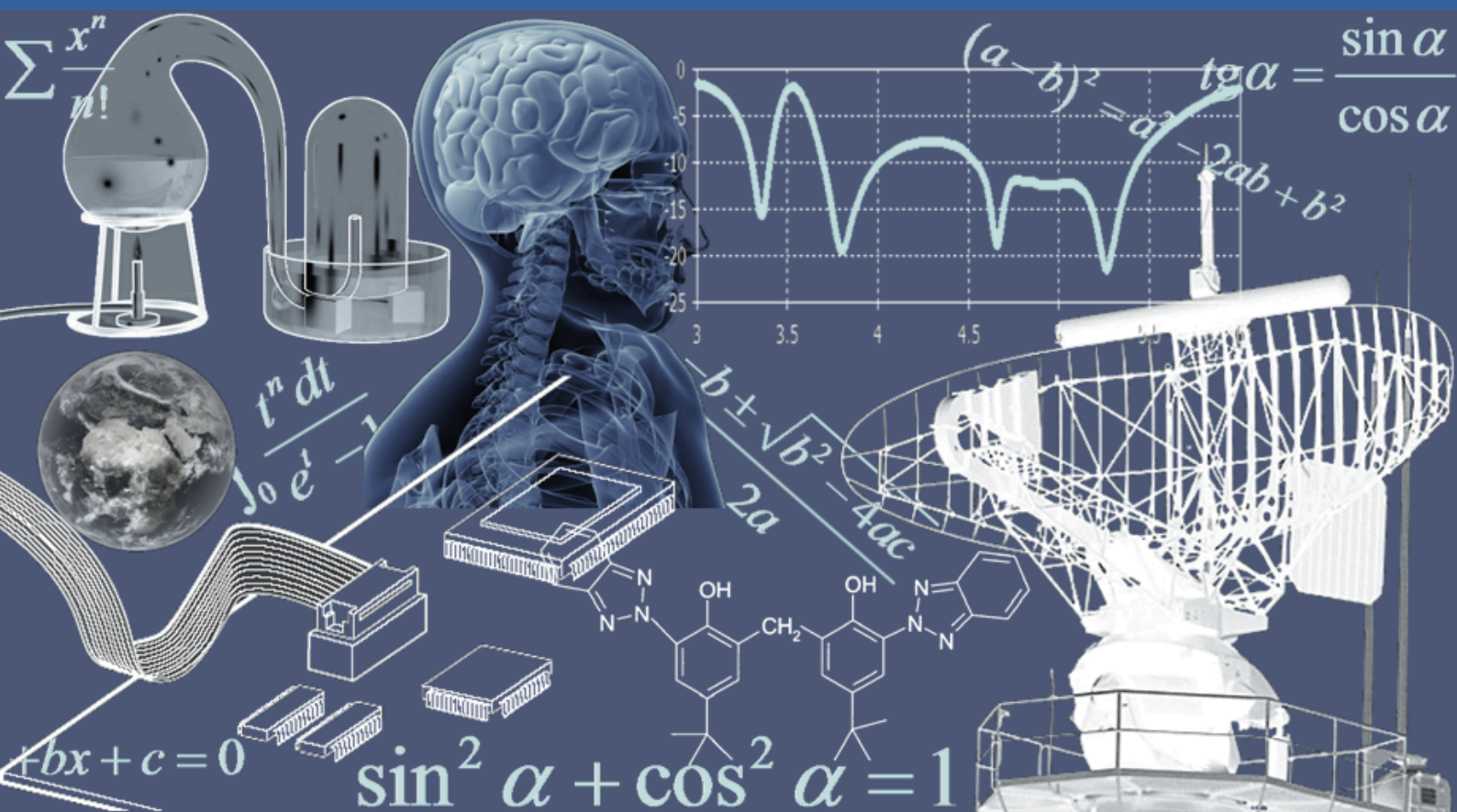


INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION AND APPLIED STUDIES

Vol. 47 N. 2 December 2025



International Peer Reviewed Monthly Journal



International Journal of Innovation and Applied Studies

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

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

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

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

Editorial Advisory Board

Amir Samimi, Ph.D. of Science in Chemical engineering, Process Engineer & Risk Specialist of Oil and Gas Refinery Company, Iran
Mahsa Ja'fari, Department of Chemical Engineering, Abadan Faculty of Petroleum, Petroleum University of Technology, Abadan, Iran
Alin Velea, Paul Scherrer Institute, Switzerland
Kamyar Hasanzadeh, Aalto University, Finland
Ogbonnaya N. Chidibere, University of East Anglia, United Kingdom
Oumair Naseer, University of Warwick, United Kingdom
Wei Zheng, University of Texas Health Science Center at San Antonio, USA
Hu Zhao, University of Southern California, USA
Haijian Shi, Kal Krishnan Consulting Services, Inc, USA
Syed Ainul Abideen, University of Bergen, Norway
Malika Maataoui, Mohammed V University, Morocco
Fabio De Felice, University of Cassino and Southern Lazio, Italy
Giovanni Leonardi, Mediterranea University of Reggio Calabria, Italy
Siham El Gouzi, Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, Spain
Mohamed KOSSAÏ, European Business School EBS Paris, France
Mustafa Batuhan AYHAN, Marmara University, Turkey
Andrzej Klimczuk, Warsaw School of Economics, Poland
Corinthias P. M. Sianipar, Tokyo University of Science, Japan
Irfan Jamil, Sinohydro Engineering, China
Sukumar Senthilkumar, Chonbuk National University, South Korea
Bratu (Simionescu) Mihaela, Bucharest University of Economic Studies, Romania
Mirela Maria Codescu, National Institute for R&D in Electrical Engineering ICPE-CA, Romania
Milen Zamfirov, St. Kliment Ohridski Sofia University, Bulgaria
Svetoslava Saeva, Neofit Rilski South-West University, Bulgaria
Dimitris Kavroudakakis, 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 Bumerdes, Algeria
Zoubir Dahmani, UMAB University of Mostaganem, Algeria
Mohsen Brahmi, Sfax University, Tunisia
Mongi Besbes, University of Carthage, Tunisia
Mai S. Mabrouk, Misr University for Science and Technology, Egypt
Olfat A Diab Kandil, Misr University for Science and Technology, Egypt

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

Table of Contents

Effect of Exogenously Applied Vitamin C (Ascorbic Acid) as Foliar Spray on the Growth of Maize (<i>Zea mays</i> L.) <i>Farhana Ilyas Khan and Samina Malik</i>	138-146
Facteurs favorisants les grossesses précoces chez les adolescentes du quartier Leprosérie, Aire de santé Mopela, Zone de santé rurale de Bwamanda, Province du Sud Ubangi, RDC <i>Makongo Malaka Frederick, MAMBESA BAINAMBOKA Martin, MANGI BENDE Maurice, MOMBELA IBELE Désiré, WEBINA SANA Clarice, and Bokango Bapoti Thomas</i>	147-155
Caractéristiques pondérales, morphologiques et démographiques des chèvres Djallonké: Atouts pour les programmes d'élevage communautaire à l'Ouest du Burkina Faso <i>Zongo Pierre, Dominique Ouédraogo, Yougbaré Bernadette, Salifou Ouédraogo-Koné, Ouermi Souleymanne, and Soudré Albert</i>	156-165
Characteristics and typology of the cattle farming system and genetic resource management in Burkina Faso <i>Gniné Fabiola Traore, Kisito Tindano, Wendata Raïcha Ouédraogo, Arnaud Stéphane Rayanagnéwendé Tapsoba, Bernadette Yougbare, Geoffroy Kinda, and Amadou Traore</i>	166-177
Impact of Agency Conflicts on Financial Performance: Evidence from Publicly Listed Companies in Africa <i>Jules KOUNOUWEWA</i>	178-188
Indices de pollution des eaux du bassin hydrographique de la rivière Lufira par des métaux lourds (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Ni, Pb, Se et Zn) rejetés dans les effluents miniers de la ville de Likasi et ses environs, Haut Katanga (RD Congo) <i>Boris UNYUMBE YANGA KALALA, René Gizanga Valu, Willy LUSASI SWANA, Thierry TANGOUE TABOU, Camille NSIMANDA IPEY, and Musibono Eyul'Anki Dieudonné</i>	189-208
Coupling geophysics and granulometry for the siting of high-flow boreholes in a sedimentary environment <i>Rock Armand Michel BOUADOU, Bertrand Ouessé TAGNON, Adama COULIBALY, Kouamé Auguste KOUASSI, and Francis Williams KOUASSI</i>	209-220
Efficacité agronomique d'amendements organiques améliorés à base de l'effluent du Biodigesteur sur la culture de maïs dans la région des Cascades au Burkina Faso <i>F.Y. LANKOANDE, A. BAMOGO, S. OUEDRAOGO, and M. TRAORE</i>	221-226
Caractérisation physicochimique des farines dérivées d'ignames de sous-bois cultivées en association avec l'hévéa dans deux localités du Haut-Sassandra (Côte d'Ivoire) <i>N'GORAN M'Modjou Flora, Casimir Anauma KOKO, DIGBEU Dogoré Yolande, SOUMAHIN Eric Francis, and Kouame Kan Benjamin</i>	227-237
Effects of Asclepiadaceae <i>Secamone afzelii</i> (Rhoem. and Schult.) aerial parts meal on growth performance and health of broiler chickens <i>Gningnini Alain Koné, Casimir Kekou, Faustin Parfait Koutouan, Konan Raphaël N'Guessan, Kouamé Marc Kouadio, and Maryline Kouba</i>	238-249
Comparative study of the temporal and special algorithmic complexity of iterative structures versus recursive structures <i>DIONGA NDIBU Ornella, LUBONGO MUEMBE Georgine, Glory ALONDA MADOMBA, Simplicie EALE BOTULI, and KABEYA TSHISEBA Cedric</i>	250-255
Diversité et statut de conservation de l'ichtyofaune de la volta noire, Côte d'Ivoire <i>Yelayaha Arouna QUATTARA, Siaka BERTE, Mamadou CISSE, DIOMANDE Abou, and Romeo N'Guessan LOZO</i>	256-263

Effect of Exogenously Applied Vitamin C (Ascorbic Acid) as Foliar Spray on the Growth of Maize (*Zea mays* L.)

Farhana Ilyas Khan and Samina Malik

Department of Botany, University of Agriculture, Faisalabad, Punjab 38000, Pakistan

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

ABSTRACT: Ascorbic acid (Vitamin C) is a growth regulator that stimulates plant growth and development. First, a preliminary experiment was performed to find the optimal Vitamin C dosage for maize plants. A single genotype of maize, Golden, was grown in sand under pot conditions. Hoagland's nutrient solution was applied for seven days. Four doses of Vitamin C (i.e., 0.5, 1, 1.5 and 2 mM) were applied as foliar spray on maize seedlings for two weeks. Then, in the main experiment, two genotypes of maize (*Zea mays* L.) namely Golden and Agaiti 2000 were grown in soil in a wire house at the Botanical Garden, the University of Agriculture in Faisalabad (Pakistan). Based on the preliminary results, the optimal dose (2 mM) of ascorbic acid was applied exogenously as foliar spray on leaves of both genotypes every third day for five weeks at seedling stage (3 leaf stage). Findings were noted both qualitatively and quantitatively in terms of different physiological and growth parameters. In addition, COSTAT software was employed to perform statistical analysis of quantitative readings for all parameters using analysis of variance (ANOVA) technique. It was observed that treated plants showed improved health and growth compared to non-treated plants with higher contents of physiological variables including chlorophyll, carotenoids, soluble carbohydrates, and minerals etc. and increased leaves, roots and shoots sizes and biomass. Moreover, Agaiti 2000 genotype was observed to show better results than genotype golden.

KEYWORDS: Maize, ascorbic acid (AsA), vitamin C, foliar spray, growth, statistical analysis.

1 INTRODUCTION

Maize is one of the most popular oldest and staple cereals crops. It is popular for its use as food, fodder as well as for medical purpose in the world. It is one of the highest yielding crops in Pakistan and considered as the third chief cereal crop after wheat and rice (AARI, 2022). Due to its expanded industrial consumption, maize crop is also called "the other gold". In Pakistan, Punjab and KPK are the two major provinces for maize production. Both provinces produce almost 97% of the total maize crop in country. At commercial level, grains of maize are considered significant to produce oil, starch, and glucose (Niaz and Dawar, 2009).

Maize food products such as cooked corn, flour bread, popcorn, and cornflakes etc. are beneficial for human body. They are high in nutrients, quickly break down into intermediate carbohydrates and dextrin, and thus, are easy to digest. The dextrose produced during the process has medicinal benefits and helps with constipation. Maize contains several minerals like magnesium, potassium, phosphorus, calcium, zinc and iron etc. which helps to keep bones and kidney healthy. It also functions as an antioxidant to support our health (Jacinto *et al.*, 2018). A significant portion (~66%) of maize production is used as feed for animals/birds and for human consumption. Wet milling is second largest industry which consumes ~30% total maize yield and remaining 4% is generally used for seed and other applications (AARI, 2022).

Since plants cannot move, they must adapt to survive the severe environmental and natural conditions in their cultivation habitat. Because of environmental stresses such as drought or water stress, the crops can lose about two-thirds of their yield (Bray *et al.*, 2000; Manivannan *et al.*, 2008). Salt or salinity stress is another such condition which adversely affects crops' agronomic and physiological characteristics and consequently, plants' yield (Gómez-Pando *et al.*, 2010). In response to these abiotic stresses, plants activate a wide range of enzymatic and non-enzymatic defense mechanisms to protect themselves from

oxidative distresses generated by reactive oxygen species (ROS) (Ashraf, 2009). To minimize and control their adverse impacts, it is crucial to fully understand the biochemical, molecular, and physiological processes that stop plants from growing and developing normally (Razmjoo *et al.*, 2008).

The effects of salt stress on plant growth and yield can be lessened by using exogenously applied growth regulators, non-enzymatic antioxidants, and fertilizers (Kaya *et al.*, 2010). Vitamin C applications on plant's roots reduces salinity stress and raises quantity of cytosolic free Ca^{2+} ions (Makavitskaya *et al.*, 2018). It was reported that ascorbic acid applications raised nutrients (N, K^+), chlorophyll contents and all growth attributes under salt (NaCl) stress. (Alhasnawi *et al.*, 2015). Application of ascorbic acid also decreased microbial and antioxidant potential of plants under salinity stress and boosted their growth as well as the seed germination (Neelma *et al.*, 2021; Chen *et al.*, 2021).

Similarly, it has been demonstrated that exogenous application of ascorbic acid can reduce the detrimental consequences of water stress on plants (Khalil *et al.*, 2010). Ascorbic acid (AsA /Vitamin C) is a powerful antioxidant that helps to detoxify the reactive oxygen bodies (Qian *et al.*, 2014). Seed production, photosynthetic contents, carbonic anhydrase activity, general health, and antioxidant production are all negatively impacted by water stress. Ascorbic acid application helped to mitigate these negative impacts under water stress (Alaa A. Gaafar *et al.*, 2020).

As literature survey shows, plants face adverse environmental conditions throughout their life cycle. Although, Vitamin C or ascorbic acid has been tested against salt/drought stress in various plant species, significance of this vitamin has not been thoroughly explored under normal conditions. In Pakistan, maize is usually grown in areas with abundant fresh water and normal soil conditions. Investigating the effects of Vitamin C application on maize plant would benefit to understand the plant behavior /response in terms of various growth parameters and to optimize the dosage for maximizing the crop yield under normal conditions. To address this gap, present study was designed to analyse the effectiveness of using ascorbic acid (AsA or Vitamin C) as a growth hormone to promote growth of maize plants and increase the productivity under normal conditions.

2 MATERIALS AND METHODS

First, to find the most effective dose of ascorbic acid (AsA) for maize plants, an optimization experiment was conducted. A single variety of maize, Golden, was sown in sand under pot conditions. Hoagland's nutrient solution was applied every week and four doses of ascorbic acid (0.5, 1, 1.5, or 2 mM) were applied by spraying maize seedlings after every 3 days for two weeks. Ascorbic acid and distilled water were mixed, and Tween-20 was added as a surfactant to create a foliar spray solution. The level at which maximum growth occurred was selected. This level (2 mM) was used to examine the effectiveness of AsA on two maize varieties. i.e., Golden and Agaiti 2000. Seeds of maize were sown in plastic pots containing 10 kg soil. The temperature and humidity were not controlled to closely represent the actual field conditions and they varied between 25-30°C and 20-40%, respectively. Direct sunlight was used during the whole day. There were total of 12 pots, 6 for each variety (3 control and 3 treated with ascorbic acid). Each pot had 6 plants. Ascorbic acid treatment as foliar spray was started at 3 leaf (seedling) stage of growth and was applied after every 3 days. The growth and physiological parameters as described in following Sections 2.1 and 2.2 were recorded after 5 weeks treatment of ascorbic acid.

2.1 GROWTH PARAMETERS

The plants were grown and treated with ascorbic acid for 5 weeks before being harvested. A measuring tape was used to determine the root and shoot length in centimeter (cm). The fresh weight of the plant was calculated using the top/electronic balance in grams (g). After the determination of fresh weight, the samples were dried in oven and then dry weight (g) was noted. Area of leaves (cm^2) was determined by using following formula (El-Sahookie, 1985):

$$\text{Leaf Area (cm}^2\text{)} = \text{Leaf Length} \times \text{Leaf Width} \times 0.75$$

2.2 PHYSIOLOGICAL PARAMETERS

Chlorophylls a, b and carotenoids were extracted, and their concentration was determined from fresh leaf samples following Arnon (1949):

$$\text{Chl. a (mg ml}^{-1}\text{)} = [12.7 (\text{OD } 663) - 2.69 (\text{OD } 645)] \times \frac{V}{1000} \times W$$

$$\text{Chl. b (mg ml}^{-1}\text{)} = [22.9 (\text{OD } 645) - 4.68 (\text{OD } 663)] \times \frac{V}{1000} \times W$$

$$\text{Carotenoids (g ml}^{-1}\text{)} = \frac{A_{\text{car}}}{Em^{100\%}} \times 100$$

$$A_{\text{car}} = [(OD\ 480) + 0.114 (OD\ 663) - 0.638 (OD\ 645)]$$

$$Em^{100\%}Cm = 2500$$

Where OD, V and W are optical density at certain wavelength (e.g., 480, 645 and 663 nm), the extracted volume of leaves (ml) and the fresh leaves tissue weight (g), respectively.

Determining of total soluble carbohydrate content was done using the Hedge and Hofreiter technique (1962). Leaf samples were frozen at -20°C for a week followed by thawing to extract the cell sap. To determine the sap's osmotic potential an osmometer (VAPRO) was used. The concentrations of sodium, potassium, and calcium ions were measured using a flame photometer, while the concentrations of phosphate ions were measured using a spectrophotometer (Hitachi-U2001, Tokyo, Japan).

2.3 STATISTICAL ANALYSIS

To perform a statistical analysis, analysis of variance (ANOVA) technique was employed through COSTAT software. To determine the difference between the mean values, Least Significant Difference (LSD) was calculated (Steele *et al.*, 1997).

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 OPTIMIZATION EXPERIMENT

The root length (cm), shoot length (cm), fresh biomass (g), and dry biomass (g) of maize plants were all increased after applying ascorbic acid as a foliar spray at 0, 0.5, 1, 1.5, and 2 mM concentrations. Ascorbic acid at a concentration of 2 mM showed the highest increase (Figure 1); hence this was chosen as the optimal dosage for the main experiment.

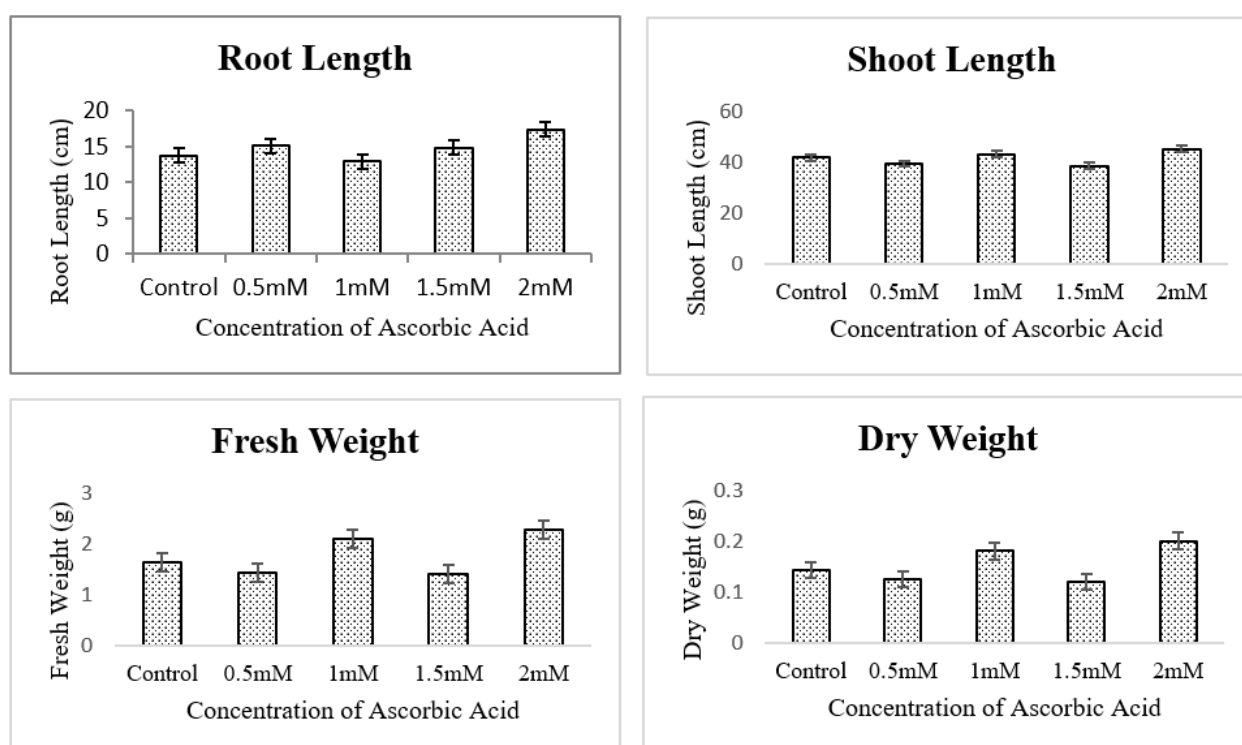


Fig. 1. Comparative effect of different concentrations of ascorbic acid (0.5mM, 1mM, 1.5mM and 2mM) as foliar spray on various growth parameters

3.2 MAIN EXPERIMENT

A plant with deep roots can absorb more water and nutrients than one with shallower roots. The chances of plants' survival in drought conditions are increased with stronger root system (Hoogenboom *et al.*, 1987). Similarly, an expanded shoot system with larger leaves and longer shoots allow plants to absorb maximum light for increased photosynthesis and healthier growth (Bakry *et al.*, 2013). In this research foliar application of Vitamin C resulted in significantly longer roots and shoots in both maize cultivars. However, Agaiti 200 showed better results comparatively (Figure 2). This indicates that ascorbic acid has a positive influence on roots and shoots growth of treated plants in comparison to non-treated ones because it can regulate cell division, elongation, and differentiation of cells (Liso *et al.* (1988). These observations are in line with Fazlali *et al.*, (2013), Ahmad *et al.* (2013), Razaji *et al.* (2012) and Hassan *et al.* (2021) who noted the same effects of Ascorbic acid on the root and shoot length growths for Pumpkin, spring Maize, safflower and *Hordeum vulgare* L. plants respectively.

Spraying ascorbic acid over the leaves of both genotypes also increased the fresh and dry weight of maize plants. The effect was found to be more pronounced in the Agaiti 2000 genotype. Khan *et al.* (2006) and Hassan *et al.* (2021) also supported this role of vitamin C in their respective studies. They reported that use of foliar spray of ascorbic acid improved the fresh and dry weight of the root and shoot in wheat and *Hordeum vulgare* L. In addition, ascorbic acid treatment also increased the leaf area of both maize varieties which is similar to the findings reported by Ejaz *et al.*, (2012) for *Saccharum* spp. under the stress of salt. Larger leaf area can support more absorbance of light as well as increased number of stomata that leads to more photosynthesis and an enhanced plant growth (Weraduwa *et al.*, 2015).

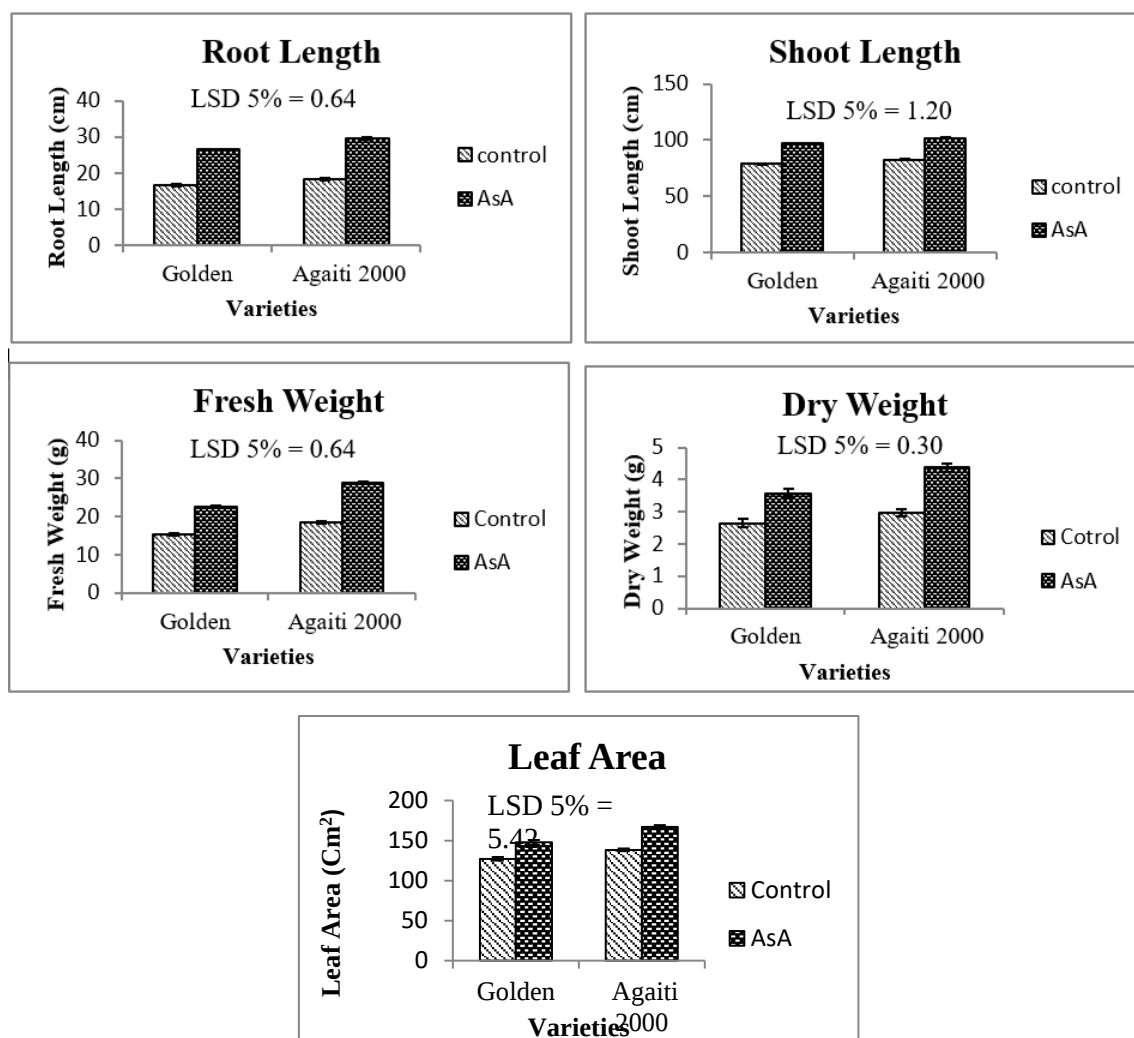


Fig. 2. Results of exogenously applied (foliar sprayed) 2 Mm ascorbic acid on various growth parameters under normal cultivated conditions

Chlorophyll a and b are green pigments of chloroplasts which have significant role in photochemical reaction and directly influence the rate of photosynthesis (Taiz and Zieger, 2006). Increased photosynthesis leads to rise in plant growth. In the present study, ascorbic acid application increased the contents of chloroplast pigments and carotenoids in both genotypes. However, genotype Agaiti 2000 showed slightly higher levels of chlorophyll a, b, and carotenoids than Golden (Figure 3). These findings are supported by studies conducted by other researchers e.g., Tuna *et al.*, (2013) in maize, Dolatabadian and Jouneghani (2009) in wheat, and Hasan *et al.*, (2021) in *Hordeum vulgare* L. who also found that foliar application of ascorbic acid increased the photosynthetic efficiency of plants in comparison to non-treated ones.

