa (République Démocratique du Congo) par observation le long de l'avenue Université,» Environnement, Ingénierie & développement, 88, pp. 3–11, 2022.
- [4] P. THONART, S.I. DIABATE, S. HILIGSMANN, M. LARDINOIS, Guide pratique sur la gestion des déchets ménagers et des sites d'enfouissement: Technique dans les pays du Sud. Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie (IEPF), Québec, 2005.
- [5] M. HAFIDI, L'impact et la gestion des déchets solides (Région Marrakech-Safi). Helmut Reifeld, Abir Ibourk, 2015.
- [6] M. AZAITRAOUI, M-N. CARRE, J. CAVE, C. DARDY, R. DE BERCEGOL, L. DEBOUT, J. DELA RUE, P. DESVAUX, A. DUKHAN, M. DURAND, B. FLORIN, E. FOUQUE, J. FURNISS, J. GARNIER, S. GOWDA, S. JAGLIN, M. LEMEUR, R. MARCINIAK, L. MORETTO, J. R. NGAMBI, A. OUATMANE, A. PIERRAT, M. RATEAU, I. SALENSON, Du rebut à la ressource: valorisation des déchets dans les villes du Sud. Agence Française de Développement, 2016.
- [7] J.-M. BALET, Gestion des déchets: Les différents types de déchets, les modes de collecte et de gestion, les filières de traitement. 5è Ed., Dunod, Paris, 2016.
- [8] N.F. LELO, Ville et environnement, Ed. Harmattan, Paris, 2008.
- [9] D. ZMIROU, M. BEAUSOLEIL, P. de CONINCK, I. DEPORTES, F. DOR, P. EMPEREUR-BISSONNET, M. HOURS, G. KECK, L. LEFEBVRE, L. ROUISSE, Déchets et sols pollués, In: Environnement et Santé publique-Fondements et pratiques, Edisem / Tee & Doc., Acton Vale, Paris, pp. 397-440, 2003.