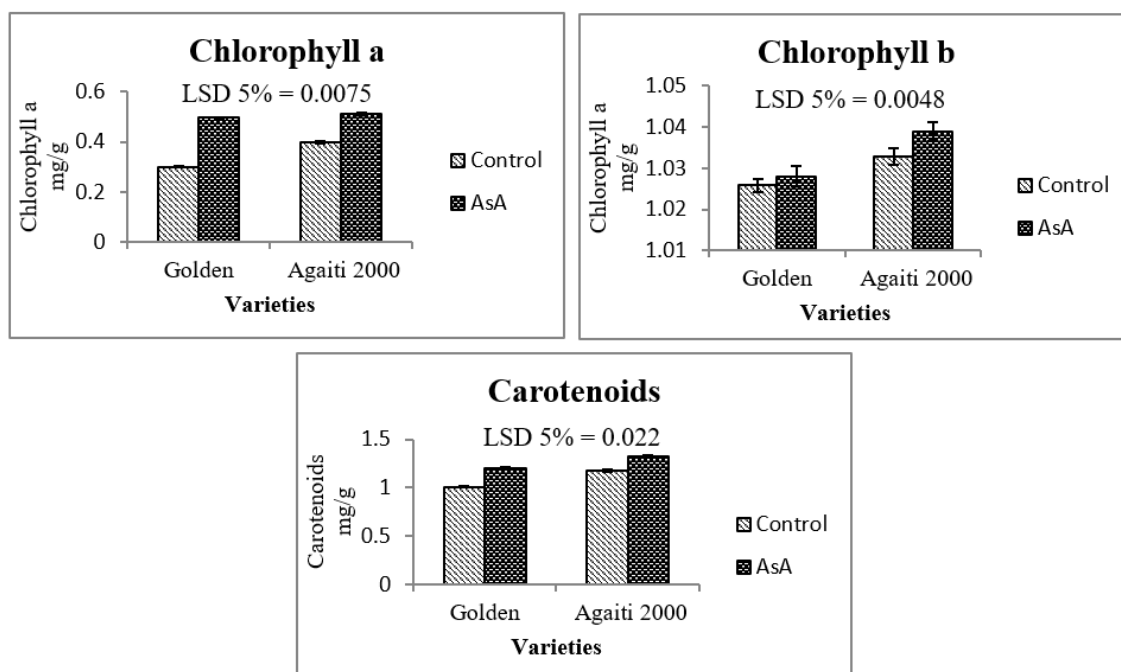


Fig. 3. Results of exogenously applied (foliar sprayed) 2 Mm ascorbic acid on Chloroplast pigments and Carotenoids

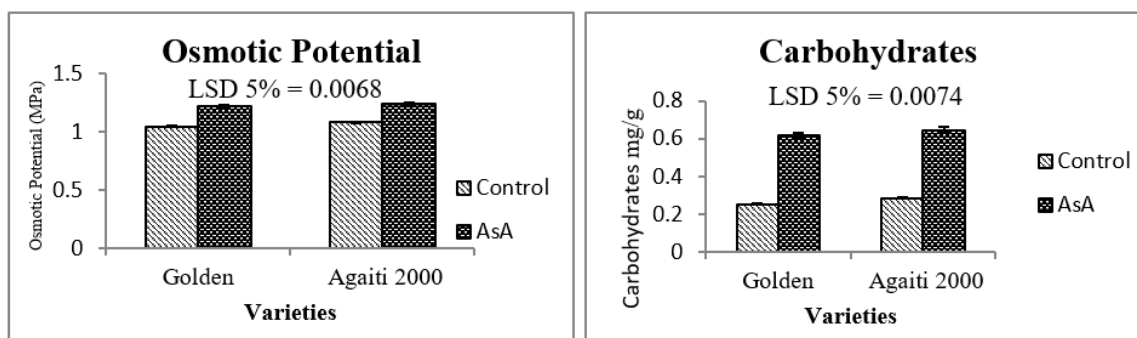


Fig. 4. Results of exogenously applied (foliar sprayed) 2 Mm ascorbic acid on Osmotic potential and soluble Carbohydrates

Carbohydrates formed through photosynthesis are the building blocks of many chemical compounds and are the key source of energy. Additionally, they have a pivot function as signaling molecules like phytohormones. They also play role in plant immunity (Smeekens *et al.*, 2010). In the present study, ascorbic acid application increased total soluble carbohydrates of both genotypes (Figure 4). Sadak *et al.* (2010) also found a significant increase in total carbohydrates and total soluble sugars when ascorbic acid was applied on the shoots of faba bean plants under the stress of salt. On the other hand, osmotic regulation is important for plant cells to stay alive. It also facilitates leaf expansion and stomatal conductance (Westgate & Boyer, 1985). Moreover, osmotic potential of a cell keeps it turgid. In this study, when ascorbic acid was added as foliar spray, the osmotic potential was increased significantly. Farouk *et al.* (2011) also found that applying 100 mg/L of ascorbic acid increased the wheat's osmotic potential under salt stress.

Salt stress leads to decrease in seed germination (Zeinaliet *al.*, 2002). It also stimulates different plant metabolisms like ion toxicity, osmotic stress, and reactive oxygen species (Mittler, 2002). In present study, ascorbic acid (AsA) treatment decreased the amount of Na^+ in both roots and shoots. The effect was relatively more prominent in Golden genotype (Figure 5; Table 3). Alhakimi and Hamada (2001) also indicated that wheat grains soaked with AsA reduced the content of accumulated Na^+ . Elwanet *al.*, (2007) in eggplant and Elwan and El-Hamed (2012) in sweet Charlie plant also observed that AsA treatment mitigates the adverse effects of salinity by decreasing Na^+ content of plants.

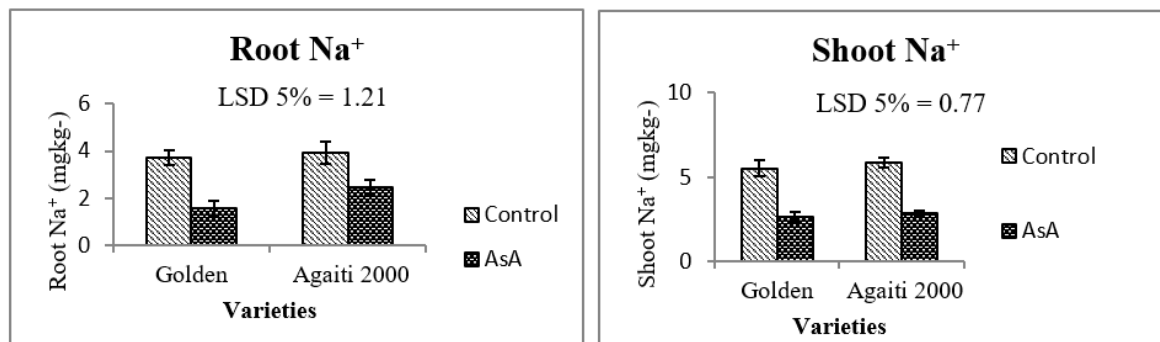


Fig. 5. Results of exogenously applied (foliar sprayed) 2 Mm ascorbic acid on Sodium (Na^+) content

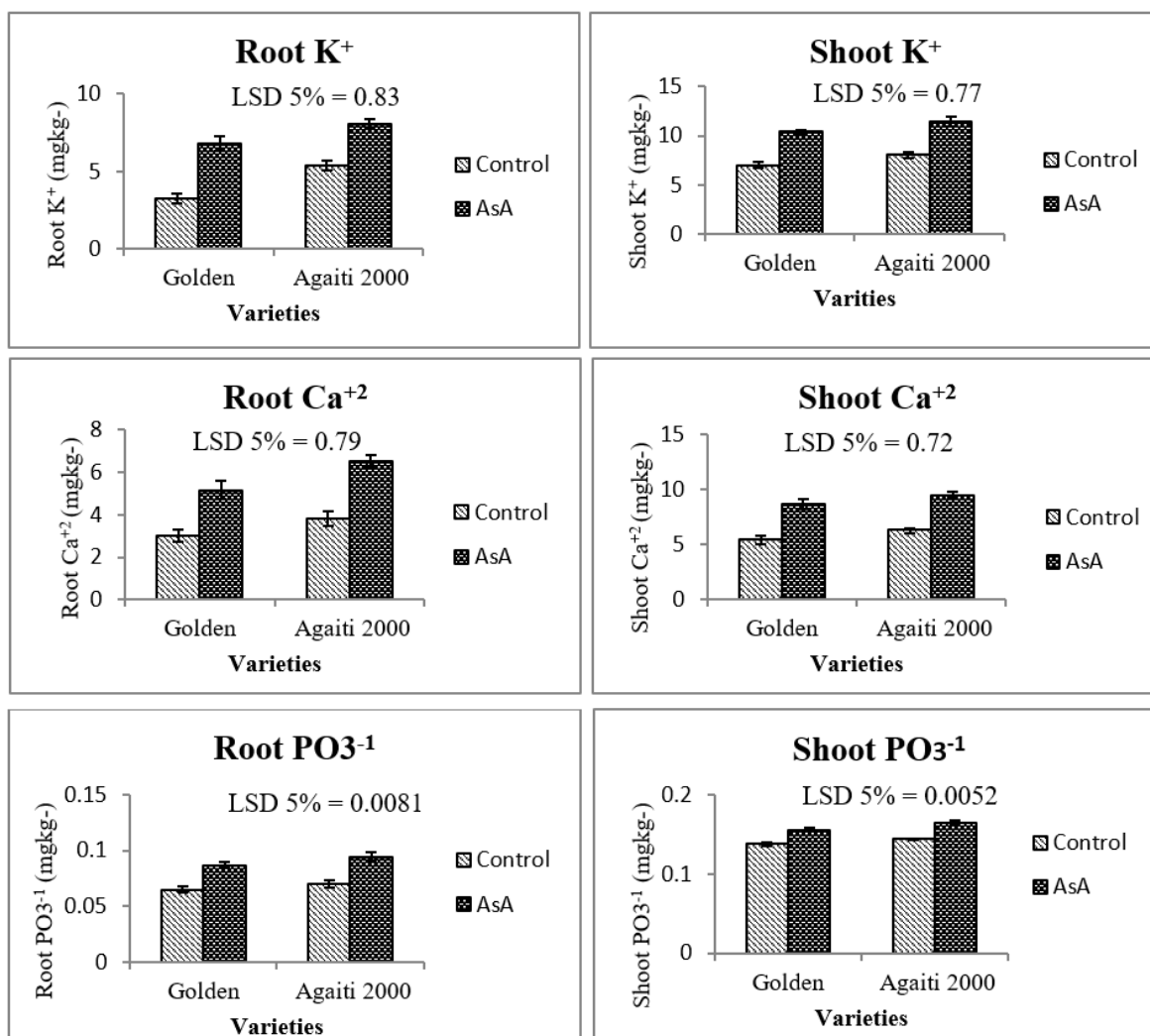


Fig. 6. Results of exogenously applied (foliar sprayed) 2 Mm ascorbic acid on Potassium, Calcium and Phosphate contents

Potassium as cation (K^+) is essential for plant growth (White and Karley, 2010). It acts as an activator of several vital enzymes. It also helps to improve photosynthesis, protein synthesis, transporting sugar, and metabolism of nitrogen and carbon. It has a vital role in plants' quality and yield improvement (Marschner, 2012; Oosterhuis *et al.*, 2014). Calcium (Ca^{+2}) as a mineral is needed in construction of the cell wall, especially in middle lamella to hold the strands of pectin together (Eklund and Eliasson, 1990). It also takes part in cell division and plays a role of messenger in reactions to different environmental and hormonal signals (White and Broadley, 2003). Phosphate (PO_4^{3-}) is another important mineral in DNA and RNA. It is needed for the formation of lipid bilayers in cell membranes. It is also needed for the reversible phosphorylation of proteins. In the cytoplasm of a typical plant, there are between 60 and 80 μM of PO_4^{3-} (Pratt *et al.* 2009). To grow and develop normally, plants need more PO_4^{3-} than the standard 10 μM found in soil (Plaxton and Tran, 2011).

In present investigation, an improvement was examined in the Calcium (Ca^{+2}), Potassium (K^+) and Phosphorus (PO_4^{3-}) content of both roots and shoots in both varieties of maize with the application of Vitamin C (Figure 6; Table 4). Elwanet *et al.* (2007) showed that Vitamin C application increased the Potassium and Calcium content of eggplant leaves. Arab and Ehsanpour (2006) also observed that application of ascorbic acid to alfalfa plants under salt stress raised the level of acid phosphate under invitro conditions.

4 CONCLUSION

Overall, the foliar application of ascorbic acid under normal conditions and environment (general representation of most agricultural areas in Punjab and KPK) significantly increased all growth attributes and physiological attributes including root, shoot and leaves sizes, fresh and dry weight of plants, chloroplast pigments, osmotic potential, and mineral (Calcium, Phosphate and Potassium) contents of root and shoot. On the other hand, salt (Sodium) content in roots and shoots was decreased by application of ascorbic acid in both genotypes of maize (Golden and Agaiti 2000). Genotype Agaiti 2000 showed slightly better results compared to the Golden. Thus, foliar application of ascorbic acid is effective in overall plant growth. Future extension studies can focus on exploring the effects of higher dosage application of vitamin C including additional diversity of genotypes.

REFERENCES

- [1] Ahmad, I., S. M. A. Basra, I. Afzal, M. Farooq and A. Wahid. 2013. Growth improvement in spring maize through exogenous application of ascorbic acid, salicylic acid and hydrogen peroxide. *Int. J. Agric. Biol.*, 15: 95–100.
- [2] Al-Hakimi, A. M. A. and A. M. Hamada. 2001. Counteraction of salinity stress on wheat plants by grain soaking in ascorbic acid, thiamin or sodium salicylate. *Biologia Plantarum*, 44: 253-261.
- [3] Alhasnawi N. A., A. A. Kadhim, A. Isahak, A. Mohamad, W. M. W. Yusoff and C. R. C. M. Zain. 2015. Exogenous Application of Ascorbic Acid Ameliorates Detrimental Effects of Salt Stress in Rice (MRQ74 and MR269) Seedlings. *Asian J. Crop Science*, 7: 186-196.
- [4] Arab, L. and A. A. Ehsanpour. 2006. The effects of ascorbic acid on salt induced alfalfa (*Medicago sativa* L.) in in vitro culture. *Biokemistri*, 18: 63-69.
- [5] Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiol.*, Lancaster, p. 24: 1-15.
- [6] Ashraf, M. 2009. Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using antioxidants as markers. *Biotechnol. Adv.*, 27: 84-93.
- [7] Ayub Agricultural Research Institute (AARI). 2022. Online Article «Maize and Millets». https://aari.punjab.gov.pk/crop_varieties_maize_millets (Accessed on 18 May 2022).
- [8] Bakry, B. A., T. A. Elewa, M. F. El-kramany and A. M. Wali. 2013. Effect of humic and ascorbic acids foliar application on yield and yield components of two Wheat cultivars grown under newly reclaimed sandy soil. *Int. J. Agr. Plant Prod.*, 4: 1125-1133.
- [9] Bray, E.A., J.B. Serres and E. Weretilnyk. 2000. Responses to abiotic stresses. In: Gruissem, W., B. Buchanan and R. Jones (eds.) «Biochemistry and Molecular Biology of Plants» American Society of Plant Physiologists: 1158-1203.
- [10] Chen, Z., X. L. Cao and J. P. Niu. 2021. Effects of exogenous ascorbic acid on seed germination and seedling salt-tolerance of alfalfa. *Plos one* 16 (4): e0250926. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250926>.
- [11] Dolatabadian, A., R.S. Jouneghani. 2009. Impact of exogenous ascorbic acid on antioxidant activity and some physiological traits of common bean subjected to salinity stress. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj.*, 37: 165-172.
- [12] Ejaz, B., Z. A. Sajid and F. Aftab. 2012. Effect of exogenous application of ascorbic acid on antioxidant enzyme activities, proline contents, and growth parameters of *Saccharum* spp. hybrid cv. HSF-240 under salt stress. *Turk J. Biol.*, 36: 630-640.

- [13] Eklund L., L. E. Eliasson. 1990. Effects of calcium ion concentration on cell wall synthesis. *J. Exp. Bot.* (41) 863-867).
- [14] El-Sahookie, M.M. (1985). A shortcut method for estimating plant leaf area in maize *Z. Acker und pflanzenbau.* 154: 157.
- [15] Elwan, M. W. M., W. I. Shaban, A. I. Mohamed and H. E. A. Hossein. 2007. Effect of foliar application of Ascorbic acid on plant growth, powdery mildew disease, chemical composition, fruit yield and quality of Eggplant (*Solanum melongena* L.) grown under saline and non-saline conditions. *J. Agric. Sci.*, 32: 10359-10378.
- [16] Farouk S. 2011. Ascorbic acid and α -tocopherol minimize salt-induced wheat leaf senescence. *J. Stress Physiol. Biochem.*, 7: 58-79.
- [17] Fazlali, R., D. E. Asli and P. Moradi. 2013. The effect of seed priming by ascorbic acid on bioactive compounds of naked Seed pumpkin (*Cucurbita pepovar. styriaca*) under salinity stress. *Int. J. Farming and Allied Sci.*, 2: 587-590.
- [18] Gaafar A.A., Sami I. Ali, Mohamed A.El-shwafy, Z.A. Salama, A. Sekara, C. Ulrichs and m. T. Abdelhamed. 2020. Ascorbic Acid Induces the Increase of Secondary Metabolites, Antioxidant Activity, Growth, and Productivity of the Common Bean under Water Stress Conditions. *J. Plants.* 9 (5), 627. <https://doi.org/10.3390/plants9050627>.
- [19] Gómez-Pando, L. R., R. Álvarez-Castro and A. Eguiluz-de la Barra. 2010. Effect of Salt Stress on Peruvian Germplasm of *Chenopodium quinoa* Willd.: A Promising Crop. *J. Agron. Crop Sci.*, 196: 391-396.
- [20] Hassan, A, S. F. Amjad, M. H. Saleem, H. Yasmeen, M. Imran, M. Riaz, Q. Ali, F.A. Joya, mobeen, S. Ahmed, S. Ali, A. A. Alsahli and M. N. Alyemeni. 2021. Foliar application of ascorbic acid enhances salinity stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.) through modulation of morpho-physio-biochemical attributes, ions uptake, osmo-protectants and stress response genes expression. *Saudi J. Biol. Sci.* 28 (8): 4276–4290.
- [21] Hedge, J.E. and Hofreiter, B.T. (1962) In carbohydrate chemistry 17 (Eds whistler RL and Be Millee, J.N) Academic press, New York.
- [22] Hoogenboom, G., M.G. Huck, and C.M. Peterson, 1987. Root growth rate of soybean as affected by drought stress. *J. Agron.*, 79: 607–614.
- [23] Jacinto, B.P., G.R.C. Cecilia, C.J. Ricardo and A.L.L. Octavio. 2018. The Maize Contribution in the Human Health. *Corn - Production and Human Health in Changing Climate*.
- [24] Kaya, C., A. L. Tuna, M. Dikilitas. 2010. Responses of some enzymes and key growth parameters of salt stressed maize plants to foliar and seed applications of kinetin and indole acetic acid. *J. Plant Nutr.*, 33: 405-422.
- [25] Khalil, S. E., G, Nahed, A. Aziz and L. A. H. Bedour. 2010. Effect of water stress and ascorbic acid on some morphological and biochemical composition of *Ocimum basilicum* plant. *J. Amer. Sci.*, 6: 33-46.
- [26] Khan, A., M. S. A. Ahmad, H. Athar and M. Ashraf. 2006. Interactive Effect of Foliar Applied Ascorbic acid and Salt Stress on Wheat (*Triticum aestivum* L.) at the Seedling Stage. *Pak. J. Bot.*, 38: 1407-1414.
- [27] Liso R., Innocenti A.M., Bitonti M.B., Arrigoni O. Ascorbic acid-induced progression of quiescent center cells from G1-phase to S-phase. *New Phytol.* 1988; 110: 469–471. doi: 10.1111/j.1469-8137.1988.tb00284.x.
- [28] Makavitskaya M., X. Li, V. samokhina, V. Mackievic, i. Navaselsky, P. Hryvusevich, G. Smolikova, S. Medvedev. S. Shabala, M. Yu and V. Demidchik. 2018. Effects of exogenously-applied L-ascorbic acid on root expansive growth and viability of the border-like cells. *Plant Signalling and Behaviour.* 13 (9).
- [29] Manivannan, P., C.A. Jaleel R. Somasundaram and R. Panneerselvam. 2008. Osmoregulation and antioxidant metabolism in drought-stressed *Helianthus annuus* under triadimefon drenching. *C. R. Biologies*, 331: 418-425.
- [30] Marschner, H. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Cambridge, MA: Academic press.
- [31] Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidant and stress tolerance. *Trends in Plant Sci.*, 7: 405-410.
- [32] Munir. N., S. A. Khilji, M. Shabir and Z. A. Sajid. 2021. Exogenous Application of Ascorbic Acid Enhances the Antimicrobial and Antioxidant Potential of *Ocimum sanctum* L. Grown under Salt Stress. *J. Food Quality*. <https://doi.org/10.1155/2021/4977410>.
- [33] Niaz, I. and S. Dawar, 2009. Detection of seed borne mycoflora in maize (*Zea mays* L.). *Pak. J. Bot.*, 41: 443-451.
- [34] Oosterhuis, D., Loka, D., Kawakami, E., and Pettigrew, W. 2014. The physiology of potassium in crop production. *Adv. Agron.* 126, 203–234. doi: 10.1016/B978-0-12-800132-5.00003-1.
- [35] Plaxton, W.C., H.T. Tran. 2011. Metabolic adaptations of phosphate-starved plants. *Plant Physiology*. 156: 1006–1015.
- [36] Pratt, J., A. M. Boisson, E. Gout. R. Bligny. R. Douce. S. Aubert. 2009. Phosphate (Pi) starvation effect on the cytosolic Pi concentration and Pi exchanges across the tonoplast in plant cells: an in vivo ³¹P-nuclear magnetic resonance study using methylphosphonate as a Pi analog. *Plant Physiology*. 151: 1646–1657.
- [37] Qian, H. F., Peng, X. F., Han, X., Ren, J., Zhan, K. Y., and Zhu, M. 2014. The stress factor, exogenous ascorbic acid, affects plant growth and the antioxidant system in *Arabidopsis thaliana*. *Russ. J. Plant Physiol.* 61, 467–475. doi: 10.1134/S1021443714040141.
- [38] Razaji, A., D. E. Asli and M. Farzanian. 2012. The effects of seed priming with ascorbic acid on drought tolerance and some morphological and physiological characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Ann. Biol. Res.*, 3: 3984-3989.
- [39] Razmjoo, K., P. Heydarizadeh and M. R. Sabzalian. 2008. Effect of salinity and drought stresses on growth parameters and essential oil content of *Matricaria chamomile*. *Int. J. Agric. Biol.*, 10: 451–454.

- [40] Sadak, M. S., M. T. Abdelhamid and A. M. El-Saady. 2010. Physiological responses of faba bean plant to ascorbic acid grown under salinity stress. *Egypt. J. Agron.*, 32: 89- 106.
- [41] Sarwar M. Effects of potassium fertilization on population buildup of rice stem borers (lepidopteron pests) and rice (*Oryza sativa* L.) yield. *J. Cereals Oilseeds*. 2012; 3: 6–9.
- [42] Steele, R.G.D., J.H. Torrie and D.A. Dickey. 1997. *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach*. McGraw-Hill, New York, USA.
- [43] Taiz, L. and E. Zeiger. 2006. *Plant physiology*, 4th edition, Sinauer Associates Inc. Publishers, Sunderland, Massachusetts, USA.
- [44] Tuna, A. L., C. Kaya, H. Altunlu and M. Ashraf. 2013. Mitigation effects of non-enzymatic antioxidants in maize (*Zea mays* L.) plants under salinity stress. *Austr. J. Crop Sci.*, 7: 1181-1188.
- [45] Weraduwege, S.M., J. Chen, F. C. Anozie, A. Morales, S. E. Weise and T. D. Sharkey. 2015. The relationship between leaf area growth and biomass accumulation in *Arabidopsis thaliana*. *Front. Plant Sci.* <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00167>.
- [46] Westgate, M. E. and J. S. Boyer. 1985. Osmotic adjustment and the inhibition of leaf, root, stem, and silk growth at low water potentials in maize. *Planta*, 164: 540-549.
- [47] White, P. J., and Karley, A. J. (2010). *Potassium Cell Biology of Metals and Nutrients*. Berlin: Springer, 199–224.
- [48] White.P.J.,M.R Broadley. 2003.Calcium in plants., *Ann. Bot.* 92: 487-511.
- [49] Xiong, L. and J. K. Zhu. 2002. Molecular and genetic aspects of plant responses to osmotic stress. *Plant Cell Environ.*, 25: 131-139.
- [50] Zeinali, E., A. Soltani and S. Galeshi. 2002. Response of germination components to salinity stress in oil seed rape (*Brassica napus* L.). *Iranian J. Agric. Sci.*, 33: 137-145.

Facteurs favorisant les grossesses précoces chez les adolescentes du quartier Leproserie, Aire de santé Mopela, Zone de santé rurale de Bwamanda, Province du Sud Ubangi, RDC

[Factors favoring early pregnancies among adolescents in the Leproserie neighborhood, Mopela Health Area, Bwamanda Rural Health Zone, South Ubangi Province, DRC]

***Makongo Malaka Frederick, Mambesa Bainamboka Martin, Mangi Bende Maurice, Mombela Ibele Désiré, Webina Sana
Clarice, and BOKANGO BAPOTI Thomas***

ISTM Gemena, Province de Sud Ubangi, RD Congo

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

ABSTRACT: Early pregnancy in school settings remains a major public health and social concern in the Democratic Republic of Congo, particularly in rural areas affected by socioeconomic challenges. Although pregnancy is not a disease, its occurrence among adolescents is often unintended and has serious consequences for health, education, and social integration. This study aimed to identify factors associated with early pregnancy among adolescents in the Léproserie neighborhood, located in the Mopela health area within the rural health zone of Bwamanda (South Ubangi). A cross-sectional study was conducted between July and September 2023 using field surveys and interpersonal interviews. A non-probability sampling method included 59 participants (43 girls and 16 boys) who had experienced pregnancy or fatherhood before the age of 18. The results indicate that most adolescents initiated sexual activity between the ages of 13 and 15, while regular condom use was low. The main reasons for non-use included perceived loss of sexual pleasure, partner refusal, and cultural or religious constraints. The findings highlight the combined influence of socio-cultural, economic, and educational factors, compounded by limited access to sexual and reproductive health information. The study underscores the need to strengthen comprehensive sexuality education, encourage parental involvement, and improve access to reproductive health services to reduce early pregnancies among school-aged adolescents.

KEYWORDS: early pregnancy, adolescents, sexual behavior, condom use, reproductive health.

RESUME: La grossesse précoce en milieu scolaire constitue un problème majeur de santé publique et de société en République Démocratique du Congo, en particulier dans les zones rurales confrontées à de fortes difficultés socio-économiques. Bien que la grossesse ne soit pas une maladie, sa survenue chez les adolescentes est généralement non désirée et entraîne des conséquences négatives sur la santé, la scolarité et l'intégration sociale des jeunes filles, ainsi que sur leurs familles et la communauté.

Cette étude vise à identifier les facteurs favorisant les grossesses précoces chez les adolescentes du quartier Léproserie, situé dans l'aire de santé Mopela, zone de santé rurale de Bwamanda (Sud-Ubangi). Il s'agit d'une étude transversale réalisée de juillet à septembre 2023, reposant sur une enquête de terrain et des entretiens interpersonnels. Un échantillonnage non probabiliste a permis d'inclure 59 participants, dont 43 filles et 16 garçons ayant connu une grossesse ou une paternité avant l'âge de 18 ans.

Les résultats montrent que la majorité des enquêtés ont eu leur premier rapport sexuel entre 13 et 15 ans et que l'utilisation régulière du préservatif reste faible. Les principales raisons de non-utilisation sont la perte de plaisir sexuel, le refus du partenaire et les interdits socio-culturels. L'étude met en évidence l'influence combinée de facteurs socio-culturels,

économiques et éducatifs, soulignant la nécessité de renforcer l'éducation sexuelle, l'implication familiale et l'accès aux services de santé reproductive.

MOTS-CLEFS: grossesse précoce, adolescents, sexualité, préservatif, santé reproductive.

1 INTRODUCTION

La grossesse n'est pas une maladie mais l'état d'une femme qui porte un fœtus. Elle est une résultante d'un rapport sexuel non protégé dans une période favorable ou par mauvaise utilisation des méthodes contraceptives.

La survenue d'une grossesse est normalement un événement heureux par celle qui la porte car elle fait d'elle une future mère et à son hauteur un futur père. Mais, le phénomène de la grossesse en milieu scolaire tout particulier est souvent non désiré et a des conséquences néfastes sur la vie de la porteuse, de l'auteur, des parents et de tout le système éducatif ainsi que de toute la société car généralement, elle survient au moment où personne n'y pensait.

En cette période de crise socio-économique, malgré tous les efforts pour la recherche de la paix et de la justice sociale, les pratiques sexuelles sont monnaie-courante surtout en milieu scolaire et de manière particulière chez les élèves filles. Celles-ci (les pratiques sexuelles) sont à la base de la maternité précoce et de la transmission des IST voire du VIH/SIDA.

Par ailleurs, ce bouleversement socio-économique très préoccupant qui se traduit par le délabrement des infrastructures en général, la suppression des emplois et la pauvreté influent sur le sort des jeunes adolescentes qui se voient aujourd'hui abandonnées à elles-mêmes et qui sont victimes des comportements incontrôlés tels: le vagabondage, débauche et mendicité comme l'a fait remarquer MOSOLO NYABASENDO (2005), cette situation entraîne avec elle la vie des adolescentes mais aussi de la communauté dans son ensemble.

Ces détériorations : sociale, politique et socio-économique ne sont pas sans conséquences pour la santé en générale et celle des jeunes et adolescents en particulier.

La question des grossesses précoces en milieu scolaire reste à ces jours un sujet préoccupant.

Chaque année, on compte des milliers d'accouchements des jeunes adolescentes âgées de 14 à 17 ans. L'OMS estime que plus de 25 millions de celles-ci tombent enceintes et près de 16 millions accouchent chaque année (OMS, 2021).

La majorité des jeunes scolarisés n'a pas recours aux préservatifs de façon systématique malgré le fait qu'ils soient plus aptes, à assimiler les messages de sensibilisation dont ils ont été la cible. Cette situation particulière de la jeunesse RD Congolaise semble ne pas être la même sous d'autres cieux.

Au Cameroun par exemple, l'étude de Ngamini Ngui, Rwenge (2010) et Akoto et al. (2005) a analysé les comportements des jeunes en matière de l'utilisation du préservatif en Afrique. Ces études ont abouti aux résultats divergents.

Elles ont démontré que les adolescents du milieu rural utilisent très peu le condom par rapport à ceux du milieu urbain. Suite à leur ouverture aux valeurs modernes, les adolescents et les jeunes citadins entrent plus précocement dans l'activité sexuelle que leurs confrères du milieu rural. Aussi, le réseau des relations amicales est plus étendu en milieu urbain qu'en milieu rural. Ce qui élargit les possibilités de rencontres et la coexistence des échanges entre différents groupes sociaux aux origines et aux habitudes plus ou moins permissives.

En République démocratique du Congo, les promoteurs de l'usage du préservatif et en particulier le corps médical n'ont pourtant pas cessé, à travers de nombreuses campagnes de sensibilisation et d'information par les médias, d'inciter toutes les couches sociales et principalement les couches sociales sexuellement très actives constituées par les jeunes à accepter et pratiquer le port du préservatif pendant l'acte sexuel.

En effet, l'usage de cette méthode de sécurisation des rapports sexuels n'a pas encore été intégré dans les pratiques sexuelles de bien des jeunes adolescents (Martens et al, 2006).

Le nombre toujours croissant des grossesses enregistrées chaque année au sein des lycées et collèges des différentes provinces et singulièrement dans la Zone de santé de Bwamanda, les cas des IST admis et soignés dans les différentes structures de cette Zone de santé est une parfaite illustration de ce constat.

Au niveau local, sur la période de Janvier à Juin 2021, les Services de santé (Aire de Santé de Mopela) avait enregistré plus de 86 grossesses et 341 cas d'infections sexuellement transmissibles dans l'ensemble de la population de cet espace

géographique mais avec un plus grand nombre chez les adolescentes. Les grossesses enregistrées chez les jeunes adolescentes représentant à elles seules plus de 19% de l'ensemble des filles scolarisées dans cette partie de la RDC.

Ces statistiques qui illustrent bien la non-utilisation des préservatifs chez une proportion importante de la jeunesse, soulèvent des multiples interrogations que cette étude s'efforce de vérifier.

Dans une étude réalisée auprès de 59 jeunes adolescents (filles et garçons), du quartier Léproserie, un des quartiers à démographie très dense de l'aire de santé Mopela et de la ZSR de Bwamanda, il a été trouvé que les principaux facteurs qui entraînent la survenue des grossesses précoces chez les adolescentes sont essentiellement les facteurs économiques, politiques, psychologiques et même éducationnels comme déclaré aussi par Herren Rohl cité par Faucher-S Dappe (2020). L'inceste scolaire est un exemple le plus illustratif.

Dans le contexte de Bwamanda, l'étude a permis de découvrir une série des facteurs qui seraient associés à ce phénomène. On y a retenu entre autre: facteurs socio-environnementaux, facteurs socio-culturels, acculturation, la mode et les mauvaises compagnies.

Il convient aussi de noter que la mondialisation, l'expansion technologique, les réseaux sociaux, l'utilisation de téléphone, vagabondage sexuel, la prostitution, la cupidité et les influences de tous ordres (économiques, sociales, culturelles, religieuses...) sont autant des facteurs à prendre en compte dans le développement de ce phénomène au sein de l'aire de santé Mopela en particulier, la zone de santé de Bwamanda et toute la DPS du Sud Ubangi en général.

2 CADRE MÉTHODOLOGIQUE DE L'ETUDE

2.1 MILIEU D'ETUDE

La présente étude a été réalisée dans le quartier Leproserie, l'un des 6 quartiers que compte la cité de Bwamanda, se trouvant au sein de l'aire de santé Mopela, dans la zone de santé rurale de Bwamanda.

Il sied de noter que Bwamanda comme cité se trouve dans le groupement qui porte le même nom, dans le secteur de Mbari, territoire de Gemena.

Le village est situé à 75km du chef-lieu de la province du Sud-Ubangi. On y trouve un Hôpital Général de Référence (HGR) ainsi que le bureau central de Zone de santé. Il faut dire que les limites de Bwamanda comme zone de santé dépasse de loin celles du groupement et s'étendent sur une superficie de plus de 126 km². Elle est l'une de 16 zones de santé que compte la Division Provinciale de la Santé (DPS) du Sud-Ubangi.

L'agriculture occupe une place importante dans l'économie de cette population accompagnée de l'élevage de petit bétail, de volaille, la pêche artisanale et le petit commerce...

2.2 METHODOLOGIE

Envue de la réalisation de cette étude, l'enquête a été empruntée comme méthode. Il était question, en fait, de descendre sur terrain, de rencontrer les sujets individuellement et de collecter les données utiles à l'analyse en vue de ressortir les éléments nécessaires à l'étude.

Dans l'impossibilité de travailler de façon isolée, il a été associé à cette méthode, les entretiens interpersonnels à travers des interviews isolées.

Cette étude transversale a couvert une période de 3 mois soit du mois de juillet au mois de septembre 2023. Cette période a été choisie compte tenu de boom démographique constaté dans le milieu notamment pour des raisons de scolarité.

2.3 ECHANTILLONNAGE

Compte tenu de la sensibilité et du caractère intime de cette étude, touchant particulièrement à la personnalité et à la dignité des personnes ciblées, un échantillonnage non probabiliste a permis de créer un réseau des participants à l'étude sur base de leurs antécédents communs notamment le fait d'avoir été enceinte ou d'avoir eu un enfant avant l'âge de 18 ans, indicateur d'avoir eu des rapports sexuels précocement.

2.4 CRITÈRES D'INCLUSION ET D'EXCLUSION

En vue de participer à cette étude, le sujet doit:

- Être une femme en âge de procréer;
- Avoir été enceinte dans la tranche d'âge de 14 -18 ans;
- Reconnaître avoir engrossé une fille dans la tranche d'âge de 14 – 18 ans (pour les garçons);
- Être habitant de l'aire de santé mopela;
- Être présent au moment de l'enquête;
- Accepté volontairement de participer à l'étude;

Tout sujet ne remplissant pas les critères d'inclusion sus-évoqués est automatiquement exclu de cette étude.

2.5 TAILLE DE L'ÉCHANTILLON

A l'issue du processus d'échantillonnage, la taille définitive de l'échantillon s'élève à 59 sujets composés de 43 filles et 16 garçons. Cette taille a été déterminée par la redondance ou la saturation des données obtenues auprès des enquêtés.

2.6 INSTRUMENT DE COLLECTE DES DONNÉES

La collecte des données de cette étude a été rendue possible grâce à un guide d'entretien initié pour la cause accompagné de prise de notes à l'issue des causeries interpersonnelles avec les enquêtés.

2.7 VALIDITE, FIDELITE, FIABILITE DE L'INSTRUMENT DE COLLECTE DES DONNEES

L'efficacité d'un instrument de recherche dépend en grande partie de sa validité et de sa fidélité.

A) LA VALIDITÉ

Pour assurer sa validité, l'outil de collecte des données de cette étude a été soumis à l'appréciation des experts pour son approbation. Le premier brouillon a été amendé avant son adoption sur base de la pertinence des observations qui ont été faites dans ce formulaire.

B) FIDÉLITÉ

Définit comme étant sa capacité de donner la même mesure à chaque application c'est-à-dire quand il prétend mesurer de façon stable et constante l'élément ou l'objet qu'il mesure. Après la pré-enquête réalisée à Gemena sur un échantillon de 10 sujets, les résultats obtenus ont permis de s'assurer des résultats effectifs de l'étude à l'issue de l'enquête proprement dite.

2.8 CONSIDÉRATIONS D'ORDRE ÉTHIQUE

En vue de garantir et de respecter les normes de confidentialité des informations personnelles livrées dans le cadre de cette recherche, les entretiens ont été tenus au secret et l'anonymat requis dans le remplissage du guide d'entretien ont été scrupuleusement respectés.

2.9 DIFFICULTÉS ET LIMITES DE L'ÉTUDE

2.9.1 DIFFICULTÉS RENCONTRÉES

La réalisation de la présente étude a été confrontée à des difficultés de plusieurs ordres dont voici quelques-unes:

- Un sujet sensible dans la fourniture des informations y relatives d'où le désintéressement de beaucoup des chercheurs qui s'investissent moins;
- Multiples tournures et explications aux sujets pour trouver le bien-fondé de cette recherche et ainsi accepter d'y participer;
- Difficultés financières, transport et les ennuis de santé;
- Plusieurs problèmes d'ordre logistique (électricité, internet, transport, coût des appels,...);

- Demande de gain financier pour certains sujets comme gratification de leur participation à l'étude;
- Crainte des certains sujets dans l'idée selon laquelle leur réponse peut porter préjudice à leur vie;

2.9.2 LIMITES DE L'ÉTUDE

Les résultats de cette étude sont valables et généralisables sur les autres milieux à conditions que les caractéristiques sociologiques, physiques, humaines et comportementales du lieu où ces données peuvent être transposées soient les mêmes que celles du Quartier Léproserie, dans l'aire de santé Mopela, Zone de santé rurale de Bwamanda.

Par ailleurs, le seuil d'acceptabilité des données a été fixé à 80%.

3 PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

3.1 PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Tableau 1. Répartition des enquêtés selon les tranches d'âge

Tranches d'âge (en année)	Effectif	%
13 – 15	37	63
16 – 18	22	37
Total	59	100

Il convient de signaler à la lecture de ce tableau que la majorité d'enquêtés 37 soit 63 % ont la tranche d'âge de 13 à 15 ans, alors que ceux qui ont la tranche d'âge de 16 à 18 ans sont de l'ordre de 22 soit 37 %.

Tableau 2. Répartition des enquêtés selon le sexe

Sexe	Effectif	%
Féminin	43	73
Masculin	16	27
Total	59	100

Le sexe féminin est plus représenté dans cette étude que le sexe masculin avec 43 sujets soit 73% contre 16 sujets pour le sexe masculin soit 27%.

Tableau 3. Répartition des enquêtés selon le niveau d'instruction

Niveau d'instruction	Effectif	%
Primaire	8	13,6
Secondaire	51	86,4
Total	59	100

La lecture de ce tableau nous montre que 51 soit 86,4 % sont du niveau secondaire, contre 08 soit 13,6 % du niveau primaire.

Tableau 4. Répartition des enquêtés selon l'occupation professionnelles des tuteurs

Occupation des tuteurs	Effectif	%
Cultivateur	28	47,5
Pêcheur	17	28,8
Fonctionnaire de l'Etat	11	18,6
Autres	03	5,1
Total	59	100

L'occupation professionnelle la plus représentée selon les résultats de ce tableau reste l'agriculture artisanale avec 47,5% des participants (28 enquêtés) alors que les autres occupations notamment le petit commerce, les enseignants et autres sont de l'ordre de 03 enquêtés soit seulement 5,1%.

Tableau 5. Répartition des enquêtés selon l'âge de premier rapport sexuel

Age du premier rapport sexuel	Effectif	%
13 à 15 ans	51	86,4
16 à 18 ans	8	13,6
Total	59	100

Ce tableau montre à suffisance que l'âge du premier rapport sexuel chez les adolescents du quartier Léproserie de la cité de Bwamanda se situe entre 13 à 15 ans. Ceci avec 51 sujets répondants soit 86,4% contre seulement 08 sujets ayant connu leurs premiers rapports sexuels à l'âge de 16 à 18 ans (13,6%).

Tableau 6. Répartition des enquêtés selon l'âge moyen de la première grossesse

Age moyen de la première grossesse	Effectif	%
13 à 15 ans	19	44,2
16 à 18 ans	24	55,8
Total	43	100

Il ressort de ce tableau que l'âge moyen de la première grossesse chez les 43 filles enquêtées reste de 16 à 18 ans avec 55,8%. Celles ayant contractées une grossesse dans la tranche de 13 à 15 ans sont 44,2%.

Tableau 7. Répartition des enquêtés selon qu'ils utilisent régulièrement les préservatifs lors des différents rapports sexuels

Utilisation régulière ou non des préservatifs	Effectif	%
Oui	13	22,0
Non	46	78,0
Total	59	100

Au regard de ce tableau, il sied de rappeler que, 43 soit 78,0 % ont admis ne pas utiliser régulièrement le préservatif lors des différents rapports, contre 13 soit 22,0% qui utilisent régulièrement les préservatifs.

Tableau 8. Répartition des enquêtés selon les raisons de non utilisation de préservatif

Raisons de non utilisation des préservatifs	Effectif	%
Perte de plaisir sexuel	23	50,0
Moyen financier limité	05	10,8
Interdit par notre culture/Religion	06	13,1
Refus du partenaire	12	26,1
Total	46	100

Au vu de ce tableau, il sied de constater que, 23 soit 50% d'enquêtés déclarent ne pas utiliser régulièrement le préservatif à cause de la perte de plaisir sexuel pendant le rapport, alors que le moyen financier limité n'est cité que par 05 participants soit 10,8 % seulement.

4 DISCUSSION

La présente étude s'est assigné l'objectif d'identifier les facteurs favorisant les grossesses précoces dans le contexte du quartier Léproserie dans l'aire de santé Mopela, Zone de santé rurale de Bwamanda.

Les grossesses précoces sont devenues un phénomène dans cette cité rurale située à plus ou moins 75 km de la ville de Gemena, chef-lieu de la Province du Sud Ubangi. Il a été certes, découvert à travers cette étude, un nombre important des facteurs que nous avons regroupés en :

FACTEURS SOCIO-CULTURELS:

Loin de les citer tous, il s'avère que le goût de la découverte de l'acte sexuel et la peur de perdre le plaisir sexuel (50,0%) et le refus de l'abstinence sexuelle sont les moteurs des grossesses chez les adolescentes de cet espace géographique. A défaut de l'abstinence sexuelle, les préservatifs et les autres méthodes contraceptives sont des alternatives valables pour lutter contre les grossesses précoces au sein de cette couche de la population. Pourtant, beaucoup se livrent à cœur joie à l'acte sexuel sans aucune précaution, sans s'imaginer les risques que cela comporte à court, à moyen et même à long terme.

Force est de constater que beaucoup d'autres facteurs viennent à leur tour faire obstacles à l'utilisation desdites méthodes qui pourtant ont démontré tout leur apport dans la prévention des grossesses et de la maternité précoces chez les adolescentes.

Parmi ceux-ci, il a été découvert, entre autres : l'inaccessibilité aux préservatifs à cause notamment des moyens limités (10,8%), les interdictions culturelles (coutume, religion...) avec 13,1% mais aussi le refus du partenaire sexuel surtout masculin à recourir ou à utiliser un moyen contraceptif pendant le rapport sexuel avec 26,1%. Il faut noter que tous ces facteurs réunis, loin d'être exhaustifs, occasionnent les grossesses précoces chez les adolescentes qui parfois, ne prennent pas la mesure des risques qu'elles encourent.

Pembe Niclette, dans une étude réalisée en 2018 à l'Institut Kimia II de Gemena, sur le refus de l'utilisation des préservatifs par les filles scolarisées de cet établissement scolaire, avait abouti aux résultats presque similaires. Pour elle, les jeunes scolarisés, lorsqu'ils se livrent aux relations sexuelles, c'est premièrement, pour satisfaire à leur désir sexuel, sans prendre des précautions en rapport avec les risques encourus.

Par malheur, la sexualité dans le milieu de Bwamanda étiquetée « tabou » par la majorité des familles, empêche ces adolescentes d'accéder librement à l'information sur une sexualité responsable et de recourir aux mesures préventives y relatives. Ceci renforce la dimension socio-culturelle dans la progression de ce phénomène au sein de cette société.

Pourtant, un rapport sexuel non responsable sans utilisation des préservatifs expose à plus d'un risque. Les infections sexuellement transmissibles (IST) en premier mais aussi les grossesses non désirées, lesquelles, pour les adolescents, la conséquence visible est avant tout, l'abandon des études, la fuite du partenaire qui ne pouvait s'attendre à une telle éventualité, les familles monoparentales...

Par ailleurs, certaines habitudes parfois, anodines du milieu influent sur le phénomène sexualité précoce et par ricochet, aux grossesses précoces. On y trouve par exemple, le fait que la plupart des adolescents (filles et garçons) se lavent par plongeon dans les rivières aux alentours de la cité sans contrôle parental. Ces pratiques intentent à la pudeur, exposent les organes et incitent les adolescents à la pratique sexuelle.

Comparés aux résultats obtenus par Yélian (2021) au Burkinafaso sur l'utilisation des préservatifs, il apparaît évident que les adolescents interrogés avaient une bonne connaissance des préservatifs, et une perception globalement favorable vis-à-vis de sa fiabilité. Cela pourrait s'expliquer par le fait que ces jeunes ont vu ou entendu parler du préservatif lors de campagnes de sensibilisation sur la prévention du VIH, à travers les médias et/ou les outils de la communication tels que internet, les réseaux sociaux ou des amis mais aussi, à travers le cours de l'éducation à la vie au niveau de l'école. Reste que ces connaissances parfois mal appréhendées soient associées à un accompagnement familial pour produire des résultats escomptés.

En Côte d'Ivoire, Zoungana et al. (1999), dans leur étude sur l'influence des médias dans la sexualité chez les adolescentes ont abouti à la conclusion selon laquelle l'exposition aux médias influence positivement le comportement sexuel à risque des adolescents. Selon cette étude, les médias influencent à la fois les connaissances des jeunes dans le domaine de la sexualité et leur engagement dans l'activité sexuelle.

Pour Beninguissé (2007), dans les pays où les mœurs sexuelles varient selon l'ethnie, celles-ci influencent les comportements sexuels des adolescents.

En effet, dans les sociétés à mœurs sexuelles permissives, on accorde une faible importance à la virginité. Ainsi la sexualité et la fécondité prémaritales y sont plus fréquentes que dans les sociétés où les mœurs sexuelles sont rigides. Pour le contexte de Bwamanda, il se trouve que certaines pratiques purement traditionnelles et enracinées dans la culture des habitants de cette

citée entraînent derrière elles des conséquences négatives sur la survenue des grossesses précoces chez les adolescentes. Dans l'ordre de ces pratiques se trouvent :

LES FESTIVITÉS ORGANISÉES À LA SUITE D'UN ACCOUCHEMENT

A Bwamanda, quand une fille accouche, surtout pour la première fois, les membres de la famille organisent une grande cérémonie en faveur de la jeune-mère agrémentée par des danses, l'élégance dans l'habillement, les cadeaux de tous ordres par le mari, les membres de sa famille et les connaissances... cette cérémonie riche en couleur communément appelée Walé attire souvent les jeunes et est un incitateur psychologique de ces derniers à l'acte sexuel précoce dans le but de bénéficier des mêmes avantages.

Cette divergence des conclusions appelle à plus d'études pour bien cerner la problématique des comportements des jeunes en matière de la sexualité, de la survenue la sexualité précoce, du refus de l'utilisation des préservatifs et d'autres méthodes contraceptives, des grossesses précoces et des mariages précoces.

Ces questions intéressent à priori la santé sexuelle et reproductive et ne sont pas sans conséquences sur la progéniture et l'avenir de la société.

Il sied, à l'issue de cette étude d'ouvrir quelques pistes de réflexion :

AUX GOUVERNANTS À TRAVERS LE MINISTRE DE LA SANTE PUBLIQUE, EPS-INC:

- De prendre les mesures spécifiques de la sensibilisation des familles à s'appliquer dans les échanges pour l'éducation sexuelle avec leurs enfants ;
- De prendre des mesures spécifiques qui peuvent favoriser la scolarisation de filles et de filles mères ;
- Mettre à la disposition des enseignants de manuels relatifs à la santé de la reproduction en vue de renforcer l'éducation à la vie en faveur des adolescents ;
- Développer le partenariat école-professionnels de santé dans chaque établissement scolaire en vue de l'accompagnement, non seulement des adolescents mais aussi des enseignants sur certaines thématiques qui nécessiteraient des explications un peu plus approfondies en matière de la santé sexuelle et reproductive ;
- Multiplier les stratégies de sensibilisation des adolescents en vue de les amener non seulement à la connaissance des conséquences de la sexualité précoce mais accroître également l'utilisation des MCM en vue de prévenir les IST et grossesses non désirées.

AUX ADOLESCENTES:

- Eviter les mauvaises compagnies souvent à l'origine des influences négatives ;
- S'abstenir de la sexualité jusqu'à l'âge adulte ;
- Utiliser dans la mesure du possible, les préservatifs ou les autres méthodes contraceptives modernes en vue d'éviter les grossesses précoces ;
- Faire un recours prudent à la culture pour savoir apprendre à faire ce qui est bon et avantageux pour la santé et le bien-être social et éviter les pratiques culturelles néfastes.

REFERENCES

- [1] Alain BITTON (2001), La cystite chez la femme: un fléau toujours d'actualité, édition Harmattan, Paris, France.
- [2] Anne Gallay (2005), Epidémiologie des infections sexuellement transmissible (hors VIH) en France, Institut de Veille Sanitaire, Paris, France.
- [3] Anonyme: Dictionnaire Universel édition Hachette 2010.
- [4] Ariane, A. (2019), Problématique de la planification familiale sur le développement socio-économique de la population de Bukavu, RDC.
- [5] Berg AO, Heidrich FE, Fihn SD, Bergman JJ, Wood RW, Stamm WE, Holmes KK. (1994), Les causes et symptômes des infections génito-urinaires chez les femmes en âge de procurer, JAMA.
- [6] Bernard Roy (2022), Embryologie, Paris, France.

- [7] CISSE Cheikh (2002), Déterminants de la prévalence l'infection chlamydia trachomatis et Neisseria gonorrhoeae en Zone rurale par les techniques amplicor., Université Cheikh Dioup, Senegal.
- [8] Cisse, A. (1993), Connaissances et comportement sexuel des jeunes de 15-29 ans sur les MST – SIDA à Bamako, Mali.
- [9] D'Hald Roy, Charest et Vicat (2020), Conséquence de la sexualité précoce chez les jeunes. Université de Lubumbashi, RDC.
- [10] Enquête démographique et de santé, EDS, 2013-2014.
- [11] Faye S., (2013), Déterminants socio-culturels de l'accès et l'utilisation des services de santé maternelle et néonatale dans la région du Gorgol, Nouakchott, Mauritanie.
- [12] Halden, Kavio, Rahul et Tell man (2020), Santé de la reproduction, France.
- [13] Journal UNFPA (2000), éducation aux adolescents, Canada.
- [14] Loceni Banhero (2012); Niveau des connaissances, attitudes et pratiques de la contraception en milieu étudiant des universités publiques de la ville d'Ouagadougou (Burkina faso). Mémoire. Université Internationale d'Andalousie, Université Cheik Anta Diop de Dakar. Google scholar.
- [15] OMS (Bureau régional de l'Afrique), O. p. (2013). Accélérer l'accès universel à la sante sexuelle et reproductive, programme d'action pour la région africaine. Brazzaville, République du Congo.
- [16] OMS, (2014), Programme d'Orientation sur la santé des Adolescents destiné aux prestataires de santé. Département de la santé et du développement de l'Enfant et de l'Adolescent. Google scholar.
- [17] Organisation des Nations Unies (2015), Rapport sur les objectifs du millénaire pour le développement, New York, USA.
- [18] Organisation des Nations Unies. (2011). OMD: Rapport sur le statut des adolescents et des jeunes en Afrique subsaharienne possibilité et enjeux, UNFPA et PRB publication.
- [19] Pr. R. Courcol (2001), Infections génitales, maladies sexuellement transmissibles, infections néo-natales.
- [20] Programme national de la santé de reproduction, Coordination du Sud-Ubangi (2020), Rapport annuel.
- [21] UNFPA, (2004). Etat de la population. Le consensus du Caire 10 ans après: la population, la santé en matière de reproduction et l'effort mondial pour éliminer la pauvreté.

Caractéristiques pondérales, morphologiques et démographiques des chèvres Djallonké: Atouts pour les programmes d'élevage communautaire à l'Ouest du Burkina Faso

[Weight, morphological, and demographic characteristics of Djallonké goats: Assets for community breeding programs in Western Burkina Faso]

Zongo Pierre¹, Ouédraogo Dominique², Yougbaré Bernadette³, Ouédraogo-Koné Salifou¹, Ouermi Souleymanne⁴, and Soudré Albert⁴

¹Institut du Développement Rural, Université Nazi BONI, BP 1091 Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

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

³Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), 04 BP 8645 Ouagadougou 04, Burkina Faso

⁴Unité de Formation et de Recherches Sciences et Technologie, Université Norbert ZONGO, BP 376 Koudougou, Burkina Faso

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

ABSTRACT: This study aimed to understand the demographic structure of herds and the real-world performance of Djallonké goats, including body weight and three morphological traits, in western Burkina Faso. The data was collected from December 2023 to September 2024 in Poni province. A total of 1016 Djallonké goats were used in this study, divided into six age classes according to dentition. Data on body weight, withers height, body length, and thoracic circumference were collected. The herd structure was evaluated by calculating the proportions of different age groups. The results showed a decrease in the proportion of males from the class DL1 to the class 3PPI. A total absence (0%) of adult males in the 4PPI class was observed in the study area. The mean live weights were 4.29 ± 1.74 , 6.41 ± 1.78 , 8.99 ± 2.47 , 12.59 ± 3.22 , 15.04 ± 4.05 and 15.88 ± 3.72 kg for the DL1, DL2, 1PPI, 2PPI, 3PPI and 4PPI age classes, respectively. The demographic structure of the Djallonké goat population, characterized by high proportions of young males and variability in morphological traits, represents an asset for the improvement of community livestock.

KEYWORDS: Live weight, Morphology, Djallonké goat, CBBP.

RESUME: L'objectif de l'étude était de comprendre la structure démographique des troupeaux et les performances en milieu réel des caprins Djallonké, notamment le poids vif et trois traits morphologiques à l'Ouest du Burkina Faso. Les données ont été collectées de décembre 2023 à septembre 2024 dans la province du Poni. Un total de 1016 caprins Djallonké, répartis en six classes d'âge selon la dentition, a été utilisé dans l'étude. Les données de poids vif, de hauteur au garrot, de longueur du corps et du périmètre thoracique ont été collectées. La structure des troupeaux a été évaluée à travers le calcul des proportions pour les différentes classes d'âges. Les résultats ont montré une diminution de la proportion des mâles de la classe DL1 à la classe 3PPI. Une absence totale (0%) de mâles adultes de la classe 4PPI a été constatée dans la zone d'étude. Les poids vifs moyens ont été de $4,29 \pm 1,74$, $6,41 \pm 1,78$, $8,99 \pm 2,47$, $12,59 \pm 3,22$, $15,04 \pm 4,05$ et $15,88 \pm 3,72$ kg respectivement pour les classes d'âge DL1, DL2, 1PPI, 2PPI, 3PPI et 4PPI. La structure démographique de la population de chèvres Djallonké, caractérisée par des proportions élevées de jeunes mâles et la variabilité des traits morphologiques, représente un atout pour l'amélioration des élevages communautaires.

MOTS-CLEFS: Poids vifs, Morphologie, Chèvre Djallonké, CBBP.

1 INTRODUCTION

Le Burkina Faso est un pays d'Afrique Occidentale dont l'élevage des caprins constitue une activité largement pratiquée par les ménages ruraux [1,2]. Avec un cheptel numériquement important de plus de 10 millions de têtes, l'espèce caprine est élevée par 2/3 des ménages [3]. La population de caprin est principalement constituée des races Mossi, Sahélienne et Djallonké, cette dernière étant privilégiée dans les systèmes traditionnels et largement répandus dans la zone soudanienne du pays [2,4]. L'élevage de petits ruminants présente à la fois des défis et des opportunités importants au Burkina Faso. Ce sous-secteur est crucial pour les moyens de subsistance des populations rurales, mais il est confronté à de nombreuses contraintes qui entravent son potentiel. Parmi lesquels, les changements climatiques entraînant des baisses de précipitation et une hausse des températures, ce qui a un impact sur la disponibilité du pâturage naturel et la production animale [5]. Au côté de cette variabilité climatique, il y a les pathologies animales qui constituent également une menace majeure [1,6].

Bien que les défis soient nombreux, des opportunités existent et des interventions stratégiques, notamment en matière d'amélioration génétique, peuvent être mises en œuvre pour le développement du secteur. Parmi les opportunités, on note une demande croissante pour la viande de petits ruminants. Cette demande en produits d'origine animale devrait augmenter de manière exponentielle au cours des trois prochaines décennies dans le pays [7].

Pour faire face à ce déficit de production, un diagnostic du système de production des caprins est opportun. Il permettra de faire un examen approfondi des opportunités liées à l'élevage de petits ruminants en vue d'améliorer les performances de production et les moyens de subsistance des éleveurs.

A cet effet, plusieurs travaux de recherche ont été effectués sur la caractérisation moléculaire des caprins et ovins [8]. Il en est de même que la caractérisation morphologique des caprins au Burkina Faso [2,9,10]. Les résultats obtenus par ces travaux soulignent l'importance d'une approche adéquate pour garantir une amélioration génétique durable au sein du système d'élevage traditionnel.

Dans cette optique, les programmes d'améliorations génétiques à base communautaires communément appelés en anglais Community Based Breeding Program (CBBP) représentent une solution pertinente. Ils sont considérés comme des programmes adaptés aux systèmes d'élevage extensif [11,12]. Les CBBP ont été mis en œuvre dans plusieurs pays d'Afrique tels que l'Éthiopie, le Kenya et le Liberia avec des résultats satisfaisants [13–16]. Au Burkina Faso, il a d'abord été expérimenté sur l'espèce bovine depuis 2016 puis sur l'espèce caprine en 2021 dans la région du Sud-Ouest avec des résultats satisfaisants [17–19]. Cependant, l'amélioration génétique visée ne serait possible que si une caractérisation de la structure démographique du cheptel et des performances réelles des races locales sont faites.

La présente étude s'inscrit dans cette perspective, avec pour objectif de comprendre la structure démographique des troupeaux et les performances en milieu réel des caprins Djallonké, notamment le poids vif et trois traits morphologiques au Burkina Faso. De manière spécifique, il s'agit, d'une part, d'analyser la structure démographique des troupeaux de caprins Djallonké et d'autre part, de caractériser leurs poids vifs et les traits morphologiques des caprins Djallonké.

2 MATERIEL METHODES

2.1 SITES DE L'ÉTUDE

L'étude a été conduite dans les communes rurales de Loropéni et Bouroum-Bouroum, province du Poni, région du Sud-Ouest du Burkina Faso (figure 1). Cette partie du pays se trouve dans la zone sub-humide caractérisée par un climat Soudanien située entre 10° et 11°30' latitude nord. Dans cette contrée, la saison humide dure environ 6 mois (mai - octobre) avec des précipitations cumulées variant de 900 à 1200 mm. Cette région du pays est réputée pour être la zone de prédilection des races locale de chèvre Djallonké [20,21].

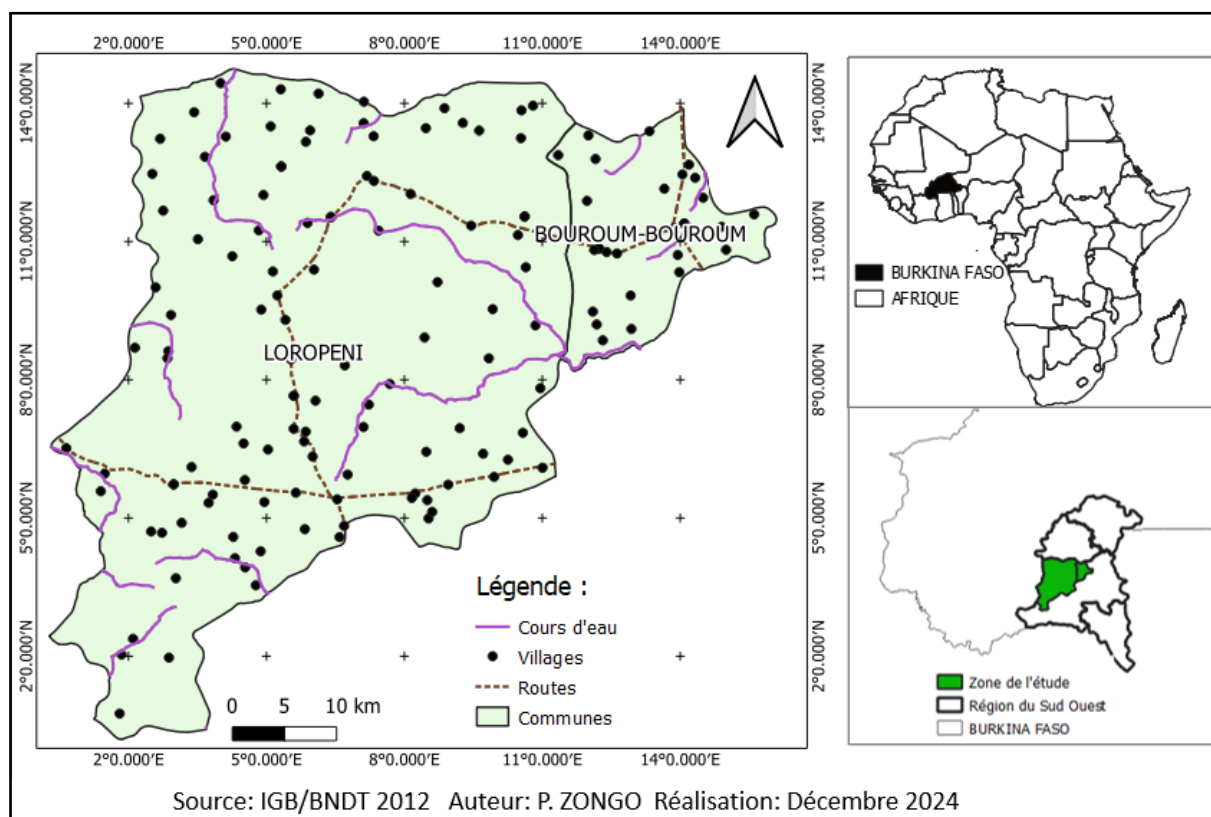


Fig. 1. Carte de la zone d'étude

2.2 DESCRIPTION DE LA POPULATION D'ÉTUDE

Au total, 1016 caprins Djallonké (Mâle et femelle) âgés d'un (01) mois à 48 mois ont été concernés par l'étude dans les deux communes, réparties selon le tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1. Répartition des animaux échantillonnés par zone et par catégories d'âge

Classe d'âge	Commune		Total
	Bouroum-Bouroum	Loropéni	
DL1	28	19	47
DL2	83	34	117
1PPI	171	128	299
2PPI	103	68	171
3PPI	106	70	176
4PPI	154	52	206
Total	645	371	1016

Légende: PPI = Paire (s) d'incisives permanentes; 1, 2, 3, 4 PPI = Classe d'âge définie par le nombre de paires d'incisives permanentes; DL1 = Jeunes caprins n'ayant que des dents de lait, âgés de moins de 6 mois; DL2 à Jeunes caprins n'ayant que des dents de lait, âgés de 6 à 12 mois.

2.3 COLLECTE DES DONNÉES

Les données ont été collectées de décembre 2023 à septembre 2024. Elles ont concerné le poids vif (PV) à âge type et trois (03) traits morphologiques que sont la longueur du corps (LC), du tour de poitrine (TC), de la hauteur au garrot (HG) des caprins Djallonké dans les deux communes. Ces caprins ont été échantillonnés pour constituer la population de base des programmes d'amélioration génétiques à base communautaire dans les deux zones. Pour ce faire, tous les animaux ont été identifiés par des boucles auriculaires comportant un numéro unique [16,22,23]. Toutes les mesures ont été effectuées à jeun tôt le matin, avant la sortie des chèvres pour le pâturage.

Un ruban zoo-métrique et une canne toise, tous calibrés en centimètre (cm), ont servi respectivement à la mesure de la longueur du corps (LC), du tour de poitrine (TP) et de la hauteur au garrot (HG). Pour ces diverses mesures et manipulations, les animaux ont été

immobilisés et maintenus en équilibre, à la verticale [24,25]. La détermination de l'âge a suivi la méthode d'estimation par la dentition chez les caprins et ovins [24,26–28]. Ainsi, les chèvres ont été regroupées en 06 classes d'âge décrites comme suit:

- Classes d'âge de 1PPI à 4PPI, caractérisées par le nombre de paires d'incisives permanentes ayant apparu, dont 1 paire pour 12 mois, 2 paires pour 24 mois, 3 paires pour 36 mois et 4 paires pour 48 mois;
- Classes d'âge DL1 et DL2, correspondant aux caprins ayant toujours leur dent de lait, dont DL1 désigne ceux ayant moins de 06 mois et DL2 pour ceux compris entre 06 et 12 mois.

Le poids vif a été mesuré à l'aide d'une balance électronique de portée de 200 kg (± 10 g) suspendue à un trépied. A l'aide de cordes, l'animal est suspendu au dispositif et la lecture du poids vif se faisait sur l'écran d'affichage de la balance une fois que celui-ci se stabilise.

2.4 ANALYSE DES DONNÉES

Les données ont été analysées avec le logiciel R version 4.1.0 [29]. Pour la structure des troupeaux, des proportions ont été calculées pour les différentes classes d'âges. Un test de Chi-2 d'indépendance a été utilisé afin d'évaluer la signification statistique des proportions des populations de caprins entre les communes. Pour les paramètres de production, les moyennes et les écarts types des variables PV, LC, TP et HG ont été calculés. Après un test de normalité au seuil de 5 % sur les variables (LC, TP, HG et PV), les moyennes de ces traits ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA). Un test de Tukey a ensuite été employé pour la comparaison multiple des moyennes en fonction du sexe, de la classe d'âge et de la commune, à un niveau de signification de 0.05. Les diagrammes en barre et box Plot ont été employés pour présenter les variations et la distribution du poids vif.

3 RESULTATS

3.1 CARACTERISTIQUES DEMOGRAPHIQUES DE LA POPULATION CAPRINE

Le tableau 2 ci-dessous présente la répartition de la population de chèvres Djallonké dans les communes de Bouroum-Bouroum et de Loropéni, en fonction de la classe d'âge et du sexe. La proportion des femelles a augmenté dans le même sens que l'âge. La proportion de femelles était de 2,4 % pour la classe d'âge DL1 et de 26,5 % pour la classe 4PPI à Bouroum-Bouroum. Celle des mâles évolue en sens inverse de l'âge, marquée par une diminution de leur proportion de la classe DL1 à la classe 4PPI dans les deux communes. Particulièrement, pour les classes d'âge adultes de 3PPI et 4PPI à Bouroum-Bouroum, et uniquement pour la 4PPI à Loropéni, une absence totale de mâles (0 %) a été constatée. Le test de Chi-2 d'indépendance a montré des différences significatives entre les pourcentages des classes d'âge des mâles et des femelles à Bouroum-Bouroum et à Loropéni.

Tableau 2. Proportion des classes d'âge des animaux dans les troupeaux échantillonnés dans les deux communes

Classe d'âge	Bouroum-Bouroum		Loropéni	
	Femelle (%)	Mâle (%)	Femelle (%)	Mâle (%)
DL1	2,4	21,9	3,8	13,5
DL2	9,8	40,6	6,6	25
1PPI	25,6	34,4	32,3	48,1
2PPI	17,4	3,1	19,7	9,6
3PPI	18,2	0,0	21,3	3,8
4PPI	26,5	0,0	16,3	0,0
P-value	0,000	0,000	0,000	0,000

Légende: PPI, paire d'incisives permanentes; DL1, dent de lait et moins de 06 mois d'âge; DL2, dent de lait entre 06 à 12 mois.

3.2 CARACTERISTIQUES PONDERALES DES ANIMAUX DANS LES TROUPEAUX

La figure 3 illustre les poids vif moyens des caprins Djallonké en fonction du sexe.

Les poids vif moyens des femelles ont été de 5,23, 6,46, 9,33, 12,73, 15,08 et 15,88 Kg respectivement pour les classes d'âge DL1, DL2, 1PPI, 2PPI, 3PPI et 4PPI. Chez les mâles, les poids moyens enregistrés ont été de 4,05, 6,33, 7,22, 11,05 Kg, respectivement pour les classes d'âge DL1, DL2, 1PPI, 2PPI et 3PPI.

L'analyse des variances a révélé une différence significative ($p < 0,05$) entre le poids des mâles et celui des femelles dans les classes 1PPI et 2PPI. En revanche, aucune différence significative ($p > 0,05$) n'a été observée entre le poids des mâles et des femelles dans les classes d'âge DL1, DL2 et 3PPI. La comparaison n'a pas été possible pour 4PPI.

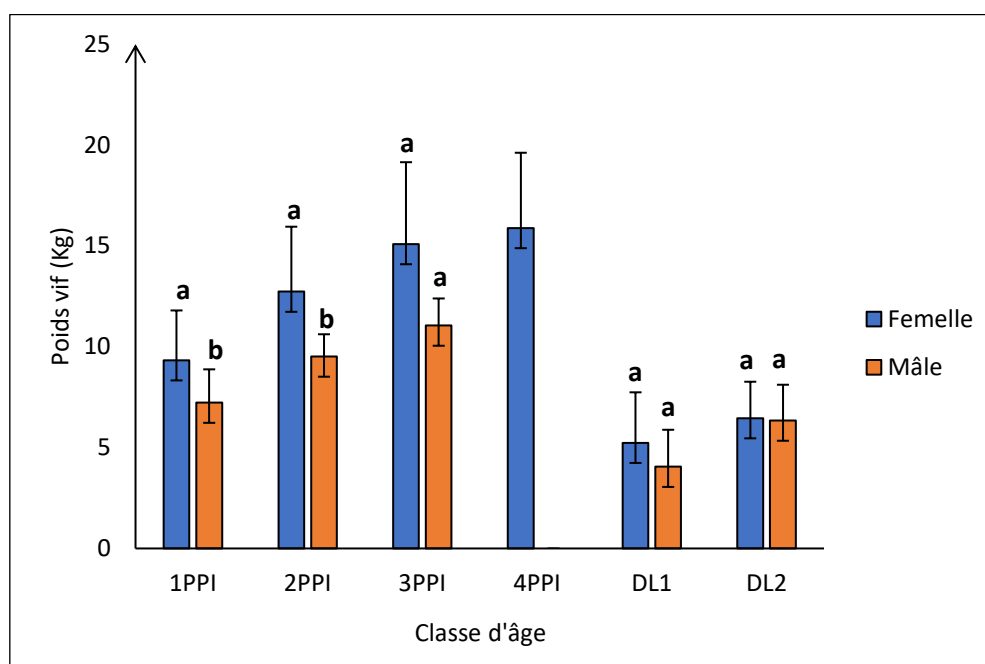


Fig. 2. Poids vifs moyens des animaux des selon le sexe

Légende: les classes d'âge avec des lettres différentes sont statistiquement différentes ($P < 0,05$); PPI, paire d'incisives permanentes; DL1, dent de lait et moins de 06 mois d'âge; DL2, dent de lait entre 06 à 12 mois.

3.3 POIDS VIF ET PARAMETRES MORPHOLOGIQUES PAR SEXE

Le tableau 3 ci-dessous présente la comparaison des moyennes et des écarts-types du poids, de la hauteur au garrot (HG), du tour de poitrine (TP) et de la longueur du corps (LC) entre les mâles et les femelles. Les résultats montrent des différences significatives du Poids vif, de la HG, de la LC et du TP entre mâles et femelles des classes d'âge 1PPI et 2PPI. Pour le poids vif des femelles adultes, 9,33±2,46 Kg, 12,73±3,21 Kg, 15,08±4,05 Kg et 15,89±3,72 Kg ont été enregistrés respectivement pour 1PPI, 2PPI, 3PPI et 4PPI. Cependant, pour les mâles, des poids vifs de 7,22±1,65 Kg, 9,51±1,10 Kg et 11,05±1,34 ont été enregistrés de 1PPI à 3PPI. Quant aux traits morphologiques, HG, TP et LC les mesures montrent une augmentation progressive avec l'âge pour les deux sexes, bien que les valeurs soient significativement plus élevées ($P < 0,05$) chez les femelles par rapport aux mâles dans les classes d'âge 1PPI, 2PPI et 3PPI. Aucune différence significative ($P > 0,05$) n'a été observée entre les deux sexes pour les classes d'âge DL1 et DL2.

Tableau 3. Comparaison des paramètres morphologiques des chèvres Djallonké en fonction du sexe

Classe d'âge	PV			HG			LC			TP		
	F	M	P _{adj}	F	M	P _{adj}	F	M	P _{adj}	F	M	P _{adj}
DL1	4,50±1,68 a	4,05±1,83 a	0,386	28,51±4,73 a	26,66±3,26 a	0,135	29,14±4,54	27,03±3,28	0,8715	39,42±6,80 a	35,59±6,32 a	0,0541
DL2	6,46±1,80 a	6,33±1,77 a	0,732	31,71±3,47 a	30,53±3,46 a	0,086	31,8±3,42	30,83±3,49	0,9046	43,47±4,51 a	42,76±4,25 a	0,419
1PPI	9,33±2,46 a	7,22±1,65 b	0,000	39,35±3,72 a	36,68±3,83 b	0,000	35,52±4,08 a	32,48±4,10 b	0,0000	49,48±5,69 a	45,11±5,44 b	0,0000
2PPI	12,73±3,21 a	9,51±1,10 b	0,009	43,20±3,36 a	38,71±2,28 b	0,000	39,19±3,53 a	36,42±2,37 b	0,042	55,08±5,72 a	49,28±2,56 b	0,008
3PPI	15,08±4,05 a	11,05±1,34 a	0,162	44,95±3,77 a	39,50±0,70 b	0,043	41,57±3,67 a	33,50±0,70 b	0,0023	58,34±5,50 a	53,50±2,12 a	0,216
4PPI	15,89±3,72	-	-	45,52±3,77	-	-	42,42±3,45	-	-	59,54±5,03	-	-

Légende: PV, poids vif; LC, Longueur du corps; TP, Tour de poitrine; HG, Hauteur au garrot; F, femelle; M, mâle; ab, les lignes avec une lettre différente sont statistiquement différentes ($P < 0,05$); PPI, paire d'incisives permanentes; DL1, dent de lait et moins de 06 mois d'âge; DL2, dent de lait entre 06 à 12 mois.

3.4 EFFET DE LA COMMUNE SUR LE POIDS VIFS ET LES PARAMETRES MORPHOLOGIQUES DES CAPRINS

Le tableau 4 présente les résultats de l'analyse des variances (ANOVA) du Poids vif et des traits morphologiques (HG, TP et LC) des chèvres Djallonké en fonction du sexe et de la commune. Chez les femelles, une différence très hautement significative du poids vif ($p < 0,05$) a été observée dans cinq (5) classes d'âge entre la commune de Bouroum-Bouroum et de Loropéni. Au niveau des mâles, le poids

vif n'est pas différent entre les deux communes selon la classe d'âge ($p>0,05$). Cependant, les traits morphologiques sont significativement différents entre les deux communes pour classes d'âge de DL1 à 4PPI chez les femelles.

L'étude a révélé des poids vifs moyens évolutifs des femelles allant de $3,99\pm 2,12$ Kg à $14,77\pm 3,14$ Kg à Bouroum-Bouroum et de $5,08\pm 0,66$ Kg à $19,18\pm 3,37$ Kg à Loropéni, respectivement de DL1 à 4PPI. Chez les mâles, des poids vifs de $3,87\pm 2,15$ Kg, $6,40\pm 4,39$ Kg et $7,25\pm 1,71$ Kg ont été observés à Bouroum-Bouroum contre $4,39\pm 0,95$ Kg, $6,19\pm 3,28$ Kg et $7,20\pm 1,63$ Kg à Loropéni, respectivement pour les classes d'âge DL1, DL2 et 1PPI.

Les résultats ont montré que la HG, le TP et la LC augmentent proportionnellement avec l'âge dans les deux (02) communes avec des valeurs significativement plus élevées ($P<0,05$) à Loropéni par rapport à Bouroum-Bouroum pour les classes d'âges 1PPI à 4PPI.

Tableau 4. *Aperçu des paramètres morphologiques par commune selon le sexe*

Classe d'âge		FEMELE			MALE		
		Bouroum-Bouroum	Loropéni	P value	Bouroum-Bouroum	Loropéni	P value
PV	DL1	3,99±2,12 a	5,08±0,66 a	0,0030	3,87±2,15 a	4,39±0,95 a	0,558
	DL2	6,37±1,70 a	6,68±2,08 a	0,5150	6,40±1,91 a	6,19±1,52 a	0,731
	1PPI	8,48±2,24 b	10,59±2,23 a	0,0000	7,25±1,71 a	7,20±1,63 a	0,918
	2PPI	11,38±2,79 b	14,88±2,64 a	0,0000	-	-	-
	3PPI	13,02±2,98 b	18,30±3,36 a	0,0000	-	-	-
	4PPI	14,77±3,14 b	19,18±3,37 a	0,0000	-	-	-
HG	DL1	29,48±4,76 a	33,00±4,63 a	0,0701	29,00±4,33 b	34,14±3,48 b	0,0136
	DL2	34,38±3,62 b	36,95±3,42 a	0,0062	33,51±3,07 a	35,69±3,66 a	0,0584
	1PPI	38,47±3,62 b	40,62±3,50 a	0,0000	36,13±4,39 a	37,16±3,28 a	0,367
	2PPI	42,32±2,5 b	44,61±4,04 a	0,0000	-	-	-
	3PPI	43,69±3,43 b	46,90±3,44 a	0,0000	-	-	-
	4PPI	45,01±3,16 b	47,04±3,84 a	0,0001	-	-	-
TP	DL1	35,21±5,69 b	44,33±4,24 a	0,0001	34,25±6,82 a	38,28±4,46 a	0,174
	DL2	42,64±3,97 b	45,71±5,20 a	0,0070	42,50±4,52 a	43,30±3,77 a	0,583
	1PPI	47,73±4,74 b	52,48±16,00 a	0,0000	44,40±5,68 a	45,74±5,26 a	0,409
	2PPI	52,87±4,51 b	58,62±5,71 a	0,0000	-	-	-
	3PPI	55,82±4,10 b	62,27±5,10 a	0,0000	-	-	-
	4PPI	58,34±3,87 b	63,10±6,29 a	0,0000	-	-	-
LC	DL1	26,00±3,82 b	31,45±4,01 a	0,0016	25,85±2,90 a	28,28±3,54 a	0,109
	DL2	31,29±3,59 a	32,85±2,92 a	0,0791	30,42± 3,76 a	30,76±2,89 a	0,773
	1PPI	34,77±3,65 b	36,61±4,42 a	0,0004	32,04±3,30 a	32,56±4,77 a	0,92
	2PPI	38,30±3,25 b	40,63±3,52 a	0,0000	-	-	-
	3PPI	40,36±3,21 b	43,44±3,59 a	0,0000	-	-	-
	4PPI	42,13±3,21 b	43,28±4,01 a	0,0370	-	-	-

Légende: PV, poids vif; LC, Longueur du corps; TP, Tour de poitrine; HG, Hauteur au garrot; ab, les lignes avec une lettre différente sont statistiquement différentes ($P<0,05$); PPI, paire d'incisives permanentes; DL1, dent de lait et moins de 06 mois d'âge; DL2, dent de lait entre 06 à 12 mois.

4 DISCUSSION

4.1 CARACTERISTIQUE DEMOGRAPHIQUE DE LA POPULATION DE CHEVRES DJALLONKE

La population adulte de chèvres Djallonké à Bouroum-Bouroum et Loropéni est caractérisée par une proportion de femelles très élevée par rapport aux mâles. Ce résultat confirme ceux de [10,25,30–32] sur les chèvres. Cette structure démographique marquée par un faible effectif de mâle au profit des femelles est voulue par les éleveurs dans leur pratique d'élevage et de gestion de la reproduction [32]. Par contre, en Indonésie, une d'absence totale de mâles reproducteurs a été mentionnée [33]. Nos résultats s'expliqueraient par le fait que les Boucs sont plus utilisés dans les activités socioculturelles et vendus en premier pour satisfaire les besoins d'argent du ménage. Selon [34], les mâles des caprins sont largement utilisés dans l'embouche et exploités dans la boucherie en milieu rural. Ce résultat serait également lié à une pratique des éleveurs, qui consiste à garder les femelles pour la multiplication de leurs troupeaux [30,35]

La conséquence de la diminution du nombre de mâles serait une inefficacité des Boucs restant à assurer les saillies dans la zone, ce qui conduirait à un allongement de l'intervalle des naissances [33]. Un nombre insuffisant de mâles reproducteurs pourrait causer la perte de la diversité raciale et une augmentation la consanguinité dans le système d'élevage extensif [25].

Nos résultats montrent un effectif plus élevé de chevreaux que de chevrettes ayant moins de 12 mois. Ce résultat est en partie en accord avec ceux de [36] qui avait trouvé des effectifs plus élevés des caprins mâles de 2 à 4 mois d'âge et le contraire pour ceux ayant plus de 4 mois. Nos résultats sont en total accord avec ceux de [35] au Nigeria. La structure démographique de la population de caprins Djallonké est un atout majeur pour la sélection de futurs reproducteurs dans le cadre de programmes d'amélioration génétique à base communautaire. En effet, le CBBP nécessite la présence d'un nombre important de jeunes afin que les meilleurs soient retenus pour assurer la reproduction [22,37]. L'approche de gestion caprine des éleveurs, caractérisée par la sélection et l'élimination anticipée des mâles non désirés avant l'âge adulte, favorise l'amélioration des performances génétiques dans les programmes d'élevage communautaires.

4.2 CARACTÉRISTIQUES PONDÉRALES DES CHÈVRES DJALLONKÉ

La chèvre Djallonké est connue sous plusieurs appellations et se caractérise par sa rusticité, son adaptation à la zone humide, son petit format et un faible poids [1,21,38]. Aucune différence de poids n'a été constatée chez les caprins Djallonké de la naissance à 12 mois. Nos observations sont contraires à celles de [35], qui ont trouvé des poids vifs plus élevés chez les mâles de la naissance à 1 an. Ce résultat pourrait s'expliquer par la variation des conditions d'élevage. Par contre, nos résultats sont dans le même sens que ceux de [39], qui ont montré que l'âge n'avait pas d'influence sur le poids des caprins de la naissance et au sevrage.

Les femelles adultes de 12 à 24 mois d'âge ont un poids vif plus élevé que les mâles du même âge. Des résultats similaires ont été rapportés au Ghana sur la chèvre naine d'Afrique de l'Ouest [40]. La différence de poids vif des femelles par rapport aux mâles serait une influence du sexe [30]. Elle pourrait s'expliquer par un état physiologique de gestation des femelles, qui entraîne une augmentation de leur poids vif par rapport aux mâles. Effet, des études ont montré la précocité sexuelle des chèvres avec un premier chevrotage entre 11 mois et 18 mois [20,41]. Cette influence du sexe serait également due à un effet hormonal, l'absence de libération d'androgènes, favorisant la croissance musculaire chez la femelle [35]. Des résultats contraires ont été mentionnés au Nigéria par [42]. Au regard de nos résultats, les CBBP sont une aubaine pour l'amélioration durable des performances de la chèvre Djallonké comme il a été démontré en Ethiopie sur les petits ruminants [13].

4.3 CARACTERISTIQUES DU POIDS VIF ET DES TRAITS MORPHOLOGIQUES

La compréhension des relations entre Poids vif, HG; TP, LC et l'âge est essentiels pour la réussite de l'amélioration génétique communautaire basée sur la sélection [22,37].

Nos résultats montrent une différence significative de poids vif entre les caprins des différentes classes d'âge. Il en est de même pour les traits morphologiques. En effet, l'âge aurait une influence notoire sur le poids vif des chèvres Djallonké mâles et femelles [35]. Notre étude a montré que le poids, la HG, le TP et la LC augmentent de la naissance à l'âge adulte, ce qui constitue un phénomène biologique de la croissance, qui augmente avec l'âge. Selon les auteurs [40,43], les traits morphologiques, HG, TP et LC, sont corrélés au poids vif. Ainsi, le poids vif dépendant de l'âge des chèvres, tous les traits associés seront également influencés. Plusieurs autres travaux ont abouti à des résultats similaires dans le monde, notamment sur les bovins [44], les caprins [30,35,40,45] et les ovins [46,47]. Cependant, la dimension de ces traits morphologiques peut diminuer lorsque les conditions environnementales sont défavorables. Dans le cadre des CBBP, le Poids vif et les traits morphologiques (HG, TP et LC) constituent de précieux indicateurs pour les décisions de sélection.

4.4 EFFET DE LA LOCALITE SUR LE POIDS VIF ET DES TRAITS MORPHOLOGIQUES

Les mâles adultes de plus de 24 mois n'ont pas été considérés dans les analyses à cause de leurs faibles proportions dans le troupeau. Des restrictions pareilles sont généralement faites dans les études de caractérisation des caprins [25,48,49].

Le PV, la HG, le TP et la LC des femelles Djallonké à Loropéni sont supérieurs à ceux de Bouroum-Bouroum. Ces différences seraient liées à une variation dans la conduite des chèvres dans les deux communes. En effet, l'élevage des chèvres Djallonké dans cette partie du Pays est du type traditionnel, caractérisé par des pratiques d'élevage très variées d'un éleveur à l'autre [2]. Une différence de bonnes pratiques dans l'alimentation et la santé dans les deux (02) communes pourrait influencer le poids vif et les traits morphologiques. La disponibilité et la qualité de la ressource alimentaire variée d'une commune à l'autre pourraient affecter la croissance et le poids des chèvres [50]. Les pratiques d'élevage, y compris les soins vétérinaires, pourraient influencer la santé et favoriser des gains de poids supérieur d'une commune à l'autre. Selon [51], les facteurs environnementaux peuvent affecter le poids des chèvres directement ou par une action combinée. Ainsi, les conditions environnementales à Loropéni pourraient occasionner l'existence de microclimats, influençant la température, l'humidité et d'autres facteurs environnementaux qui auraient affecté significativement le poids, la HG, le TP et la LC des chèvres.

5 CONCLUSION

L'étude conduite sur les caractéristiques morphologiques des chèvres Djallonké dans les programmes de sélection communautaire (CBBP) dans l'Ouest du Burkina Faso a permis d'appréhender la structure démographique qui existe dans les troupeaux et les performances pondérales dans les communes de Loropéni et de Bouroum-Bouroum. Les résultats obtenus sur la structure démographique des troupeaux de chèvres Djallonké et l'évolution du poids vif, du tour de poitrine, hauteur au garrot et la longueur du corps selon les différentes classes d'âge constitue une avancée significative sur la connaissance de cette race, dans le milieu réel. La population de chèvre Djallonké est constituée par une importante proportion de femelles adultes et de jeunes mâles. Ce résultat favorise l'implantation et la réussite des programmes d'amélioration génétique à base communautaire de la race. Ainsi, la caractérisation des performances pondérale et morphologique des caprins Djallonké dans le milieu réel constitue une base pour l'appréciation du progrès génétique réalisé à l'issue des sessions de sélection. Cependant, un suivi longitudinal des performances de production et de reproduction dans le milieu réel permettrait d'approfondir la connaissance de la race locale de chèvre Djallonké.

REMERCIEMENT

Ce travail a été possible grâce au financement de Austrian Partnership in High Education and Research for Development (APPEAR) à travers le Projet LoCaBreed2.0. Nous remercions également les éleveurs membres des CBBP ainsi que les techniciens de la zone de l'étude pour leur collaboration pour la collection des données.

REFERENCES

- [1] Tamini, L.D.; Fadiga, M.L.; Sorgho, Z. Chaines de Valeur Des Petits Ruminants Au Burkina Faso : Analyse de Situation. *Ilri Proj. Rep.* 2014, 137.
- [2] Akounda, B.; Ouédraogo, D.; Burger, P.A.; Rosen, B.D. Characterization of Goat Production Systems in Two Agro-Ecological Zones of Burkina Faso, West Africa. *Int. J. Livest. Prod.* 2023, 14, 69–83, doi: 10.5897/IJLP2023.0833.
- [3] MARAH Enquête Nationale Sur Le Cheptel (ENC1) 2018: Rapport d'analyse; Ouagadougou, Burkina Faso, 2021.
- [4] Traoré, A.; Tamboura, H.H.; Kaboré, A.; Royo, L.J.; Fernández, I.; Álvarez, I.; Sangaré, M.; Bouchel, D.; Poivey, J.P.; Francois, D.; et al. Multivariate Characterization of Morphological Traits in Burkina Faso Sheep. *Small Rumin. Res.* 2008, 80, 62–67, doi: 10.1016/j.smallrumres.2008.09.011.
- [5] Zan, A.; Sawadogo, B.; Some, Y.S.C. Climate Perceptions of Small Ruminant Farmers in Mouhoun Province of Burkina Faso. *Int. J. Environ. Clim. Chang.* 2024, 14, 233–243.
- [6] Kabore, A.; Traore, A.; Gnanda, B.I.; Nignan, M. Constraints of Small Ruminant Production among Farming Systems in Periurban Area of Ouagadougou, Burkina Faso. *Adv. Appl. Sci. Res.* 2011, 2, 588–594.
- [7] FAO Le Devenir de l'élevage Au Burkina Faso. Défis et Opportunités Face Aux Incertitudes; Rome, 2019; ISBN 9789004314788.
- [8] Traoré, A.; Álvarez, I.; Tamboura, H.H.; Fernández, I.; Kaboré, A.; Royo, L.J.; Gutiérrez, J.P.; Sangaré, M.; Ouédraogo-sanou, G.; Toguyeni, A.; et al. Genetic Characterisation of Burkina Faso Goats Using Microsatellite Polymorphism. *Livest. Sci.* 2009, 123, 322–328, doi: 10.1016/j.livsci.2008.11.005.
- [9] Traoré, A.; Tamboura, H.H.; Kaboré, A.; Yaméogo, N.; Bayala, B.; Zaré, I. Caractérisation Morphologique Des Petits Ruminants (Ovins et Caprins) de Race Locale «Mossi» Au Burkina Faso. *Anim. Genet. Resour. Inf.* 2006, 39, 39–50, doi: 10.1017/S1014233900002121.
- [10] Traoré, A.; Tamboura, H.H.; Kaboré, L.; Royo, L.J.; Fernández, I.; Álvarez, I.; Sangaré, M.; Bouchel, D.; Poivey, J.P.; François, D.; et al. Multivariate Analyses on Morphological Traits of Goats in Burkina Faso Abstract Zusammenfassung Introduction The Burkina Faso Goat Population Is Formed by a Total of 10, 035, 687 Heads. This Livestock Represent the 69. 5 % of the Domestic Ruminants Ex. *Arch. fur Tierzucht* 2008, 51, 588–600.
- [11] Solkner, J.; Nakimbugwe, H.; Zarate Valle, A. Analysis of Determinants for Success and Failure of Village Breeding Programmes. In Proceedings of the Proceedings of the 6th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, 12–16 January 1998; Armidale, Australia, 1998; pp. 273–280.
- [12] Ouédraogo, D.; Soudré, A.; Yougbaré, B.; Ouédraogo-Koné, S.; Zoma-traoré, B.; Khayatadeh, N.; Traoré, A.; Sanou, M.; Burger, P.A.; Mwai, O.A.; et al. Genetic Improvement of Local Cattle Breeds in West Africa : A Review of Breeding Programs. *Sustain. Rev.* 2021, 13, 1–16, doi: doi.org/10.3390/ su13042125.
- [13] Haile, A.; Getachew, T.; Mirkena, T.; Duguma, G.; Gizaw, S.; Wurzinger, M.; Soelkner, J.; Mwai, O.; Dessie, T.; Abebe, A.; et al. Community-Based Sheep Breeding Programs Generated Substantial Genetic Gains and Socioeconomic Benefits. *Animal* 2020, 14, 1362–1370, doi: 10.1017/S1751731120000269.
- [14] Karnuah, A.B.; Dunga, G. Community Based Breeding Program for Improve Goat Production in Liberia. *MOJ Curr. Res. Rev.* 2018, 1, 216–221, doi: 10.15406/mojcrr.2018.01.00036.

- [15] Solomon, A.G. Design of Community Based Breeding Programs for Two Indigenous Goat Breeds of Ethiopia Solomon Abegaz Guangul Doctoral Thesis January 2014 Vienna, Austria Design of Community Based Breeding Programs for Two Indigenous Goat Breeds of Ethiopia Solomon Abeg, 2014.
- [16] Valle Zárate, A.; Markemann, A. Community-Based Breeding Programmes Incorporating Local Breeds : Concept, Research Results and Implementation Strategy on Pigs in Northern Vietnam. *Proc. 9th World Congr. Genet. Appl. to Livest. Prod.* 2007.
- [17] Ouédraogo, D.; Soudré, A.; Ouédraogo-koné, S.; Zoma, B.L.; Yougbaré, B.; Khayatzaadeh, N.; Burger, P.A.; Mészáros, G.; Traoré, A.; Mwai, O.A.; et al. Breeding Objectives and Practices in Three Local Cattle Breed Production Systems in Burkina Faso with Implication for the Design of Breeding Programs. *Livest. Sci.* 2020, 232, 103910, doi: 10.1016/j.livsci.2019.103910.
- [18] Ouédraogo, D.; Ouédraogo-Koné, S.; Yougbaré, B.; Soudré, A.; Zoma-Traoré, B.; Mészáros, G.; Khayatzaadeh, N.; Traoré, A.; Sanou, M.; Mwai, O.A.; et al. Population Structure, Inbreeding and Admixture in Local Cattle Populations Managed by Community-Based Breeding Programs in Burkina Faso. *J. Anim. Breed. Genet.* 2021, 138, 379–388, doi: 10.1111/jbg.12529.
- [19] Akounda, B.; Ouédraogo, D.; Burger, A.P.; Rosen, B.D.; Tassell, C.P. Van; Sölkner, J.; Soudré, A. Participatory Investigation of Goat Farmers ' Breeding Practices, Trait Preference, and Selection Criteria in Burkina Faso. *Trop. Anim. Health Prod.* 2024, 56, 1–12, doi: 10.1007/s11250-023-03869-w.
- [20] Wilson, R.T. *Small Ruminant Production and the Small Ruminant Genetic Resource in Tropical Africa*; FAO Animal Production and Health Paper 88: Rome, Italy, 1991; ISBN 9251029989.
- [21] Traoré, D. West African Goat Breeds. In *Sustainable Goat Production in Adverse Environments: Local Goat Breeds*; Simão, soão, Gutiérrez, C., Eds.; 2017; Vol. II, pp. 77–90 ISBN 9783319712949.
- [22] Haile, A.; Wurzing, M.; Mueller, J.P.; Mirkena, T.; Duguma, G. *Guidelines for Setting up Community-Based Small Ruminants Breeding Programs Second Edition*; 2018; ISBN 9789291275212.
- [23] Ouédraogo, D.; Soudré, A.; Ouédraogo-Koné, S.; Yougbaré, B.; Zoma, B.L.; Tapsoba, A.S.; Mészáros, G.; Burger, P.A.; Khayatzaadeh, N.; Wurzing, M.; et al. Selection of Bulls for the Implementation of Community-Based Local Cattle Breeding Programs in Burkina Faso. *Bull. Anim. Heal. Prod. Africa* 2020, 68, 103–111.
- [24] FAO Caractérisation Phénotypique Des Ressources Génétiques Animales; No 11.; Rome, Italy., 2013; ISBN 9789252078432.
- [25] Akounda, B.; Ouédraogo, D.; Soudré, A.; Burger, P.A.; Rosen, B.D.; Van Tassell, C.P.; Sölkner, J. Morphometric Characterization of Local Goat Breeds in Two Agroecological Zones of Burkina Faso, West Africa. *Animals* 2023, 13, 1931, doi: 10.3390/ani13121931.
- [26] Abegaz, S.; Sölkner, J.; Gizaw, S.; Dessie, T.; Haile, A.; Wurzing, M. Description of Production Systems and Morphological Characteristics of Abergelle and Western Lowland Goat Breeds in Ethiopia : Implication for Community-Based Breeding Programmes. *Anim. Genet. Resour.* 2013, 53, 69–78, doi: 10.1017/S2078633613000088.
- [27] Tade, B.; Melesse, A.; Betscha, S. Characterization of the Indigenous Goat Populations of South Gonder Based on Their Morphometric Traits and Body Indices. *Ethiop. J. Agric. Sci.* 2021, 31, 71–87.
- [28] Yousuf, M.; Getachew, T.; Bayou, E. On Farm Phenotypic Characterization of Indigenous Goat Breeds within Their Production System in Ancher and Gemechis Districts, West Hararghe Zone, Eastern Ethiopia. *Am. J. Life Sci.* 2021, 9, 25, doi: 10.11648/j.ajls.20210902.12.
- [29] RCoreTeam A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2021.
- [30] Sowande, O.S.; Oyewale, B.F.; Iyasere, O.S. Age- and Sex-Dependent Regression Models for Predicting the Live Weight of West African Dwarf Goat from Body Measurements. *Trop Anim Heal. Prod* 2014, 42, 969–975, doi: 10.1007/s11250-009-9515-4.
- [31] Houessou, S.O.; Vanvanhossou, S.F.U.; Yassegoungbe, F.P.; Adenile, A.; Dahouda, M.; Guimaraes, V.P.; Dossa, L. A Typological Characterization of Rural Goat Production Systems of Benin Prior to Their Sustainability Assessment. *Arch. Zootec.* 2016, 65, 581–584.
- [32] Sheriff, O.; Alemayehu, K.; Haile, A. Production Systems and Breeding Practices of Arab and Oromo Goat Keepers in Northwestern Ethiopia: Implications for Community-Based Breeding Programs. *Trop. Anim. Health Prod.* 2020, 52, 1467–1478, doi: 10.1007/s11250-019-02150-3.
- [33] Rahadi, S.; Kusumawati, E.D.; Kuswati; Isnaeni, N.; Hakim, L.; Ciptadi, G.; Susilawati, T.; Nurgiartiningsih, V.M.A. Characterization and Typology of Goat Production Systems in West Muna Regency, Southeast Sulawesi, Indonesia. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 2020, 465, doi: 10.1088/1755-1315/465/1/012057.
- [34] Gnanda, B.I. Importance Socio-Économique de La Chèvre Du Sahel Burkinabè et Amélioration de Sa Productivité Par l'alimentation, UPB, 2008.
- [35] Fajemilehin, O.K.S.; Salako, A.E. Body Measurement Characteristics of the West African Dwarf (WAD) Goat in Deciduous Forest Zone of Southwestern Nigeria. *African J. Biotechnol.* 2008, 7, 2521–2526.
- [36] Semakula, J.; Lusembo, P.; Kugonza, D.R.; Mutetikka, D.; Mwesigwa, J.S.M. Estimation of Live Body Weight Using Zoometrical Measurements for Improved Marketing of Indigenous Chicken in the Lake Victoria Basin of Uganda. *Livest. Res. Rural Dev.* 2011, 23, 1–7.
- [37] Haile, A.; Wurzing, M.; Mueller, J.P.; Mirkena, T.; Duguma, G.; Mwai, O.; Sölkner, J.; Rischkowsky, B. Guidelines for Setting up Community-Based Sheep Breeding Programs in Ethiopia: Lessons and Experiences for Sheep Breeding in Low-Input Systems; ICARDA, Ed.; tools and.; ICARDA: Aleppo, Syria, 2011; ISBN 92-9127-255-8.

- [38] Missohou, A.; Nahimana, G.; Ayissiwe, S.B.; Sembene, M. Elevage Caprin En Afrique de l'Ouest : Une Synthèse. *Rev. d'élevage médecine vétérinaire des pays Trop.* 2016, 69, 3, doi: 10.19182/remvt.31167.
- [39] Ayizanga, R.A.; Tecku, P.K.M.; Obese, F.Y. Growth and Reproductive Performance of West African Dwarf Goats at the Animal Research Institute, Katamanso Station. *Ghana Jnl Agric. Sci.* 2018, 52, 43–53.
- [40] Ofori, S.A.; Hagan, J.K.; Kyei, F. Morphometric Characterization and Differentiation of West African Dwarf Goat Populations in Ghana. *Trop. Anim. Health Prod.* 2021, 16, doi: 10.1007/s11250-020-02498-x.
- [41] Idrissou, N.; Ahounou, S.G.; Tougan, U.; Tamimou, M.I.; Hounmanou, Y.M.G.; Mensah, G.A.; Abdou Karim, I.Y. Morphometric and Zootechnical Characterization of Dwarf Goats in Northeastern Benin. *Int. J. Agron. Agric. Res.* 2017, 11, 26–42.
- [42] Alade, N.K.; Raji, A.O.; Atiku, M.A. Determination of Appropriate Model for the Estimation of Body Weight in Goats. *Asian Res. Publ. Netw.* 2008, 3, 7.
- [43] Sam, I.M.; Ekpo, J. Comparative Evaluation of Live Body Weight, Linear Body Measurement and Carcass Characteristics of West African Dwarf and Red Sokoto Goats in Abak Municipality, Akwa Ibom State. *Niger. J. Anim. Prod.* 2022, 49, 1–12, doi: 10.51791/njap.v49i4.3697.
- [44] Youssao, I.A.K.; Salifou, C.F.A.; Séni Alassane, D.; Senou, M.; Yacoubou, A.M.; Touré, F.Z.; Alkoiret, T.I. Modeling Live Weight Growth in Borgou Cattle Raised on Natural Pasture in Modélisation Des Performances Pondérales de Bovins Borgou Élevés Sur Pâturages Naturels En Ferme Au Bénin Modeling Live Weight Growth in Borgou Cattle Raised on Natural Pasture in B. *Livest. Res. Rural Dev.* 2013, 25, 9.
- [45] Ibbelbachyr, M.; Boujenane, I.; Chikhi, A. Morphometric Differentiation of Moroccan Indigenous Draa Goat Based on Multivariate Analysis. *Anim. Genet. Resour.* 2015, 7, doi: 10.1017/S2078633615000296.
- [46] Deribe, B.; Beyene, D.; Dagne, K.; Getachew, T.; Gizaw, S.; Abebe, A. Morphological Diversity of Northeastern Fat-Tailed and Northwestern Thin-Tailed Indigenous Sheep Breeds of Ethiopia. *Heliyon* 2021, 7, doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e07472.
- [47] Edea, Z. Characterization of Bonga and Horro Indigenous Sheep Breeds of Smallholders for Designing Community Based Breeding Strategies in Ethiopia.; 2008.
- [48] Whannou, H.R.V.; Afatondji, C.U.; Linsoussi, C.A.; Favi, G.A.; Nguyen, T.T.; Houinato, M.R.B.; Dossa, L.H. Morphological Characterization and Habitat Suitability Modeling of the Goat Population of Benin under Climate Change Scenarios. *Ecol. Process.* 2022, 11, 23, doi: 10.1186/s13717-022-00392-y.
- [49] Dossa, L.H.; Clemens, W.; Gauly, M. Spatial Variation in Goat Populations from Benin as Revealed by Multivariate Analysis of Morphological Traits. *Small Rumin. Res.* 2007, 73, 150–159, doi: 10.1016/j.smallrumres.2007.01.003.
- [50] Baiden, R.Y. Birth Weight, Birth Type and Pre-Weaning Survivability of West African Dwarf Goats Raised in the Dangme West District of the Greater Accra Region of Ghana. *Trop Anim Heal. Prod* 2007, 39, 141–147, doi: 10.1007/s11250-007-4354-7.
- [51] Ahlem, A.; Laaroussi, A.; Abdennebi, M.; Salem, F. Ben; Najari, S. Impacts of Food Scarcity and Irregularities under Arid Conditions on the Body Reserves and Production of Local Goat Population in the Southern of Tunisia. *J. Oasis Agric. Sustain. Dev.* 2022, 5.

Characteristics and typology of the cattle farming system and genetic resource management in Burkina Faso

Gniné Fabiola Traore, Kisito Tindano, Wendata Raïcha Ouedraogo, Arnaud Stéphane Rayangnéwendé Tapsoba, Bernadette Yougbare, Geoffroy Kinda, and Amadou Traore

Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) - Laboratoire de Biologie et de Santé Animales, 04 BP: 8645 Ouagadougou
04, Burkina Faso

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

ABSTRACT: In recent decades, cattle in Burkina Faso have been crossbred without any clear long-term management of the introduced genes. The socio-economic characteristics of producers can provide an insight into the management of genetic resources. This study was designed to investigate these characteristics and the management of bovine genetic resources in Burkina Faso. A survey of 735 producers from all 13 regions of Burkina Faso was conducted. The results showed that the farmers were mainly men (98.91%) over 40 years of age (80.44%). Extensive (57.69%) and semi-intensive (41.9%) farming systems were dominant, with the majority of farmers being sedentary (78.82%). Food resources included natural grazing, crop residues, agro-industrial by-products, and minerals. The use of these resources varied depending on the season. Farming objectives varied and included milk production, sales, traction, manure production and cultural reasons. While farmers have access to veterinary services, some also use traditional medicine (10.56%). The Fulani zebu, which was reared by 97.9% of the sample, was the dominant breed and was found throughout the country. It was sometimes found alongside other breeds. Crossbreds were found among 16.15% of farmers. Breeders mainly chose their male breeding stock on the basis of conformation, growth, temperament, tail length, colour, and body size. However, there was very little mating control. Crossbreeding between zebras and taurines threatens the existence of the latter. The typology shows three groups of breeders with a significant link to the administrative regions. Action is required to ensure the sustainability of crossbreeding practices.

KEYWORDS: socio-economics, local breed, crossbreeding, zebu, taurines, Burkina Faso.

1 INTRODUCTION

Animal and crop production constitute the most practiced economic activities in Burkina Faso. Animal production plays a key role through its diverse products and services, such as food security, as well as social and financial security [1].

In Burkina Faso, the cattle production sector contributes between 36% and 40% of the total agricultural [2]. Socio-economically and culturally, cattle are considered the species that offers the most assurance and prestige. Indeed, cattle provide animal protein through meat and milk, serve in transportation and traction in rural areas, function as savings and insurance, and play an essential cultural role [3], [1]. They occupy the highest position aimed for by herders on the capitalization scale [4]. The development of this sector could significantly enhance nutrition levels, agricultural productivity, rural livelihoods, and global economic growth [5].

The country's cattle population is estimated at 10 143 000 heads [6], making it the second-largest cattle population in West Africa after Mali. This numerical importance is linked to high genetic diversity which is organized within two main species: taurines and zebu, encompassing several breeds such as Fulani zebu, Azawak, Goudali, Mbororo, and taurines like Lobi and Gourounsi [7]. In recent decades, introduced breeds, primarily from Western countries, have been used in crossbreeding with local breeds [8], [9]. While the short-term objective of such introductions is generally to use crossbred females in dairy production [9], there is often no clear long-term vision for managing the diffusion of these genes. This lack of a clear crossbreeding scheme raises concerns about the sustainability of genetic resource management systems. The determinants of animal genetic resource management are primarily linked to the socioeconomic characteristics of livestock farming systems. Indeed, all livestock management practices and production systems follow a logic that can be explained by considering the socio-economic aspects of farmers (breeding objectives, available resources, feeding and watering systems, constraints faced by herders, etc.).

This study aims to characterize cattle farming systems in Burkina Faso from a socio-economic perspective, providing a better understanding of genetic resource management.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 SAMPLING AND DATA COLLECTION

The study was conducted across the 13 regions of Burkina Faso from November 2019 to January 2020. Livestock farms were selected in collaboration with regional animal and fisheries resource directorates and local zone leaders. Between one (1) and four (4) provinces were chosen per region. In each province, four (4) villages were selected, and four (4) herds were selected per village. The selection of provinces, villages, and herds was done to cover the four cardinal points.

A questionnaire was developed to collect the data on livestock species, cattle breeds, feeding systems, veterinary care, and some physical environmental characteristics. The data collection process utilized the KoBoToolbox platform.

2.2 DATA ANALYSIS

The raw data from the platform were opened in Excel. The collected data underwent cleaning, and individuals with poorly filled-out records were excluded from the study. The final sample size retained for socio-economic analysis comprised 735 herders.

Two types of statistical analysis were conducted using the R software. First, a univariate descriptive analysis was performed on all variables to characterize the sampled livestock systems. Subsequently, 14 qualitative variables deemed significant were selected for multivariate descriptive analysis (Table I) through multiple correspondence analysis (MCA), followed by hierarchical clustering (HCA, Ward's algorithm) using the FactoMineR package in R. This approach allowed for establishing a typology of cattle farms. Among the 14 variables used, 13 contributed to axis construction, while the 14th (main breed raised) was included as a supplementary qualitative variable.

Table 1. Variables and modalities used for the Multiple Correspondence Analysis (MCA)

Variables	Variable codes	Modalities	Modality codes
Administrative region	reg	Boucle du Mouhoun	BM
		Cascades	Cas
		Centre	Centre
		Centre-Est	CE
		Centre-Nord	CN
		Centre-Ouest	CO
		Centre-Sud	CS
		Est	Est
		Hauts Bassins	HB
		Nord	Nord
		Plateau Central	PC
		Sahel	Sahel
		Sud-Ouest	SO
Main source of feed in the dry season	sspatu	Natural grazing	Paturnat
		Other sources	Autrealim
Production system	systP	Extensive	exte
		Semi-intensive	inte
		Industrial	indu
Treatment of ectoparasites when necessary	ectonec	Yes	ectoO
		No	ectoN
Trypanocides use	utiltrypano	Yes	trypaO
		No	trypaN
		Cultural	cult
Main production objective	princ	Manure	Fumier
		Milk	Lait
		Prestige	Prestige
		Traction	traction
		sale	vente
		Meat	viande

Vaccination against anthrax	bact	Yes	bactO
		No	bactN
Practice of castration	castrer	Yes	castreO
		No	castreN
Use of bulls for work	taurtrav	Yes	TravO
		No	TravN
Mobility	mobil	Sedentary	sed
		Transhumant	transh
		Nomad	noma
		Controlled	Contr
Mode of reproduction	contrrepro	uncontrolled	Incontr
		Uncontrolled, but sometimes artificial insemination	IncontrIA
		Uncontrolled, but sometimes group mating	Incontrsailli
		Low number of head	faibef
Flock size	efB	Medium number of head	moyef
		High number of head	fortef
Crossbreeding practice	Croisement	Yes	croisO
		No	croisN
Main breed raised	princrace	Fulani zebu	zebuP
		Crossbred	metis
		Azawak	azawak
		Goudali	goudali
		Ndama	ndama
		Lobi taurine	tlobi
		Méré taurine	tmere

3 RESULTS

3.1 CHARACTERISTICS OF HERDERS

The majority of respondents were men (98.91%), with only 1.09% being women. Herders under the age of 40 represented 19.56%, those aged between 40 and 60 accounted for 62.11%, and those aged 60 or older made up 18.33%. The study revealed significant variability in the size of surveyed cattle herds. Indeed, among the surveyed herders, 70.86% owned less than 50 cattle, 24.62% had between 50 and 100 heads, and only 4.51% owned herd larger than 100 heads. More than half of the herders (63.47%) reported living near a water source, with an average distance of 1.54 km. Only 1.78% of respondents treated their grazing areas against tsetse flies (Table II).

Table 2. Characteristics of the Sampled Cattle Herders

Variables	Modalities	Frequencies (%)
Gender	Male	98.91
	Female	1.09
Age (years)	< 40	19.56
	[40-60[	62.11
	≥ 60	18.33
	Large (>100)	4.51
Cattle Herd Size	Medium ([50-100[)	24.62
	Small (<50)	70.86
Proximity to a Water Source	No	36.53
	Yes	63.47
Dense Vegetation Presence	No	55.33
	Yes	44.67
Treatment Against Tsetse Flies	Yes	1.78
	No	98.22

3.2 SPECIES RAISED ALONGSIDE CATTLE

The study revealed that cattle rearing was often done alongside other species. Poultry was the most commonly associated species (93.49%), followed by sheep, goats, and donkeys. The average herd sizes for these species were generally low and varied significantly, with poultry being the only species averaging 50 heads (Table III).

Table 3. Frequencies, Average Herd Sizes, and Medians of Species Raised

Species/Breeds	Frequencies (%)	Average Size $\pm$ SD	Median
Goats	86.44	17.14 $\pm$ 20.05	12
Sheep	89.25	21.83 $\pm$ 29.47	15
Donkeys	71.91	1.61 $\pm$ 1.77	1
Poultry	93.49	50.09 $\pm$ 164.68	30

3.3 SYSTEMS AND OBJECTIVES OF CATTLE FARMING

Extensive and semi-intensive systems were the two main practiced farming systems among herders, representing 57.69% and 41.90%, respectively. Regarding herd mobility, most livestock was managed under a sedentary system. However, 23.52% practiced transhumance, with a small proportion engaging in nomadism (Table IV).

The reasons for cattle farming were diverse. The primary objective was sales (31.04%), followed by milk production (28.71%) and traction (21.57%) (Table IV).

Table 4. Herd Sizes and Farming Systems

Variables	Modalities	Frequencies (%)
Production System	Extensive	57.69
	Intensive	0.41
	Semi-intensive	41.90
	Sedentary	78.82
Mobility	Transhumant	23.52
	Nomadic	3.30
	Cultural	15.25
	Manure	2.75
Main Objective of Cattle Farming	Milk	28.71
	Prestige	0.69
	Traction	21.57
	Sales	31.04

3.4 FEED MANAGEMENT

Table V shows the sources of feed and water during the dry and rainy seasons. In the rainy season, natural grazing was the main source of feed, used by 97.39% of herders. Additionally, animals were mainly provided with minerals (58.3%). During the dry season, the primary feed sources were crop residues (96.3%), agro-industrial by-products (65.57%), natural grazing (52.54%), and minerals (31.55%).

Permanent water sources were the primary watering points during the dry season (82.83%). In the rainy season, herders combined various water sources, with temporary water sources being the most utilized (97.25%).

Table 5. Feed and Water Sources During the Dry and Rainy Seasons

Variables	Modalities	Frequencies (%)
Feed in the Dry Season	Crop residues	96.30
	Agro-industrial by-products (SPAI)	65.57
	Minerals	31.55
	Local bran	9.88
	Natural grazing	52.54
	Harvested natural forage	21.54
	Other	0.27
Feed in the Rainy Season	Crop residues	4.94
	Agro-industrial by-products (SPAI)	10.70
	Minerals	58.30
	Local bran	2.47
	Natural grazing	97.39
Water Source (Dry Season)	Harvested natural forage	6.45
	Permanent water points	82.83
Water Source (Rainy Season)	Temporary water points	17.17
	Temporary water points	97.25
	Permanent water points	36.85

3.5 HEALTH MANAGEMENT

Table VI indicates that nearly all surveyed herders relied on public veterinary services (99.86%). A smaller proportion used private veterinarians (16.5%) and 10.56% resorted to traditional medicine. The diseases for which herders most frequently vaccinated their animals are Pasteurellosis (92.85%) and Contagious Bovine Pleuropneumonia (CBPP, 59%).

In 70.39% of cases, herders reported that their animals had suffered from trypanosomiasis. Trypanocides were used by 74.52% of the herders. Animals are treated against ectoparasites and internal parasites when necessary (88.41% and 96.55%, respectively). Routine treatments for these parasites are less commonly performed. The primary method for treating ectoparasites is spraying (96.36%), while internal parasites are treated with bolus-administered anthelmintics (99.31%) (Table VI).

Table 6. Health Management

Variables	Categories	Frequencies (%)
Use of Veterinary Services	State Service	99.86
	Private Veterinarians	16.5
	Traditional Veterinary Practitioners	10.56
	CBPP (Contagious Bovine Pleuropneumonia)	59
Vaccination	Pasteurellosis	92.85
	Anthrax	2.49
	Blackleg	25.93
Frequency of Trypanosomiasis Occurrence	No	29.61
	Yes	70.39
Use of Trypanocides	No	25.48
	Yes	74.52
Treatment of Ectoparasites	As needed	88.41
	Routine treatment	14.23
	Shower	0.45
	Pour-on	1.67
Mode of Ectoparasite Treatment	Manual Removal	27.42
	Spraying	96.36
	Burning Parasites	66.67
	Rubbing	22.22
	Injection	11.11
Treatment of Internal Parasites	As needed	96.55
	Routine treatment	17.38
Mode of Internal Parasite Treatment	Internal Antiparasitics	99.31
	Injectable Antiparasitics	19.58

3.6 BOVINE GENETIC RESOURCES

The study revealed a diversity of cattle breeds, with Fulani zebu being the predominant breed in terms of both herd size (33.14 ± 30.75 cattle) and frequency of the respondents owned them (97.93%). Crossbred cattle were also present, with an average herd size of 3.17 ± 11.08 cattle (Table VII).

Table 7. Herd Sizes and Frequencies of Different Cattle Breeds

Cattle Breeds	Frequencies (%)	Average Size $\pm$ SD
Fulani zebu	97.93	33.14 ± 30.75
Azawak zebu	2.14	0.11 ± 1.04
Goudali zebu	4.43	0.43 ± 2.83
Mbororo zebu	1.43	0.14 ± 1.44
Maur zebu	0.71	0.05 ± 0.60
Taurine N'dama	3.14	0.18 ± 1.43
Taurine Lobi	4.49	0.27 ± 1.76
Taurine Méré	3.14	0.31 ± 2.25
Crossbreeds	16.15	3.17 ± 11.08

3.7 REPRODUCTION AND SELECTION CRITERIA

The surveyed herders selected their breeding males based on various criteria. The main selection criteria included conformation (88.83%), growth performance (71.59%), temperament (43.3%), tail length (35.71%), and size (28.57%). Although breeding males are selected, a significant majority (82.61%) of herders do not control mating (Table VIII).

Table 8. Reproduction Management and Criteria for Selecting Male Breeders

Variables	Modalities	Frequencies (%)
Type of Mating	Uncontrolled	82.61
	Controlled	13.70
	Public natural mating	5.98
	Artificial insemination	7.65
	Availability	4.97
Selection Criteria for Breeders	Conformation	88.83
	Colour	28.55
	Horn shape	5.24
	Temperament	43.30
	Growth performance	71.59
	Size	28.57
	Head width	7.14
	Tail length	35.71
	Hardiness (disease resistance)	14.29
	Testicle size	7.14
	Head profile	7.14

3.8 CASTRATION PRACTICES

In the herds, castration is practiced in 26.03% of cases. Among those, 78.49% mention controlling the reproduction as the main reason for castration. Other reasons cited included improving meat production (34.41%) and animal temperament (65.5%). Castration is also performed to achieve a better market price (12.9%) and for traction (1.8%) (Table VI).

Table 9. Castration Practices and Reasons for Castration

Variables	Modalities	Frequencies (%)
Castration Practice	No	73.97
	Yes	26.03
Reason for Castration	Reproductive control	78.49
	Improved meat production	34.41
	Animal temperament	65.50
	Better market price	12.90
	Draft purposes	1.80

3.9 TYPOLOGY

3.9.1 MULTIPLE CORRESPONDENCE ANALYSIS (MCA)

The results of the MCA showed a first axis (Figure 1) that distinguishes, on one side, the regions of the Hauts-Bassins, Centre-Ouest, Centre-Est, Boucle du Mouhoun, and Cascades. These regions were associated with medium to large-sized herds, the use of natural pastures as the main source of feed, to the practice of transhumance, and milk production as the principal objective of breeding. The Crossbreeding was also practiced in these regions. On the other side of the first axis, we found the regions of Nord, Centre-Nord, Plateau Central, Centre, Centre-Sud, and Sud-Ouest. The breeders of these regions were associated with small herds of cattle, they were sedentary and practiced the semi-intensive system. In these regions, the main objective was sale. Herders in these regions did not practiced castration and treated animals against trypanosomosis.

The second axis of MCA distinguished the regions of the Sahel and the Est, which were characterized by the presence of zebus Azawak and Goudali as the main breeds in terms of herd size. These regions also showed that Nomadic herders are found there. In this group, herders practiced controlled mating but did not treated their cattle against ectoparasites.

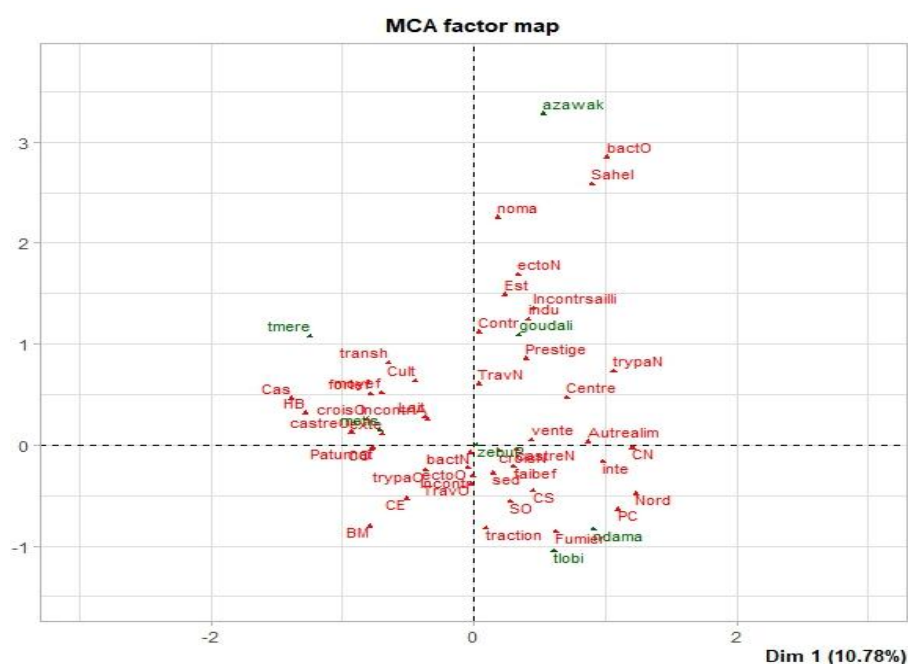


Fig. 1. Representation of Modalities According to the First Two Axes

3.9.2 HIERARCHICAL CLUSTERING ANALYSIS

Hierarchical clustering analysis identified three significantly different groups. All variables showed a highly significant association with these groups (chi-squared test, 5% threshold). These groups reflected the distinctions made by the two axes described above. Figure 2 shows the position of these three groups in relation to the first two axes.

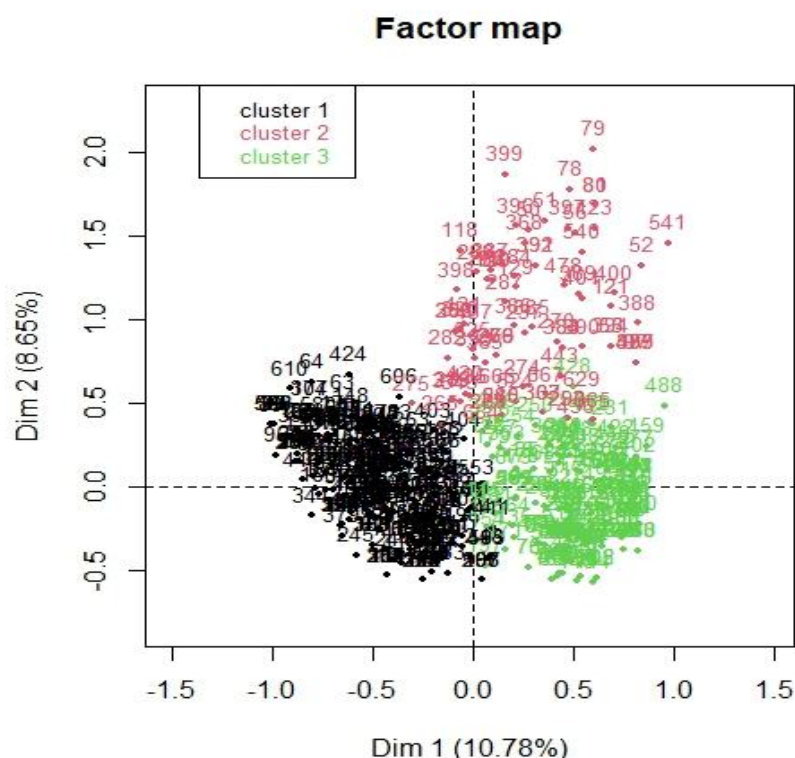


Fig. 2. Representation of the Three Herding Groups According to the First Two Axes

3.9.2.1 GROUP 1

All herders from the Centre-Ouest, Centre-Est, Boucle du Mouhoun, Hauts-Bassins, and Cascades regions were in this group, representing 26.81%, 20.64%, 22.79%, 12.33%, and 11.26% of the individuals in the group, respectively (Table X). This group is characterized by breeders who practiced extensive system. A large majority (77.94%) of herders practicing crossbreeding belonged to this group. Nearly three-quarters (73.03%) of herders with medium-sized herds were in this group. The main production objectives were milk, traction, and cultural reasons.

Table 10. Modalities Most Linked to Group 1 and Their Percentages Relative to Individuals in the Group and the Overall Sample

Modalities	Percentages Relative to Individuals Expressing the Modality	Percentages Relative to Individuals in Group	Significance (Chi-squared test)
Use of natural pastures as the main feed source in the dry season	89.60	90.08	***
Extensive farming system	85.44	94.37	***
Use of trypanocides	70.29	98.93	***
Region of Centre-Ouest	100.00	26.81	***
Region of Boucle du Mouhoun	100.00	22.79	***
Practice of castration	85.16	41.55	***
Region of Centre-Est	100.00	20.64	***
Region of Hauts-Bassins	100.00	12.33	***
Region of Cascades	100.00	11.26	***
Crossbreeding practice	77.94	28.42	***
Average herd size	73.03	34.85	***
Cultural reasons as the primary objective of farming	75.00	21.72	***
No control of mating	57.90	84.45	***
No vaccination against anthrax	54.22	100.00	***
Practice of transhumance	68.70	24.13	***

Treatment of ectoparasites when necessary	55.54	92.76	***
Milk as the main production objective	60.78	33.24	***
Crossbreeds as the main breed raised	75.00	6.43	***
Traction as the main production objective	61.74	24.66	**
Use of bulls for work	56.18	64.61	**
Small cattle herd size	44.87	59.79	***
No crossbreeding	46.84	71.58	***
No castration practice	41.60	58.45	***

*** = p -value < 0.001, ** = p -value < 0.01, * = p -value < 0.05

3.9.2.2 GROUP 2

Table XI provides a description of Group 2, which primarily consists of herders from the Est (97.67%) and Sahel (100%) regions. More than half of the herders in this group managed small herds. Crossbreeding and castration were practically absent in this group. The feed system during the dry season included the use of crop residues and concentrates.

Table 11. Modalities Most Linked to Group 2, Their Percentages Relative to Individuals in the Group and the Overall Sample

Modalities	Percentages Relative to Individuals Expressing the Modality	Percentages Relative to Individuals in Group	Significance (Chi-squared test)
Region of Sahel	100.00	49.43	***
Region of Est	97.67	48.28	***
No treatment of ectoparasites when necessary	57.83	55.17	***
Non-use of trypanocides	35.36	73.56	***
Nomadic farming practice	100.00	24.14	***
Control of mating	38.84	54.02	***
Practice of group mating	90.48	21.84	***
Vaccination against anthrax	83.33	17.24	***
Non-use of bulls for work	20.22	64.37	***
No castration practice	15.08	90.80	***
No crossbreeding	14.39	94.25	***
Other than natural pastures as the main feed source in the dry season	17.22	65.52	***
Goudali as the main breed raised	66.67	2.30	**
Intensive farming system	66.67	2.30	**
Small cattle herd size	9.86	56.32	***
No vaccination against anthrax	10.47	82.76	***
Sedentary farming	6.86	43.68	***
Treatment of ectoparasites when necessary	6.26	44.83	***

*** = p -value < 0.001, ** = p -value < 0.01, * = p -value < 0.05

3.9.2.3 GROUP 3

Group 3 includes herders from the Plateau Central (100%), Centre-Nord (95.45%), Nord (98.21%), Centre-Sud (72.58%), Centre (92.86%), and Sud-Ouest (78.57%) regions. Herders in this group mainly practice semi-intensive system and are predominantly sedentary. They generally manage small herds. The N'dama and Lobi taurine breeds are the primary breeds in this group. Crop residues and concentrates are the primary feed sources during the dry season. Table XII provides more details on the modalities characteristic of this group.4

Table 12. Modalities Most Linked to Group 3, Their Percentages Relative to Individuals in the Group and the Overall Sample

Modalities	Percentages Relative to Individuals Expressing the Modality	Percentages Relative to Individuals in Group	Significance (Chi-squared test)
Semi-intensive farming system	81.79	96.75	***
Other than natural pastures as the main feed source in the dry season	71.60	96.34	***
Region of Plateau Central	100.00	23.58	***
Region of Centre-Nord	95.45	25.61	***
Region of Nord	98.21	22.36	***
Small cattle herd size	45.27	91.46	***
Non-use of trypanocides	62.43	45.93	***
No castration practice	43.32	92.28	***
Sedentary farming	42.06	94.72	***
Sales as the main production objective	53.18	47.56	***
Region of Centre-Sud	72.58	18.29	***
Treatment of ectoparasites when necessary	38.20	96.75	***
No crossbreeding	38.77	89.84	***
Region of Centre	92.86	5.28	***
No control of mating	38.60	85.37	***
N'dama as the main breed raised	100.00	3.25	***
Region of Sud-Ouest	78.57	4.47	***
Lobi taurine as the main breed raised	100.00	1.63	**
Manure as the main production objective	60.00	4.88	**
Control of mating	24.79	12.20	**
Use of trypanocides	25.33	54.07	***

*** = p -value < 0.001, ** = p -value < 0.01, * = p -value < 0.05

4 DISCUSSION

4.1 CHARACTERISTICS OF CATTLE FARMING

Cattle farming in Burkina Faso appears to be a predominantly male activity, with few young people involved, as evidenced by the results. This situation mirrors findings from other sub-Saharan African studies [10], [11]. This can be explained by the context of social structures that place older men as heads of families, making them the primary interlocutors for surveys.

Cattle farming is often associated with the rearing of other species, particularly sheep, goats, and poultry. This situation is similar to that observed by [12] among cattle herders of Borgou. This diversification strategy likely reflects income diversification, capital accumulation, and efficient resource utilization for production [4].

Typological groups show that the variable "Region" is significantly associated with farming practices, suggesting that certain regions tend to adopt similar practices. This offers an opportunity to design targeted innovations for specific regional groups.

4.2 FARMING SYSTEM AND OBJECTIVES

The majority of breeders are sedentary. Which can be attributed to increasing land pressure that makes mobility more difficult, as well as the decreasing herd sizes resulting from persistent droughts and epidemics. This sedentary nature, in turn, influences resource utilization, hence the relative importance of semi-intensive farming systems. The reference [10] observed a similar trend in Cameroon, where semi-intensive farming systems were more prominent.

Additionally, the integration of agriculture and livestock farming is evident in this study, where crop residues are used as feed during the dry season and animal power is used for fieldwork during the planting season. According to [13], besides draft power, manure is also used by herders to fertilize the soil. These interactions favour the beneficial integration of agriculture and livestock [14]. The use of natural pastures for feeding cattle is crucial in both the dry and rainy seasons, although it is often supplemented by other feed resources. This supplementary feeding is an indication of forage deficits in pastures. Similar feeding practices have been noted in other studies [10], [15], [12]. Minerals are more commonly used in the rainy season, possibly to stimulate cattle appetite and optimize the use of abundant natural pastures. Water sources also vary by season. This can be explained by the availability and accessibility, with the preferred sources at each period being the easiest to exploit.

The reasons for cattle farming are varied, but the most significant objectives are sales (milk and meat) and traction. The sale (milk and meat) represents a significant part of the production objectives of cattle herders. Indeed, it holds an undeniable place in achieving food security. Similar production objectives of sedentary herders have also been observed by [17], [18].

The production systems, production objectives, and feeding systems showed a strong connection with the typological groups.

4.3 HEALTH MANAGEMENT

The health of cattle is essential to their well-being and, consequently, their productivity (meat and milk). Nearly all herders have access to veterinary services, with public services being the most frequently used. This situation may be influenced by the involvement of public services in the sampling process. Cattle are vaccinated against various diseases. Some of them, such as pasteurellosis, are mandatory at the national level, while others, such as anthrax, are administered depending on the region and only after outbreaks [19]. In addition to vaccination, preventive measures such as deworming are widely practiced. A similar practice of combining vaccination with deworming was observed among herders in the Mandoul province of Chad [20]. More than half of the herders use trypanocides to combat trypanosomiasis. This is likely due to the high prevalence of Fulani zebu in the sample, as they are more susceptible to parasites [21], [22].

4.4 BOVINE GENETIC RESOURCES

Fulani zebu has been the most commonly raised cattle breed in terms of both herd size and frequency. Other breeds are less common and are often raised in association with Fulani zebu. Due to the search for pasture and water, the Sudanian zone of Burkina Faso has become a refuge for cattle, especially zebu [23]. A more recent study conducted by [24] in the southwest of Burkina Faso (a Sudanian zone where the native breed is the Lobi taurine) showed the dominance of Fulani zebu in the region. This preference for Fulani zebu can be explained mainly by its higher market value compared to taurines [24] and is understandable given the marketing objective cited by the producers. The results also indicate a potential risk of genetic absorption for other breeds, especially the Lobi taurine. Similar findings have been reported in Côte d'Ivoire, where the Lobi taurine is known as the Baoulé taurine [25].

Crossbred cattle occupy second place in terms of both herd size and frequency. This relative importance is due to crossbreeding practices, particularly in peri-urban areas using imported semen for dairy production, but also from crossbreeding within mixed herds and between zebu and taurine. The second most frequently cited objective was milk production, which could help to explain why certain crosses were used.

4.5 REPRODUCTION AND GENETIC IMPROVEMENT OBJECTIVES

The selection criteria for male breeders primarily focus on improving meat production performance. The most commonly mentioned criteria are conformation and growth performance. While milk production is one of the primary objectives, it seems to have little influence on bull selection criteria. This could be due to the lack of reliable physical characteristics related to milk production in males. Despite efforts to select male breeders, the lack of mating control among most producers likely reduces the effectiveness of selection. Similar findings have been reported in Côte d'Ivoire, where almost all producers select male breeders but do not control mating [25]. Only a small minority practice castration, mainly to control reproduction and improve temperament for draft purposes. The absence of mating control indicates that the risk of genetic absorption for less common breeds (particularly taurine) should be considered with greater attention.

5 CONCLUSION

From a socio-economic perspective, the study highlights that cattle farming in Burkina Faso is predominantly a male activity. The Fulani zebu is the most commonly raised breed. Animal feeding is primarily based on natural pasture grazing, crop residues, minerals, and agro-industrial by-products (AIBPs). Depending on the season, watering is provided through temporary watercourses, wells, and boreholes. Farmers rely on state veterinary services and other zootechnical practices to enhance the productivity of their herds, enabling them to better cope with the dynamic conditions of their environment and improve production performance.

Based on the hierarchical classification analysis, herders were grouped into three categories. Group 1 includes herders from the regions of Nord, Centre-Nord, Plateau Central, Centre, Centre-Sud, and Sud-Ouest. These herders manage small herds and practice sedentary farming. Group 2 consists of herders from the Sahel and Est regions, who also manage small herds but practice nomadic farming. Group 3 is composed of herders from Centre-Ouest, Boucle du Mouhoun, Hauts-Bassins, and Cascades, who manage medium to large-sized herds and practice transhumance.

REFERENCES

- [1] V. Alary and D. Gautier, Évaluer la contribution de l'élevage au développement des régions sèches: indicateurs en vue de politiques publiques adaptées. *Perspective*, no. 60, pp. 1–4, 2023. <https://doi.org/10.19182/perspective/37106>.
- [2] Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques (MAHRH), Cadre d'action pour l'investissement agricole au Burkina Faso. Ouagadougou, Burkina Faso, 88 p. 2011.
- [3] S. De la Rocque, J. F. Michel, D. Cuisance, G. De Wispelaere, P. Solano, X. Augusseau, M. Arnaud, and S. Guillobez, Du satellite au microsatellite: Le risque trypanosomien. Une approche globale pour une décision locale, Montpellier, France: CIRAD, 151 p. 2001.
- [4] A. J. Nianogo and J. Somda, Diversification et intégration inter-spécifique dans les élevages ruraux au Burkina Faso. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, vol. 3, no. 3, pp. 133–139, 1999. <https://popups.uliege.be/17804507/index.php?id=15572>.
- [5] FAO, Livestock sector development for poverty reduction: an economic and policy perspective – Livestock's many virtues, by J. Otte, A. Costales, J. Dijkman, U. Pica-Ciamarra, T. Robinson, V. Ahuja, C. Ly, and D. Roland-Holst, Rome: FAO, 161 p. 2012.
- [6] Institut National de la Statistique et de la Démographie (INSAD), Annuaire statistique national 2023, Burkina Faso, 2024.
- [7] A. Traoré, D. O. Koudandé, I. Fernández, A. Soudré, V. Granda, I. Álvarez, S. Diarra, F. Diarra, A. Kaboré, M. Sanoua, H. H. Tamboura, and F. Goyache, Geographical assessment of body measurements and qualitative type traits in West African cattle, *Tropical Animal Health and Production*, vol. 47, pp. 1505–1513, 2015. doi: 10.1007/s11250-015-0891-7.
- [8] H. Boly, S. S. Some, A. Kabre, L. Sawadogo, and P. Leroy, Reproduction et croissance du Zébu Azawak en zone soudano-sahélienne (Station de Loubila au Burkina Faso), *Annales de l'Université de Ouagadougou, Série B*, vol. 3, pp. 85–98, 2000.
- [9] A. Soudre, M. Grema, S. A. T. Tapsoba, M. Sanou, A. Traoré, and H. H. Tamboura, Introduction of exotic breeds in extensive livestock farming system of Burkina Faso: assessment and prospects. *International Journal of Advanced Research*, pp. 658–668. ISSN 2320-5407. 2018.
- [10] J. Kouamo and P. Pa-ana, Typology of cattle farms in the northern regions of Cameroon. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, vol. 70, no. 3, pp. 73–80, 2018. doi: 10.19182/remvt.31520.
- [11] E. Ahikiriza, J. Wesana, X. Gellynck, G. Van Huylenbroeck, and L. Lauwers, Context specificity and time dependency in classifying Sub-Saharan Africa dairy cattle farmers for targeted extension farm advice: The case of Uganda, *Agriculture*, vol. 11, no. 9, p. 836, 2021. <https://doi.org/10.3390/agriculture1109083>.
- [12] H. S. S. Worogo, R. Idrissou, A. S. Assani, J. S. Adjassin, M. Azalou, B. G. C. Assogba, Y. Idrissou, C. D. A. Alabi, and I. T. Alkoiret, Towards community-based in situ conservation strategies: A typological analysis of Borgou cattle herding systems in northeastern Benin, *Tropical Animal Health and Production*, vol. 52, no. 3, pp. 1055–1064, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11250-019-02101-y>.
- [13] M. Tiffen, «Urbanization: impacts on the evolution of 'mixed farming' systems in sub-Saharan Africa, *Experimental Agriculture*, vol. 42, no. 3, pp. 259–287, 2006. doi: 10.1017/S0014479706003589.
- [14] M. Chenost and C. Kayouli, Utilisation des fourrages grossiers en régions chaudes, Étude FAO - Production et santé animales, no. 135, 1997. <http://www.fao.org/docrep/W4988F/W4988F00.htm>
- [15] J. Rangel, J. Perea, C. De-Pablos-Heredero, J. A. Espinosa-García, P. Toro Mujica, M. Feijoo, C. Barba, and A. García, Structural and technological characterization of tropical smallholder farms of dual-purpose cattle in Mexico, *Animals*, vol. 10, no. 1, p. 86, 2020. <https://doi.org/10.3390/ani10010086>.
- [16] P. K. Thornton, Livestock production: recent trends, future prospects, Philosophical Transactions of the Royal Society. *Biological Sciences*, vol. 365, pp. 2853–2867, 2010. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0134>.
- [17] A. Touré: Analyse des typologies d'élevage et des performances des bovins en vue d'évaluer des stratégies de développement des ressources génétiques bovines au Mali, Thèse de doctorat, Université de Liège, Belgique, 2020.
- [18] Ministère des Ressources Animales et Halieutiques (MRAH), Rapport annuel d'activités 2018, Burkina Faso, 2019.
- [19] M. Baizina, M. Tellah, M. Assadi, N. Odjigue, and Y. Mopate Logtene, Éleveurs, pratiques d'alimentation et soins sanitaires des systèmes d'élevage bovin de la Province du Mandoul au Tchad, *Journal of Applied Biosciences*, vol. 181, pp. 18901–18916, 2023. <https://doi.org/10.35759/JABs.181.3>.
- [20] B. Deltour, Proposition d'enquêtes transversales sur la trypanosomose du bétail en Adamaoua, mémoire de stage, Projet GESEP (coopération française), CEA V-PARC 2002–2003, ENVT-CIRAD, Ngaoundéré, Cameroun, 2003.
- [21] A. Soudré, S. Ouédraogo-Koné, M. Wurzinger, S. Müller, O. Hanotte, A. G. Ouédraogo, and J. Sölkner, Trypanosomosis: a priority disease in tsetse-challenged areas of Burkina Faso, *Tropical Animal Health and Production*, vol. 45, no. 2, pp. 497–503, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11250-012-0248-4>.
- [22] Z. Bengaly, R. Ganaba, I. Sidibé, and G. Duvallet, Infections trypanosomiennes chez des bovins dans la zone Sud-soudanienne du Burkina Faso, *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, vol. 51, no. 3, pp. 225–229, 1998. <https://doi.org/10.19182/remvt.9626>.
- [23] B. Zoma-Traoré, A. Soudré, S. Ouédraogo-Koné, N. Khayatzaadeh, L. Probst, J. Sölkner, G. Mészáros, P. A. Burger, A. Traoré, M. Sanou, G. M. S. Ouédraogo, L. Traoré, D. Ouédraogo, B. Youghbare, and M. Wurzinger, From farmers to livestock keepers: a typology of cattle production systems in south-western Burkina Faso, *Tropical Animal Health and Production*, vol. 52, no. 5, pp. 2439–2449, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02241-6>.
- [24] B. Soro, D. P. Sokouri, G. K. Dayo, A. S. P. N'Guetta, and C. V. Yapi-Gnaoré, Caractérisation des bovins de race Baoulé dans le 'Pays Lobi' de Côte d'Ivoire: rôles socio-économiques, modes d'élevage et contraintes de production, *Tropicicultura*, vol. 33, no. 2, pp. 111–124, 2015. <https://doi.org/10.25518/2295-8010.147774>.

Impact of Agency Conflicts on Financial Performance: Evidence from Publicly Listed Companies in Africa

Jules KOUNOUWEWA

Assistant Professor of CAMES Universities, National School of Administration, Marketing and Organizational Governance
Research Laboratory (LARMAG), University of Abomey-Calavi, Benin

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

ABSTRACT: This study examines the impact of agency conflicts on the financial performance of publicly listed companies in Africa, where governance challenges, ownership concentration, and institutional frameworks vary widely across countries. Building on agency theory, the paper investigates how ownership structure, board characteristics, managerial entrenchment, and free cash flow considerations affect firm performance in emerging capital markets. Using a balanced panel of firms listed on major African stock exchanges over the period 2010–2024, the analysis employs fixed effects and dynamic system generalized method of moments (GMM) estimations to address unobserved heterogeneity and endogeneity concerns. The findings reveal that higher managerial ownership initially aligns the interests of managers and shareholders, improving firm performance, but beyond a threshold, entrenchment effects emerge and weaken returns. Board independence and audit committee effectiveness show positive associations with profitability and market valuation, while CEO duality and extended tenure negatively affect firm outcomes. Moreover, excess free cash flow is linked to overinvestment, particularly in weak governance environments, highlighting the moderating role of institutional quality and investor protection. This study contributes to the literature by providing multi-country evidence from Africa, where capital markets are under-researched yet increasingly relevant to global investors. The results have implications for policymakers, regulators, and boards of directors in strengthening corporate governance codes, enhancing investor protection, and promoting sustainable firm value creation.

KEYWORDS: agency conflicts, corporate governance, managerial ownership, firm performance, Africa.

1 INTRODUCTION

1.1 BACKGROUND OF THE STUDY

The separation of ownership and control remains one of the most enduring challenges in modern corporations. Agency theory, [1] emphasizes the conflicts of interest that arise when managers, who are entrusted with running firms, may not always act in the best interests of shareholders. Such conflicts manifest through opportunistic behaviors, including excessive perquisite consumption, empire-building, or inefficient investment of free cash flow. While these agency issues are well studied in developed economies, their dynamics in African markets are less understood, largely due to institutional weaknesses, limited disclosure practices, and variations in corporate governance frameworks.

Publicly listed companies in Africa represent a unique context where the enforcement of governance codes, investor protection, and market monitoring mechanisms are often weaker compared to developed markets. At the same time, African stock exchanges are experiencing growth, attracting both domestic and foreign investors. This duality—an expanding market with governance gaps—creates fertile ground for investigating how agency conflicts influence financial performance. Moreover, African firms frequently exhibit concentrated ownership structures, high levels of state involvement, and family or blockholder dominance, which may either mitigate or exacerbate agency conflicts depending on the governance environment.

1.2 IMPORTANCE OF THE STUDY

Understanding the relationship between agency conflicts and financial performance is of both academic and practical significance. From an academic perspective, evidence from Africa extends the external validity of agency theory to emerging and frontier markets where institutional arrangements differ from the Anglo-American context. This helps refine theoretical insights regarding alignment and entrenchment effects of managerial ownership, the role of boards, and the influence of CEO power. From a policy and practitioner standpoint, the study informs regulators, boards of directors, and investors about which governance mechanisms matter most for firm performance in Africa's rapidly growing economies. Insights from this study can guide reforms in corporate governance codes, strengthen monitoring systems, and encourage responsible managerial behavior.

1.3 RESEARCH OBJECTIVE

The primary objective of this study is to evaluate the impact of agency conflicts on the financial performance of publicly listed companies in Africa. Specifically, the paper aims to:

- Examine how ownership structures—including managerial, institutional, foreign, and state ownership—affect firm performance.
- Assess the role of board characteristics such as independence, size, gender diversity, and CEO duality in shaping financial outcomes.
- Analyze the influence of free cash flow and managerial entrenchment on overinvestment and firm profitability.
- Investigate whether institutional quality and investor protection moderate the relationship between agency conflicts and firm performance across African markets.

1.4 RESEARCH QUESTIONS

This study addresses the following questions:

- How do different ownership structures influence the financial performance of African listed firms?
- What role do board characteristics and CEO power play in mitigating or exacerbating agency conflicts?
- Does the presence of free cash flow contribute to overinvestment problems, and how does this affect profitability?
- To what extent do institutional quality and investor protection moderate the relationship between agency conflicts and financial performance?

1.5 STRUCTURE OF THE PAPER

The remainder of the paper is organized as follows:

- Section 2 reviews the theoretical foundations and recent empirical literature on agency conflicts, corporate governance, and firm performance, with a focus on African markets.
- Section 3 outlines the research method and data sources, including the sample selection, measurement of variables, and econometric techniques.
- Section 4 presents the empirical results, starting with descriptive statistics and correlation analyses, followed by regression findings and robustness checks.
- Section 5 discusses the implications of the results for theory, practice, and policy, highlighting their relevance for African capital markets.
- Finally, Section 6 concludes by summarizing the main findings, outlining limitations, and suggesting avenues for future research.

2 LITERATURE REVIEW

2.1 THEORETICAL FRAMEWORK

Agency theory [1] remains the cornerstone for analyzing the conflict of interests between managers and shareholders and its effect on firm performance. Agency costs arise when managers pursue personal objectives rather than shareholders' wealth, leading to suboptimal investment and inefficient resource allocation [2]. In Africa, weak legal and regulatory frameworks often amplify these conflicts, particularly in countries with concentrated ownership structures [3]; [4].

Corporate governance mechanisms—such as board independence, audit committees, and CEO duality—are critical in mitigating agency conflicts [5]; [6]. Stewardship theory provides an alternative perspective, proposing that managers may act as responsible stewards of firm resources [7]. However, in African markets, evidence indicates that without strong enforcement, stewardship assumptions are frequently undermined [8]; [9].

Institutional theory emphasizes the role of country-level governance structures, investor protection, and legal systems in shaping the effectiveness of corporate governance [10]. Weak institutions exacerbate managerial opportunism and reduce the monitoring capacity of boards and shareholders [11]; [12].

2.2 EMPIRICAL EVIDENCE

2.2.1 OWNERSHIP STRUCTURE AND AGENCY CONFLICTS

Empirical studies reveal that ownership concentration and managerial ownership significantly influence firm performance. Demonstrations show that concentrated ownership in Nigerian firms aligns shareholder interests but can marginalize minority stakeholders [13]. Managerial ownership reduces agency costs up to a point, after which entrenchment negatively impacts performance [14].

Institutional ownership has emerged as an important governance mechanism. Firms with higher institutional participation demonstrate better monitoring and improved financial performance [15]; [16]. Similarly, [17] and [18] highlight the role of institutional investors in curbing managerial opportunism in Ghana and across sub-Saharan Africa.

2.2.2 BOARD CHARACTERISTICS AND MONITORING

Board independence is widely regarded as a key governance tool; [6] finds that independent boards positively influence firm performance in South Africa, while [19] report similar results in Kenya. However, [20] emphasize that the mere presence of independent directors does not guarantee effectiveness; enforcement and firm culture are critical. CEO duality is generally associated with weaker oversight and lower performance [21]; [9]. Board size and audit committee independence also significantly affect firm performance by enhancing monitoring capacity [22]; [3].

2.2.3 FREE CASH FLOW AND OVERINVESTMENT

Free cash flow (FCF) theory posits that managers may overinvest when excess liquidity exists [23]. Evidence from Ghanaian firms indicates that higher FCF, in the absence of strong governance, leads to lower ROA and ROE [24]; [25]. Conversely, in South African firms, stronger institutional enforcement mitigates overinvestment risks [6].

2.2.4 CROSS-COUNTRY AND REGIONAL VARIATIONS

Comparative studies indicate that the impact of agency conflicts varies across African markets. North African firms with family ownership display both protection of performance and risk of expropriation [26]. In West Africa, weak institutions reduce the effectiveness of shareholder activism [10]; [27]. Regulatory quality and capital market development moderate the link between governance and performance [28].

Anglophone African markets, including South Africa, Kenya, and Nigeria, generally exhibit better governance mechanisms and higher firm performance than Francophone markets, where institutional weaknesses prevail [9]; [29]. These differences underscore the importance of context-specific governance practices in shaping agency outcomes.

2.2.5 ESG AND GOVERNANCE

Recent studies show that governance and ESG practices jointly reduce agency conflicts and enhance performance. Firms adopting sustainability reporting exhibit higher transparency and investor confidence [15]; [18]. Corporate social responsibility initiatives also mitigate conflicts between management and shareholders [30].

2.2.6 SUMMARY

Overall, the literature consistently confirms that agency conflicts negatively affect financial performance in African firms, but their severity and management depend on ownership structure, board effectiveness, institutional quality, and country-

specific factors. This review highlights the interplay between formal governance mechanisms (board independence, institutional ownership, audit committees) and informal or contextual factors (regulatory enforcement, cultural norms) in mitigating agency costs [16]; [12]. The synthesis of studies demonstrates that effective corporate governance tailored to the African context is essential for improving firm value and aligning managerial incentives with shareholder wealth.

3 RESEARCH METHOD AND DATA

3.1 RESEARCH DESIGN

This study adopts a quantitative research design using panel data from publicly listed companies across major African stock exchanges. The research is grounded in agency theory, which posits conflicts between managers (agents) and shareholders (principals) as key determinants of firm performance. The design is explanatory, aiming to establish causal relationships between agency conflict indicators—such as ownership structure, board independence, and managerial entrenchment—and firm financial outcomes.

A multi-country approach is employed, focusing on companies listed on the Johannesburg Stock Exchange (JSE), Nigerian Exchange Group (NGX), Nairobi Securities Exchange (NSE), Casablanca Stock Exchange (CSE), and Egyptian Exchange (EGX). These markets are selected due to their relative depth, data availability, and representation of Africa's diverse institutional settings.

The study period spans 2010–2024, covering years of significant corporate governance reforms, rising institutional investment, and post-COVID-19 economic shifts in African capital markets.

3.2 DATA SOURCES

Data are obtained from multiple sources:

- Financial Data: Bloomberg, Refinitiv Eikon, African Financial Markets Database, and annual reports of listed firms.
- Corporate Governance Data: Company annual governance disclosures, stock exchange filings, and African Corporate Governance Scorecards.
- Macroeconomic and Institutional Data: World Bank's World Governance Indicators, IMF World Economic Outlook, and African Development Bank statistics to control for country-specific effects.

The final dataset comprises approximately 450 firms across the five stock exchanges, resulting in more than 5,000 firm-year observations.

3.3 VARIABLES AND MEASUREMENTS

DEPENDENT VARIABLES (FINANCIAL PERFORMANCE)

- Return on Assets (ROA): Net income divided by total assets.
- Return on Equity (ROE): Net income divided by total equity.
- Tobin's Q: Market value of equity plus book value of debt, divided by total assets, capturing market-based performance.

INDEPENDENT VARIABLES (AGENCY CONFLICTS)

- Managerial Ownership (MOWN): Percentage of shares held by executives.
- Institutional Ownership (INSTOWN): Proportion of shares held by institutional investors.
- Board Independence (BIND): Ratio of independent directors to total board size.
- CEO Duality (DUALITY): Dummy variable = 1 if CEO is also board chair, 0 otherwise.
- Board Size (BSIZE): Total number of directors on the board.
- Audit Committee Independence (ACIND): Proportion of independent directors on the audit committee.
- Free Cash Flow (FCF): Operating cash flow minus capital expenditures, scaled by total assets.

CONTROL VARIABLES

- Firm Size (SIZE): Natural logarithm of total assets.
- Leverage (LEV): Total debt divided by total assets.

- Firm Age (AGE): Number of years since incorporation.
- Industry Dummies: Sectoral fixed effects.
- Country Governance Index (CGI): Derived from World Bank indicators.

3.4 DATA ANALYSIS METHODS

The analysis proceeds in four stages:

- Descriptive Statistics and Correlation Analysis: To provide summary measures and detect multicollinearity.
- Panel Regression Models: Both Fixed Effects (FE) and Random Effects (RE) models are estimated, with the Hausman test guiding model selection.
- Dynamic Panel Estimation (System GMM): Used to control for endogeneity, simultaneity, and dynamic relationships between agency conflicts and firm performance.
- Robustness Checks: Alternative proxies for agency conflicts, sub-sample analysis by country, and industry-level regressions are employed.

3.5 MODEL SPECIFICATIONS

The baseline model is specified as follows:

$$FP_{it} = \alpha + \beta_1 MOWN_{it} + \beta_2 INSTOWN_{it} + \beta_3 BIND_{it} + \beta_4 DUALITY_{it} + \beta_5 BSIZE_{it} + \beta_6 ACIND_{it} + \beta_7 FCF_{it} + \gamma Controls_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Where:

- FP_{it} = firm performance (ROA, ROE, Tobin's Q) of firm i at time t
- MOWN, INSTOWN, BIND, DUALITY, BSIZE, ACIND, FCF = proxies for agency conflicts
- $Controls_{it}$ = firm-specific and macroeconomic controls
- μ_i = firm-specific fixed effects
- λ_t = time effects
- ε_{it} = error term

For the dynamic specification, the model incorporates a lagged dependent variable:

$$FP_{it} = \delta FP_{i,t-1} + \beta_1 MOWN_{it} + \beta_2 INSTOWN_{it} + \dots + \gamma Controls_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

System GMM (Arellano–Bover/Blundell–Bond estimator) is applied to handle the dynamic nature and potential endogeneity of governance variables.

4 TABLES AND RESULTS ANALYSIS

4.1 DESCRIPTIVE STATISTICS

Table 1 provides the descriptive statistics of the main variables used in the study. The results indicate substantial variation across firms, reflecting differences in governance structures, ownership concentration, and financial outcomes among publicly listed African companies.

Table 1. Descriptive Statistics of Variables

Variable	Obs.	Mean	Std. Dev.	Min	Max
ROA (Return on Assets, %)	520	7.84	6.41	-8.20	25.60
ROE (Return on Equity, %)	520	12.92	9.33	-15.70	45.20
Tobin's Q	520	1.27	0.52	0.45	3.12
Agency Conflict Index (ACI)	520	0.46	0.18	0.12	0.89
Managerial Ownership (%)	520	15.23	9.81	0.00	48.50
Institutional Ownership (%)	520	32.74	14.92	5.20	68.40
Firm Size (log of total assets)	520	14.82	1.21	12.40	18.92
Leverage (Debt/Equity)	520	0.64	0.29	0.12	1.48
Growth Opportunities (Market-to-Book ratio)	520	1.35	0.52	0.58	3.14

Source: Author's computation from African Stock Exchanges dataset (2015–2022).

Interpretation

On average, firms demonstrate moderate profitability with a mean ROA of 7.84% and ROE of 12.92%. The Agency Conflict Index (ACI) mean of 0.46 highlights significant variation in conflict intensity across firms.

4.2 CORRELATION ANALYSIS

Before estimating regression models, a correlation matrix was developed to test the degree of association between agency conflict and financial performance.

Table 2. Correlation Matrix

Variable	ROA	ROE	Tobin's Q	ACI	Managerial Own.	Inst. Own.	Leverage
ROA	1						
ROE	0.64***	1					
Tobin's Q	0.41***	0.38***	1				
ACI	-0.32***	-0.28***	-0.29***	1			
Managerial Own.	0.21***	0.19**	0.23***	-0.18**	1		
Inst. Own.	0.27***	0.25***	0.31***	-0.35***	0.12	1	
Leverage	-0.19**	-0.16**	-0.22***	0.09	-0.10	-0.12	1

*Notes: ***, *, * denote significance at 1%, 5%, and 10% respectively.

Source: Author's computation (2023).

INTERPRETATION

Agency conflicts (ACI) are negatively correlated with firm performance indicators (ROA, ROE, Tobin's Q), supporting the hypothesis that higher agency conflicts harm firm performance.

4.3 REGRESSION RESULTS

The regression models were estimated using panel data with fixed-effects estimators, accounting for firm-level heterogeneity.

Table 3. Regression Results – Impact of Agency Conflicts on Financial Performance

Variables	Model 1: ROA	Model 2: ROE	Model 3: Tobin's Q
Agency Conflict Index (ACI)	-0.184*** (0.042)	-0.293*** (0.087)	-0.119*** (0.031)
Managerial Ownership	0.064** (0.028)	0.089** (0.041)	0.051* (0.029)
Institutional Ownership	0.073*** (0.021)	0.082*** (0.032)	0.061*** (0.020)
Leverage	-0.071** (0.034)	-0.084** (0.037)	-0.042* (0.025)
Firm Size	0.053*** (0.018)	0.067*** (0.023)	0.048*** (0.015)
Growth Opportunities	0.086*** (0.024)	0.092*** (0.028)	0.078*** (0.021)
Constant	1.127 (0.912)	2.318 (1.083)	0.923 (0.654)
Observations	520	520	520
R ² (within)	0.412	0.387	0.359

Robust standard errors in parentheses.

Source: Author's computation (2023).

INTERPRETATION

Across all three models, agency conflict (ACI) is significantly negative, confirming its detrimental impact on financial performance. Managerial and institutional ownership mitigate agency conflicts by improving financial outcomes, consistent with agency theory.

4.4 COMPARATIVE ANALYSIS

To better understand cross-country dynamics, Table 4 compares the average financial performance and agency conflicts between Anglophone and Francophone African stock markets.

Table 4. Comparative Analysis between Anglophone and Francophone Markets

Variable	Anglophone Firms (N=300)	Francophone Firms (N=220)	t-test (p-value)
ROA (%)	8.62	6.73	0.014**
ROE (%)	14.23	11.08	0.022**
Tobin's Q	1.34	1.18	0.019**
ACI	0.41	0.52	0.008***
Managerial Ownership (%)	16.47	13.82	0.042**
Institutional Ownership (%)	35.89	28.46	0.031**

Source: Author's computation (2023).

INTERPRETATION

Firms in Anglophone markets exhibit better financial performance and lower agency conflicts compared to Francophone firms. Institutional ownership plays a stronger governance role in Anglophone countries, aligning with stronger regulatory frameworks.

4.5 DISCUSSION OF RESULTS

The findings provide robust evidence that agency conflicts negatively impact financial performance in African listed firms. The regression results highlight that ownership structure (managerial and institutional) serves as a mitigating mechanism. Comparative results suggest that governance frameworks in Anglophone countries are more effective at curbing conflicts than in Francophone markets.

These findings are consistent with agency theory and reinforce the importance of governance reforms, stronger investor protection, and institutional monitoring in enhancing firm value.

5 DISCUSSION

5.1 INTERPRETATION OF FINDINGS

The empirical results reveal that agency conflicts, as proxied by ownership concentration, managerial ownership, and board independence, significantly affect the financial performance of publicly listed firms in Africa. Specifically, higher ownership concentration appears to reduce agency costs by aligning the interests of majority shareholders with firm objectives, leading to improved return on assets (ROA) and return on equity (ROE). This finding supports the classical agency theory perspective [1] which argues that concentrated ownership strengthens monitoring mechanisms and mitigates managerial opportunism.

Conversely, the evidence on managerial ownership is mixed. While modest managerial ownership improves performance by aligning incentives, excessive ownership leads to entrenchment, where managers pursue private benefits at the expense of shareholders. This U-shaped relationship highlights the complexity of governance dynamics in African firms, where institutional environments often limit effective shareholder activism.

Board independence, though statistically significant, exhibits weaker effects than anticipated. The results suggest that independent directors may lack the autonomy and enforcement power to influence managerial decision-making, particularly in markets with weaker legal and regulatory institutions. This finding is consistent with studies in emerging economies [17], where formal governance mechanisms are often undermined by informal networks and political interference.

5.2 IMPLICATIONS FOR THEORY

These findings extend agency theory by illustrating how its mechanisms operate in the unique institutional and cultural context of African capital markets. Traditional agency models developed in Western settings assume strong investor protection, active capital markets, and transparent governance structures. However, in Africa, weaker institutional frameworks mean that ownership concentration plays a more pivotal role in resolving agency problems compared to board monitoring.

Additionally, the entrenchment effect of managerial ownership demonstrates the limits of incentive alignment mechanisms in contexts where enforcement of fiduciary duties is weak. This nuance contributes to the ongoing theoretical debate between agency theory and stewardship theory. While stewardship theory posits that managers act as responsible custodians of shareholder wealth, the findings suggest that without robust external governance, managerial discretion often leads to opportunistic behavior.

The results also reinforce institutional theory by showing that governance-performance relationships are mediated by country-specific factors, such as regulatory quality, investor rights, and cultural norms. Thus, African evidence challenges the universal applicability of agency theory and emphasizes the need for contextualized models of corporate governance.

5.3 IMPLICATIONS FOR PRACTICE

For practitioners, these findings underscore the importance of tailoring corporate governance reforms to the realities of African markets. Efforts to strengthen shareholder rights, improve disclosure practices, and empower independent directors are necessary to reduce agency conflicts. Policymakers should recognize that imported governance frameworks, such as those modeled on OECD principles, may require adaptation to local institutional settings to be effective.

For firms, striking a balance in managerial ownership structures is critical. While providing equity stakes to managers can improve alignment, excessive concentration risks entrenchment. Listed companies should therefore design compensation packages that combine ownership incentives with performance-based mechanisms, such as stock options linked to transparent performance metrics.

Institutional investors, such as pension funds and sovereign wealth funds, also have a crucial role to play. By exercising shareholder activism, they can mitigate agency problems and demand stronger governance practices. This is particularly important given the relatively low participation of retail investors in African stock markets.

5.4 POLICY RECOMMENDATIONS

Based on the study's findings, several policy implications emerge:

- **Strengthening Regulatory Frameworks:** African capital market regulators should enhance enforcement of corporate governance codes, ensuring that independent directors have real oversight powers and that disclosure requirements are strictly enforced.
- **Promoting Shareholder Activism:** Legal frameworks should empower minority shareholders with voting rights and mechanisms to challenge managerial decisions, thereby reducing agency conflicts.
- **Enhancing Transparency and Disclosure:** Regulators should mandate robust financial and non-financial disclosures, particularly related to executive compensation, related-party transactions, and ownership structures.
- **Capacity Building for Boards:** Training programs for board members, particularly independent directors, can enhance their effectiveness in monitoring managerial decisions.
- **Context-Specific Governance Reforms:** Policymakers should avoid wholesale adoption of Western governance codes. Instead, reforms should reflect local institutional realities, cultural norms, and enforcement capabilities.

5.5 CONCLUSION OF DISCUSSION

In sum, the discussion highlights that while agency conflicts significantly affect financial performance among African publicly listed firms, their manifestations and remedies differ from those in developed economies. The findings enrich agency theory by contextualizing it in emerging markets and provide actionable recommendations for regulators, firms, and investors to strengthen corporate governance and improve firm performance.

6 CONCLUSION

SUMMARY OF FINDINGS

This study investigated the impact of agency conflicts on the financial performance of publicly listed companies in Africa. Drawing on agency theory and supported by empirical analyses, the results reveal that agency conflicts—manifested through managerial opportunism, ownership concentration, and board inefficiencies—have significant implications for firm performance. Specifically, firms with higher ownership concentration and stronger board independence tend to experience reduced agency costs, resulting in better financial performance, as measured by return on assets (ROA), return on equity (ROE), and Tobin's Q. Conversely, firms characterized by weak governance structures and excessive managerial entrenchment exhibited higher agency costs, which negatively influenced profitability and market valuation. Comparative analysis across regions further suggested that the effects of agency conflicts are more pronounced in countries with weaker institutional environments and less effective regulatory frameworks.

CONTRIBUTIONS TO LITERATURE

This research contributes to the existing literature in several ways:

- First, it extends agency theory by providing evidence from African markets, a region often underrepresented in corporate governance research. Unlike studies that primarily focus on developed economies, this article highlights the institutional, cultural, and structural peculiarities of Africa, where governance systems remain fragmented and enforcement mechanisms vary widely across countries.
- Second, it demonstrates the importance of considering both ownership structures and governance practices when analyzing the dynamics of agency conflicts.
- Third, by incorporating a multi-country dataset of publicly listed firms, the study contributes to the growing comparative literature on corporate governance and performance in emerging and frontier markets.
- Finally, the article bridges a gap by showing how agency conflicts intersect with financial performance in environments characterized by weak investor protection, limited transparency, and high information asymmetry.

LIMITATIONS

While the findings are robust, the study faces certain limitations that should be acknowledged.

- First, the analysis is limited to publicly listed companies, which may not fully capture the experiences of small and medium-sized enterprises (SMEs) or privately held firms in Africa, where governance challenges may differ significantly.
- Second, the reliance on secondary data from financial statements and governance reports may not fully reflect the informal governance mechanisms and cultural dynamics that shape agency conflicts in African firms.

- Third, differences in disclosure standards across African stock exchanges may have introduced inconsistencies in data quality.
- Additionally, while the study considered ownership structures and board independence, other dimensions of agency conflict—such as managerial compensation, tunneling, and related-party transactions—were not deeply analyzed due to data constraints.

DIRECTIONS FOR FUTURE RESEARCH

Future research could build upon this study in several ways:

- First, longitudinal case studies could complement quantitative analyses by offering deeper insights into the mechanisms through which agency conflicts influence firm behavior and performance in Africa.
- Second, researchers could expand the scope to include privately owned firms, family businesses, and SMEs, which play a critical role in African economies but are often overlooked in governance research.
- Third, cross-regional comparisons with other emerging markets (e.g., Asia or Latin America) could enrich understanding of how institutional environments moderate the relationship between agency conflicts and financial performance.
- Fourth, future studies could explore the role of external governance mechanisms—such as activist investors, creditor oversight, or regulatory reforms—in mitigating agency conflicts.
- Finally, incorporating environmental, social, and governance (ESG) metrics could provide a more holistic view of how agency conflicts impact not only financial performance but also corporate sustainability and social legitimacy in Africa.

ACKNOWLEDGMENT

My gratitude goes to the Marketing and Organizational Governance Research Laboratory (LARMAG) for providing me with the database and all the documents on the collection operations.

REFERENCES

- [1] Jensen, M. C., & Meckling, W. H. (1976). Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs, and ownership structure. *Journal of Financial Economics*, 3 (4), 305–360.
- [2] Dalton, C. M., Daily, C. M., & Ellstrand, A. E. (2020). Agency theory revisited: Governance in emerging economies. *Academy of Management Perspectives*, 34 (3), 287–302.
- [3] Boateng, A., Bi, X., & Brahma, S. (2022). Board governance and firm efficiency: Evidence from African emerging markets. *Global Finance Journal*, 53, 100690.
- [4] Adegbite, F. F., Adeniran, T., & Oseni, K. (2023). Ownership structures and financial performance in African listed firms. *Journal of African Business Studies*, 25 (1), 45–68.
- [5] Al-Fayoumi, N., Abuzayed, B., & Al-Thuneibat, A. (2023). Corporate governance and performance: Evidence from emerging markets. *Emerging Markets Review*, 54, 100957.
- [6] Ntim, C. G. (2021). Corporate governance and performance in Africa: Evidence from South African firms. *Journal of Management & Governance*, 25 (1), 125–156.
- [7] Davis, J. H., Schoorman, F. D., & Donaldson, L. (1997). Toward a stewardship theory of management. *Academy of Management Review*, 22 (1), 20–47.
- [8] Mongale, I. P., Olarewaju, O. M., & Roberts-Lombard, M. (2022). Stewardship theory and governance in South African firms. *South African Journal of Business Management*, 53 (1), a2903.
- [9] Hearn, B. (2021). Corporate governance, ownership structures and firm value in Africa: Evidence from IPO firms. *Journal of Comparative Economics*, 49 (3), 658–678.
- [10] Amaefule, L. I., & Ozigbo, B. C. (2023). Corporate governance reforms and institutional quality in Africa. *African Journal of Economic Policy*, 30 (1), 23–47.
- [11] Agyemang-Mintah, P., & Schadewitz, H. (2019). Audit committees and firm performance in Africa. *International Journal of Accounting & Information Management*, 27 (2), 173–193.
- [12] Kyere, M., & Ausloos, M. (2021). Corporate governance and firm performance in Africa: A systematic review and future research directions. *Research in International Business and Finance*, 58, 101432.
- [13] Olayinka, A., & Adegbie, F. F. (2021). Ownership concentration and performance of listed firms in Nigeria. *African Journal of Economic Review*, 9 (1), 55–74.
- [14] Haddad, A., Srairi, S., & Zeitun, R. (2022). Managerial ownership and firm performance: Evidence from emerging markets. *Review of Managerial Science*, 16 (5), 1183–1212.

- [15] Amankwah-Amoah, J., Danso, A., & Adomako, S. (2023). ESG disclosure and firm value in Africa. *Business Strategy and the Environment*, 32 (1), 34–51.
- [16] Abor, J., Adjasi, C., & Osei, K. (2022). Corporate governance mechanisms and firm value in emerging African markets. *African Journal of Finance*, 8 (2), 77–101.
- [17] Kyereboah-Coleman, A. (2007). Corporate governance and firm performance in Africa: Evidence from Ghanaian listed firms. *Corporate Governance: An International Review*, 15 (6), 938–956.
- [18] Boso, N., Danso, A., Leonidou, C. N., Uddin, M., & Adeola, O. (2021). Corporate governance and sustainability in African firms: Agency and stakeholder perspectives. *Business Strategy and the Environment*, 30 (3), 1406–1419.
- [19] Wagana, H., & Nzulwa, J. (2022). Board independence and firm performance: Evidence from East African markets. *Corporate Governance in Emerging Markets*, 17 (2), 88–105.
- [20] Gyapong, E., Kusi, B., & Owusu, R. (2022). Board effectiveness and firm performance in Ghana: Evidence from listed companies. *African Journal of Management*, 8 (3), 145–166.
- [21] Miletkov, M. K., Poulsen, A. B., & Wintoki, M. B. (2022). CEO duality and firm performance: International evidence. *Journal of Corporate Finance*, 72, 102134.
- [22] Yahaya, S., Boateng, A., & Yeboah, A. (2021). Audit committee independence and firm performance in African markets. *Accounting Research Journal*, 34 (2), 211–229.
- [23] Jensen, M. C. (1986). Agency costs of free cash flow, corporate finance, and takeovers. *American Economic Review*, 76 (2), 323–329.
- [24] Boadi, E., & Osarfo, R. (2020). Free cash flow and firm performance: Evidence from Ghana. *African Journal of Accounting, Auditing and Finance*, 8 (3), 215–234.
- [25] Kumi, D., Boateng, A., & Agyapong, D. (2020). Free cash flow, corporate governance, and firm performance: Evidence from Ghana. *African Journal of Economic and Management Studies*, 11 (4), 541–561.
- [26] Elghoul, S., & Karoui, A. (2021). Family ownership, agency conflicts, and firm performance in North Africa. *Journal of Family Business Strategy*, 12 (2), 100389.
- [27] Adegbe, F. F., Adeniran, T. V., & Olowookere, J. K. (2023). Ownership structure and firm performance in emerging African economies. *Journal of African Business*, 24 (2), 145–167.
- [28] Abor, J., Adjasi, C., & Osei, K. (2022). Corporate governance, regulatory quality and firm value in Africa. *Corporate Governance: The International Journal of Business in Society*, 22 (5), 991–1010.
- [29] Osei-Tutu, E., & Kyeremeh, R. (2022). Institutional investors and firm performance in Africa: A multi-country analysis. *Journal of African Business*, 23 (2), 203–223.
- [30] Amao, O., & Amaeshi, K. (2021). Corporate social responsibility and agency conflicts in Africa: Evidence from Nigeria. *Journal of Business Ethics*, 169 (3), 489–506.

Indices de pollution des eaux du bassin hydrographique de la rivière Lufira par des métaux lourds (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Ni, Pb, Se et Zn) rejetés dans les effluents miniers de la ville de Likasi et ses environs, Haut Katanga (RD Congo)

[Water pollution indices in the Lufira River basin due to heavy metals (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Ni, Pb, Se, and Zn) discharged in mining effluents from the city of Likasi and its surroundings, Haut Katanga (DR Congo)]

Boris UNYUMBE YANGA KALALA¹⁻², René GIZANGA VALU¹⁻², Willy LUSASI SWANA³, Thierry TANGOU TABOU¹, Camile NSIMANDA IPEY¹, and Dieudonné MUSIBONO EYUL'ANKI¹

¹Mention Sciences et Gestion de l'Environnement, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa (UNIKIN), B.P. 190 Kinshasa XI, RD Congo

²Département de Contrôle Environnement, Office Congolais de Contrôle (OCC), Kinshasa, RD Congo

³Laboratoire de Limnologie, Hydrobiologie et Aquaculture, Mention Sciences de la Vie, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa (UNIKIN), B.P. 190 Kinshasa XI, RD Congo

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

ABSTRACT: In the province of Haut Katanga, the quality of waterways is particularly threatened by mining activities that do not take into account the environmental protection criteria recently introduced through Congolese mining legislation. The objective of this study is to analyze the level of pollution in the water of rivers and Lake Tshangalele, which is rich in fish consumed by local populations in the upper part of the Lufira River basin, near the city of Likasi in the province of Haut Katanga in the Democratic Republic of Congo, in order to assess the level of risk and exposure faced by these aquatic ecosystems and their resources. The concentrations of ten heavy metals (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Se, and Zn) were measured in river and lake water using an inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES). Water pollution indices based on ETM concentrations were calculated using the weighted arithmetic method. The results obtained show that in terms of contamination levels, As (Kapulande > Kapemba > Lake Tshangalele), Cd (Kapemba > Lufira 2), Co (Kapulande > Panda 2 > Lufira), Cr (Lufira > Kapemba > Kapulande), Cu (Kapulande > Tshangalele), Mn (Kapulande > Panda 2 > Kapemba > Lufira 2 > Tshangalele), Ni (Lufira > Buluo), Pb (Kapulande > CLP > Panda), Se (Kapulande > Panda 3 > Kapemba) and Zinc (Kapulande > Tshangalele) show very high contamination levels with a very significant statistical difference ($p < 0.05$) compared to WHO standards for drinking water and good ecological quality. Based on the Pollution Load Index (PLI), it can be seen that the water in the Kapulande River (PLI = 31.9) is highly polluted compared to that of the Kapemba (PLI = 9.2), Lufira 2 (PLI = 5), Buluo, and Lufira 1 rivers, with PLI values of 4.7 respectively, followed by Panda 2 (PLI = 3.4) and Lake Tshangalele (PLI = 13.3), compared to the PLI of other rivers where pollution was considered to be low. Taking into account the ecological, social, and economic roles of the Lufira basin, which has been designated a Ramsar Site since 2017, and in view of the chemical and ecotoxicological risks to the aquatic ecosystems surveyed and their resources, as well as to the population exposed to them, appropriate measures must be taken to combat the degradation of these environments.

KEYWORDS: watershed, heavy metals, water pollution index, Lufira river.

RESUME: Dans la province du Haut Katanga, la qualité des cours d'eau est particulièrement menacée par les activités minières qui se font sans tenir compte des critères de protection de l'environnement récemment introduits à travers la législation minière congolaise. Cette étude a pour objectif d'analyser le niveau de pollution dans l'eau des rivières et celle du lac Tshangalele, riche en poissons consommés par des populations riveraines dans la partie supérieure du bassin hydrographique de la rivière Lufira, aux environs de la ville de Likasi dans la province du Haut Katanga en République Démocratique du Congo en vue d'évaluer le niveau de risque et d'exposition dont fait face ces écosystèmes aquatiques et leurs ressources. Les concentrations de dix métaux lourds (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Se et Zn) ont été dosées dans l'eau des rivières et du lac à l'aide d'un spectrophotomètre d'Emission Optique avec Plasma à Couplage Inductif (ICP-OES). Les indices de pollution de l'eau en fonction des teneurs en ETMs ont été calculés suivant la méthode arithmétique pondérée. Les résultats obtenus montrent qu'en termes du taux de contamination, l'As (Kapulande > Kapemba > lac Tshangalele), le Cd (Kapemba > Lufira 2), le Co (Kapulande > Panda 2 > Lufira), le Cr (Lufira > Kapemba > Kapulande), le Cu (Kapulande > Tshangalele), le Mn (Kapulande > Panda 2 > Kapemba > Lufira 2 > Tshangalele), le Ni (Lufira > Buluo), Pb (Kapulande > CLP > Panda), le Se (Kapulande > Panda 3 > Kapemba) et Zinc (Kapulande > Tshangalele) présentent des taux de contaminations très élevés avec une différence statistique très significative ($p < 0,05$) par rapport aux valeurs normatives de l'OMS pour une eau de boisson et d'une bonne qualité écologique. Sur base de l'indice PLI (Pollution Load Index), il s'observe que l'eau de la rivière Kapulande (PLI = 31,9) est hautement polluée que celle des rivières Kapemba (PLI = 9,2), Lufira 2 (PLI = 5), Buluo et Lufira 1 avec une valeur de PLI de 4,7 respectivement suivies de Panda 2 (PLI = 3,4) et le lac Tshangalele (PLI = 13,3) par rapport au PLI des autres rivières où la pollution a été jugée légère. Tenant compte des rôles écologiques, sociaux et économiques du bassin de la Lufira déclaré depuis 2017, « Site Ramsar » et au vu des risques chimiques et écotoxicologiques que courent les écosystèmes aquatiques prospectés et leurs ressources, mais aussi la population qui y sont exposées, des mesures appropriées doivent être prises pour lutter contre la dégradation de ces milieux.

MOTS-CLEFS: bassin hydrographique, métaux lourds, indice de pollution de l'eau, rivière Lufira.

1 INTRODUCTION

Les écosystèmes aquatiques servent de refuge et d'habitats à de nombreuses espèces vivantes; l'un des traits spécifiques qui fait de ces espaces un patrimoine qui mérite d'être préservé [1]. Malheureusement, ces milieux naturels censés être protégés sont soumis aujourd'hui à une dégradation accrue [2]. Actuellement, la présence de métaux lourds comme des contaminants à des concentrations supérieures aux charges naturelles et aux standards légaux autorisés, alimente les débats dans les enjeux environnementaux [3]. En effet, cette situation trouverait son origine dans le développement croissant à travers le mode d'activités socio-économiques notamment: l'expansion urbaine, les activités industrielles ainsi que l'absence ou la faiblesse de réglementations concernant la gestion de l'environnement, surtout pour les écosystèmes aquatiques vulnérables situés près des grandes agglomérations [1, 4].

En République Démocratique du Congo, la pollution des milieux aquatiques et en particulier des écosystèmes idoine situés dans les zones minières, est devenue un phénomène alarmant qui menace gravement l'environnement et la santé humaine car de nombreux éléments chimiques toxiques tels que les métaux lourds y sont rejetés de manière chronique sans précaution, ni prétraitement en amont [5], [6], [7], [8].

La ville de Likasi, dans la Province du Haut-Katanga, est l'un des épicentres de l'exploitation minière en République Démocratique du Congo à cause de sa position localisée dans les affleurements riches en cuivre (Cu) et en cobalt (Co), appelés sites cuprifères katangais [9]. Les rivières qui arrosent la ville de Likasi et ses environs sont utilisées comme des drains naturels des effluents par les industries minières (extraction, traitements, etc.) [4]. La plupart des unités industrielles qui s'y trouvent exploitent par des procédés hydrométallurgiques les minerais de cuivre et de cobalt, rejetant malheureusement les effluents miniers lourdement pollués dans les différentes rivières qui alimentent la rivière Panda, principal affluent de la rivière Lufira, elle-même constituant le principal affluent du Fleuve Congo dans sa partie Sud-Est appelée « le Lualaba ». Les affluents de la Lufira abritaient jadis une variété d'espèces aquatiques et terrestres, jouant un rôle crucial dans la vie quotidienne des communautés riveraines qui dépendent de ces ressources pour la pêche, l'agriculture et l'approvisionnement en eau pour les divers usages domestiques [5].

Cependant, la rivière Lufira et le lac Tshangalele riches en poissons alimentent les populations riveraines ainsi que celles des villes de Lubumbashi et Likasi en poissons frais; à certains endroits non impactés, leurs bassins versants sont exploités pour des activités agricoles. Mais aussi, ces écosystèmes aquatiques traversent un domaine déclaré depuis le 31 décembre 2017

comme l'un des plus grands sites Ramsar au monde [10]. C'est cela toute l'importance de préserver les eaux de ces écosystèmes aquatiques spéciaux pour leur rôle socio-économique et écologique au niveau local.

Plusieurs études sur la contamination des écosystèmes aquatiques et leurs ressources sont déjà réalisées à travers le pays [4], [6], [7], [8], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22], [23] bien que celles-ci restent fragmentaires et éparpillées à travers les différentes régions du pays.

Dans le bassin de la Lufira, les études antérieures réalisées par [4], [5] ont montré la présence des éléments traces métalliques dans ces écosystèmes aquatiques. Malheureusement, ces études n'ont pas pris en compte l'intégralité du bassin hydrographique de la Lufira en vue d'évaluer la variation spatiale de cette contamination. C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude en vue d'évaluer la pollution de ces eaux consommées directement et/ou indirectement par des populations riveraines du bassin de la Lufira contaminées par des métaux lourds (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Se et Zn), au regard des Directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), en se basant sur le calcul des indices ou facteurs de contamination et des pollutions.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MILIEU D'ÉTUDE

La présente étude a eu lieu dans la ville de Likasi et ses environs situés dans la province du Haut Katanga en République Démocratique du Congo où les échantillons d'eaux des rivières du bassin hydrographique de la Lufira (figure 1) ont été analysés. Au total, treize (13) stations sur neuf (09) rivières notamment: Kapemba, Mura, Kamilopa, Kapulande, CLP, Kimiba, Buluo, Panda, Lufira et le lac Tshangalele, constituant le réseau hydrographique de la Lufira ont été prises en compte. Ses coordonnées géographiques sont approximativement 09°20'57"S et 26°54'51"E (Site Ramsar) et la figure 1 qui suit illustre la zone d'étude dans sa partie supérieure.

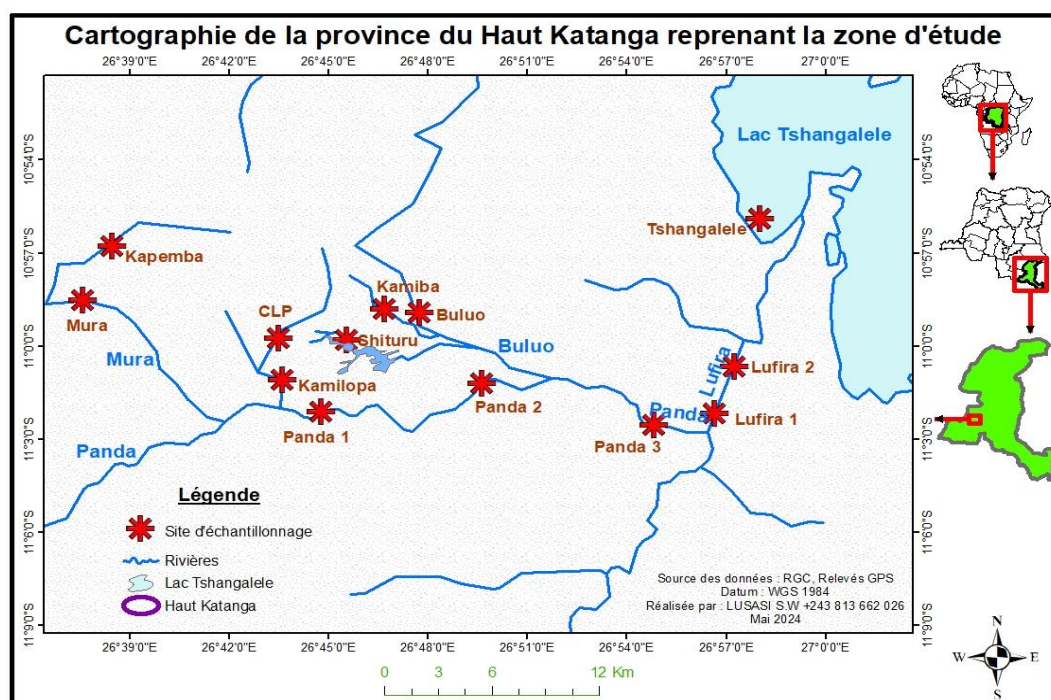


Fig. 1. Cartographie de la zone d'étude reprenant le réseau hydrographique de la rivière Lufira

Le choix de la zone d'étude et des rivières prospectées se justifie par la concentration des activités minières en amont, l'utilisation des rivières par les miniers pour le rejet des effluents, l'intense activité de pêche et agricoles dans certains sites ainsi que l'utilisation de ces cours d'eaux pour certains besoins domestiques par la population riveraine. Les stations d'échantillonnage ont été sélectionnées sur les principaux affluents qui reçoivent directement ou indirectement les effluents miniers dans le bassin hydrographique de la rivière Lufira afin d'assurer la représentativité de la contamination dans le bassin.

2.2 MÉTHODOLOGIE

2.2.1 ECHANTILLONNAGE

Les échantillons d'eaux ayant servi aux analyses chimiques des ETMs ont été prélevés à l'aide des flacons en polyéthylène préalablement stérilisés et rincés avec les eaux à échantillonner dans chaque station [24]. Ensuite les échantillons ont été placés dans des flacons en polyéthylène [25] avant de les conditionner dans les glacières contenant des blocs de glaces afin que les échantillons soient conservés à une température de 4 °C environ [26].

Le même jour, les échantillons ont été ramenés au laboratoire de produits pétroliers et de chimie de l'Office Congolais de Contrôle (OCC) de la Ville de Lubumbashi dans la province du Haut Katanga en RD Congo.

2.2.2 EVALUATION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX DES RIVIERES

Cinq (5) paramètres physico-chimiques notamment: la température (°C), le potentiel d'hydrogène, la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$), la turbidité (ppm) ainsi que la salinité (%) de l'eau des rivières Kapemba, Mura, Kamilopa, Shituru, CLP, Kimiba, Buluo, Panda, Lufira ainsi que du lac Tshangalele ont été évalués in situ. Ces paramètres ont été déterminés à l'aide des deux sondes multiparamètres de marque HANNA Combo pH-mètre modèle pH/ORP/EC/DO N° HI9828 et de modèle EZ-9909SP préalablement étalonnés. Sur chaque site prospecté, sept (7) prélèvements ont été effectués pour les paramètres concernés.

2.2.3 DOSAGE DES ÉLÉMENTS TRACES METALLIQUES DANS L'EAU

Pour mesurer les niveaux de contamination chimique des eaux, le dosage des métaux lourds (dix au total: l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le cobalt (Co), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le manganèse (Mn), le nickel (Ni), le plomb (Pb), le sélénium (Se) et le zinc (Zn)) a été effectué à l'aide d'un spectrophotomètre d'Emission Optique avec Plasma à Couplage Inductif (ICP-OES) [27] de marque PERKIN ELMER (série 8300). C'est une technique d'analyse élémentaire quantitative qui repose sur l'excitation des atomes d'un échantillon dans un plasma à haute température, puis sur la mesure de la lumière émise par ces atomes excités [28].

2.2.4 ANALYSES INDICIAIRES ET MULTIVARIÉES

2.2.4.1 FACTEUR DE CONTAMINATION (FC) ET INDICE DE CHARGE DE POLLUTION OU POLLUTION LOARD INDEX (PLI)

Plusieurs indices existent à travers la littérature pour estimer la qualité des eaux [29] et certains d'entre eux sont utilisés par les organismes d'évaluation environnementale qui surveillent et gèrent la qualité des eaux, surtout dans la surveillance de la qualité des effluents industriels, enfin d'appliquer le principe pollueur-payeur sur les installations classées [30], [31]. Ce sont des outils précieux qui simplifient les données obtenues à des valeurs numériques qui permettent de visualiser la qualité des eaux et les risques associés à la présence de polluants [32], [33], [34], [35].

Pour cette étude, le facteur de contamination (FC) et l'indice de charge de pollution ou pollution loard index (PLI), appelé aussi Heavy Pollution Index (HPI) [36] ont été utilisés pour caractériser la pollution dans le bassin de la Lufira [37]. Le choix de ces deux indices pour évaluer la contamination des eaux des rivières et du lac Tshangalele dans ce bassin s'est basé sur trois étapes: (1) définition de l'objectif principal qui est de quantifier la pollution minière dans le bassin, (2) en tenant compte des concentrations dosées dans les échantillons supposés contaminés et ceux obtenus dans les zones du bassin de la Lufira non impactés par des activités minières, (3) agrégation en un seul indice global pour nous permettre une bonne interprétation [28].

Le facteur de contamination a été évalué par la formule mathématique suivante:

$$FC = C_i / C_{réf.i}$$

Où: C_i est la concentration en mg/l d'un contaminant (C_i) dans l'eau supposée contaminée; $C_{réf.i}$ est la concentration de référence en mg/l ($C_{réf.i}$) dans les eaux de la Lufira en dehors des zones non impactées par des activités minières où la pêche et l'usage domestique s'y déroulent encore.

Si $FC \leq 1$: pas de pollution minière; Si $FC > 1$: existence d'une pollution minière dans le bassin.

L'indice de charge de pollution ou PLI a été calculé sur base de facteurs de contamination de chaque ETM de la manière suivante:

$$PLI = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n FCI}$$

Si PLI = 0: pas de détérioration; PLI = 1: présents aux concentrations de référence; PLI > 1 détérioration progressive du milieu [38].

2.2.4.2 CORRÉLATION DE PEARSON

Le coefficient de corrélation de Pearson a été appliquée pour mettre en évidence l'implication de dix métaux lourds ciblés dans la pollution des eaux du bassin hydrographique sous étude, à travers une matrice de corrélation en y intégrant le PLI qui, est le principal indice d'évaluation de la pollution des eaux par les ETMs pour examiner le rôle que joue chaque élément dans la toxicité des eaux. La formule suivante du coefficient de corrélation de Pearson (noté r) a été utilisée:

$$r = \frac{[n \sum(xy) - (\sum x)(\sum y)]}{\sqrt{[(n \sum x^2 - (\sum x)^2) * (n \sum y^2 - (\sum y)^2)]}}$$

dont,

n = représente le nombre d'observations appariées (paire de données);

$\sum xy$ = est la somme des produits de chaque paire de valeurs (x, y);

$\sum x$: est la somme des valeurs de la première variable (x);

$\sum y$: est la somme des valeurs de la seconde variable (y);

$\sum x^2$: est la somme des carrés de la première variable (x^2);

$\sum y^2$: est la somme des carrés de la seconde variable (y^2).

2.2.4.3 ANALYSES EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP)

Les ACP est une méthode descriptive et exploratoire dont le but est d'extraire de la manière la plus synthétique possible, l'information contenue dans un tableau de données [39]. C'est une technique qui permet un arrangement des entités écologiques le long d'axes bi ou pluridimensionnelles sur la base des données relatives à la composition spécifique [40].

Le but principal de l'ACP est de simplifier et de condenser un ensemble de données qui aboutit à un diagramme dont les entités écologiques (Stations d'échantillonnage) sont représentées par des points [39], [41]. Dans le cadre de cette étude, l'ACP a été appliquée pour déterminer l'affinité des métaux lourds dosés sur base de leurs teneurs avec les rivières et lac prospectés.

2.2.5 TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNÉES

La cartographie de la zone d'étude a été élaborée avec le logiciel ArcGIS version 10.8 grâce aux données de longitude et latitude relevées sur chaque point d'échantillonnage à l'aide d'un GPS de marque Garmin Etrex. Les données issues des différentes manipulations ont été encodées sur le tableur Excel 2013 suivi du calcul de la moyenne et de l'écart-type pour chaque paramètre physico-chimique avec le même logiciel. La normalité des données à soumettre aux analyses statistiques a été calculée à l'aide du test de [42] afin de tester l'homogénéité des variances [43]. Pour relever la différence de la variation entre les valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques, l'analyse de la variance à un facteur de classification (ANOVA 1) [45] accompagnée du LSD (Least Significant Différence) test de Fisher [46] a été utilisée à l'intervalle de 95 % de confiance grâce au logiciel Statistix (version 10.8). Les résultats obtenus après les différents traitements et analyses sont exprimés sous forme des tableaux, graphiques et figures pour les rendre interprétables. Le logiciel Origin (version 6.1) a été utilisé pour dresser les graphiques en histogrammes sur la variation des paramètres physico-chimiques dans l'eau des rivières et du lac.

3 RESULTATS

3.1 QUALITE PHYSICO-CHIQUE DES EAUX DES RIVIERES ET LAC TSHANGALELE

La variation de la qualité physico-chimique des eaux des rivières du bassin hydrographique de la rivière Lufira et celle du lac Tshangalele prospectés dans le cadre de cette étude est reprise dans les points ci-après. Les valeurs moyennes de différents paramètres qui portent les mêmes lettres alphabétiques ne présentent pas de différence statistique significative tandis que celles qui portent des lettres différentes sont statistiquement significative ($p < 0,05$) les unes des autres. La taille de l'échantillon en termes du nombre de prélèvement est de sept (7) répétitions pour chaque paramètre et pour chaque station.

Tableau 1. Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques des eaux des rivières du bassin hydrographique de la Lufira et le lac Tshangalele

Rivières et lac prospectés	Paramètres physico-chimiques analysés				
	Température (°C)	pH	Conductivité (µS/cm)	Turbidité (UNT)	Salinité (%)
Kapemba	18,14±4,41 ^e	4,77±0,06 ^c	522,86±2,69 ^d	272,57±0,08 ^d	0,02±0,00 ^e
Mura	19,26±0,42 ^{de}	6,35±0,03 ^a	339,29±1,47 ^f	169,14±1,02 ⁱ	0,01±0,00 ^f
Kamilopa	22,84±0,96 ^b	5,78±0,05 ^b	553±2,57 ^d	275,29±1,18 ^d	0,02±0,00 ^d
Kapulande	27,06±0,18 ^a	4,56±0,05 ^c	2893,14±6,69 ^a	1437,57±6,49 ^a	0,13±0,01 ^a
CLP	24,21±0,39 ^b	5,72±0,07 ^b	643,71±2,9 ^c	319,14±1,59 ^c	0,03±0,00 ^c
Kimiba	23,99±0,1 ^b	5,89±0,02 ^b	902,57±2,94 ^b	448±2,29 ^b	0,04±0,00 ^b
Buluo	24,24±1,19 ^b	6,28±0,03 ^a	431±4 ^e	219,43±2,2 ^f	0,02±0,00 ^e
Panda 1	21,03±0,3cd	6,13±0,08 ^a	326,4±92,18 ^f	190,57±0,78 ^h	0,01±0,00 ^f
Panda 2	22,46±0,48bc	4,75±0,03 ^c	456,86±2,16 ^e	228,57±1,51 ^e	0,02±0,00 ^e
Panda 3	22,46±0,12bc	5,6±0,01 ^b	420,14±2,16 ^e	211,71±2,24 ^g	0,02±0,00 ^e
Lufira 1	24,06±0,33b	5,79±0,03 ^b	428,57±2,65 ^e	213±1,43 ^g	0,02±0,00 ^e
Lufira 2	24,11±0,33b	5,29±0,03 ^b	430,14±1,88 ^e	214,14±1,02 ^g	0,02±0,00 ^e
Tshangalele	24,42±1,27b	5,67±0,03 ^b	425±3,14 ^e	210,43±2,2 ^g	0,02±0,00 ^e
Norme OMS	0 – 25	6,5 – 8,5	< 1500	< 5	-

De manière générale, les eaux de surface des rivières et du lac Tshangalele prospectés présentent une variation de qualité physico-chimique en fonction des paramètres environnementaux considérés et des écosystèmes considérés. Il s'observe que:

- ✓ Les eaux des rivières et lac sont chaudes avec une température moyenne comprise entre 18,14±4,41°C (rivière Kapemba) et 27,06±0,18 °C rivière Kapulande). En comparaison avec le seuil fixé par l'OMS pour une eau de boisson et de bonne qualité écologique, les valeurs de température relevées dans le cadre de cette étude sont dans la gamme de la fourchette requise (0 à 25°C) sauf pour la rivière pour Kapulande (27,06±0,18 °C). L'analyse de la variance à un facteur (ANOVA 1) appliquée aux données de la température relevées dans les différentes rivières montre une différence très hautement significative ($F = 8,84$; $p = 0,0000$; $LSD = 2,2354$) entre les valeurs moyennes de température dont la plus élevée est celle de la rivière Kapulande suivie des rivières CLP, Kimiba, Buluo, Kamilopa et Panda.
- ✓ Deux tendances de potentiel d'hydrogène sont observées dans l'eau des rivières et le lac Tshangalele prospectés. De tous les écosystèmes aquatiques étudiés, le taux d'acidité le plus élevé avec une différence statistique très hautement significative ($F = 1960$; $p = 0,0000$; $LSD = 0,0622$) est observé dans l'eau des rivières Kapulande ($pH = 4,56±0,05$) qui reçoit directement les effluents miniers acides de l'unité industrielle GCM suivies des rivières Panda 2 ($pH = 4,75±0,03$) et Kapemba ($pH = 4,77±0,06$). Par contre, l'eau des rivières Mura ($pH = 6,35±0,03$), Buluo ($pH = 6,28±0,03$) et Panda 1 ($6,13±0,08$) sont légèrement acides par rapport à celle des autres rivières. Cette augmentation du pH vers la neutralité est due probablement à l'exploitation de la carrière de la chaux aux environs de ces dernières. En comparaison avec le seuil des valeurs guides fixées par l'OMS pour une eau de bonne qualité écologique pour la survie des organismes aquatiques, les valeurs relevées dans la plupart des écosystèmes aquatiques ainsi que le lac Tshangalele restent en dehors de la fourchette de la gamme normale (6,5 à 8,5) sauf celle des rivières Mura, Buluo et Panda 1.
- ✓ L'eau des rivières et du lac Tshangalele analysée présente une grande variation du taux des ions en solution avec une différence statistique très hautement significative ($F = 2069$; $p = 0,0000$) entre les différentes valeurs moyennes obtenues.

Avec une valeur critique de 42,284; le LSD test montre que seule l'eau de la rivière Kapulande est la plus chargée en ions (conductivité = $2893,1 \pm 6,69 \mu\text{S/cm}$), au-delà de la Directive de l'OMS (Conductivité $< 1500 \mu\text{S/cm}$); suivie des rivières Kimiba (conductivité = $902,57 \pm 2,94 \mu\text{S/cm}$) et CLP (conductivité = $643,71 \pm 2,9 \mu\text{S/cm}$) et l'eau de la rivière Mura (conductivité = $339,29 \pm 1,47 \mu\text{S/cm}$) qui sont faiblement chargées en ions majeurs. Il s'observe que la conductivité relevée dans la rivière Kapulande reste de loin supérieure à la cette norme suite aux rejets directs des effluents miniers de l'unité industrielle CGM.

- ✓ L'eau des rivières et lac prospectés sont très turbides. L'analyse de la variance à un facteur appliquée aux données de turbidité met en évidence une différence statistique très hautement significative ($F = 52629$; $p = 0,0000$) entre les différentes valeurs moyennes. La valeur critique de comparaison (LSD = 4,1455) montre que l'eau de la rivière Kapulande (turbidité = $1437,6 \pm 6,49 \text{ UNT}$) est plus chargée en particules solides que les autres rivières y compris le lac Tshangalele ($210,43 \pm 2,2 \text{ UNT}$), probablement, à cause des matières en suspension issues des activités de traitement des minerais mais aussi du lessivage des résidus miniers. Les faibles valeurs sont obtenues dans l'eau des rivières Mura ($169,14 \pm 1,05 \text{ UNT}$) et Buluo ($219,43 \pm 2,2 \text{ UNT}$). La turbidité moyenne relevée dans toutes les rivières du bassin hydrographique ainsi que celle du lac Tshangalele dépasse la valeur normative établie par l'OMS (turbidité = $< 5 \text{ UNT}$) pour une eau de boisson et d'une bonne qualité écologique pour la vie des organismes aquatiques. Et pourtant, ces eaux sont consommées directement et/ou indirectement par des populations riveraines.
- ✓ Le taux du sel est variable d'un écosystème aquatique prospecté à l'autre en termes de salinité avec une différence statistique très hautement significative ($F = 486$; $p = 0,0000$; LSD = 4,022). Le test de LSD montre que les valeurs de salinité les plus élevées sont obtenues dans l'eau des rivières Kapulande ($0,13 \pm 0,00 \%$), Kimiba ($0,03 \pm 0,00\%$) et CLP ($0,03 \pm 0,00\%$) par rapport à celles des rivières Mura ($0,001 \pm 0,00\%$) et Kapemba ($0,01 \pm 0,00\%$) ainsi que le lac Tshangalele ($0,02 \pm 0,00\%$).

3.2 TENEURS DES METAUX LOURDS CIBLES DANS LES EAUX DU BASSIN HYDROGRAPHIQUE DE LA RIVIERE LUFIRA ET LAC TSHANGALELE

La variation des teneurs de dix métaux lourds dosés dans l'eau des rivières du bassin hydrographique de la rivière Lufira et le lac Tshangalele dans ce bassin, dans le cadre de cette étude est reprise dans les sections qui suivent. Les teneurs moyennes de différents ETMs qui portent les mêmes lettres alphabétiques ne présentent aucune différence statistique significative ($p > 0,05$) tandis que celles qui portent des lettres différentes sont statistiquement significative ($p < 0,05$) les uns des autres. La taille de l'échantillon en termes du nombre de dosage est de six (6) répétitions pour chaque métal dosé.

3.2.1 VARIATION D'ARSENIC

Il ressort des résultats consignés sur la figure 2 ci-dessous que l'eau des rivières du bassin hydrographique de la rivière Lufira ainsi que celle du lac Tshangalele présentent une variation du taux de contamination en arsenic avec une différence statistique très hautement significative ($F = 7,35$; $p = 0,0000$) les uns des autres. Le test de LSD (0,0324) montre que l'eau de la rivière Kapulande est la plus contaminée en As ($0,12 \pm 0,04 \text{ mg/L}$) suivi de la rivière Kapemba ($0,08 \pm 0,01 \text{ mg/L}$) par rapport aux restes des rivières et lac Tshangalele ($0,01 \pm 0,00 \text{ mg/L}$). Par contre, les teneurs d'As relevée dans l'eau de la plupart des rivières de ce bassin hydrographique restent largement supérieures à la valeur normative dictée par l'OMS ($0,01 \text{ mg/L}$) pour l'eau douce de boisson et d'une bonne qualité écologique.

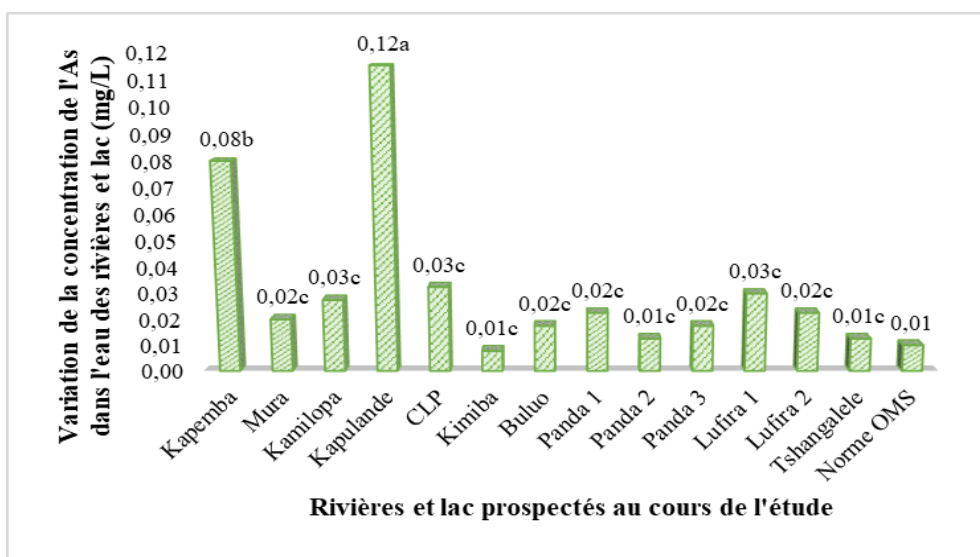


Fig. 2. Variation de la teneur d'As (mg/L) dans l'eau des rivières du bassin hydrographique de la Lufira et lac Tshangalele en rapport avec la norme de l'OMS

3.2.2 VARIATION DE CADMIUM

L'eau de la Kapemba ($0,22 \pm 0,19$ mg/L) suivie de celle des rivières Kapulande ($0,06 \pm 0,03$ mg/L) et Lufira au point 2 de prélèvement ($0,1 \pm 0,1$ mg/L) sont plus contaminées en Cd avec une différence statistique très significative ($F = 2,14$; $p = 0,0364$; $LSD = 0,1196$) par rapport aux autres écosystèmes aquatiques notamment, le lac Tshangalele ($0,01 \pm 0,01$ mg/L). En comparaison avec la valeur guide du seuil acceptable par la norme de l'OMS (0,003 mg/L) pour l'eau douce de boisson et d'une bonne qualité écologique, les concentrations moyennes en Cd relevées dans toutes les rivières du bassin de la Lufira ainsi que dans le lac Tshangalele sont de loin supérieures (figure 3).

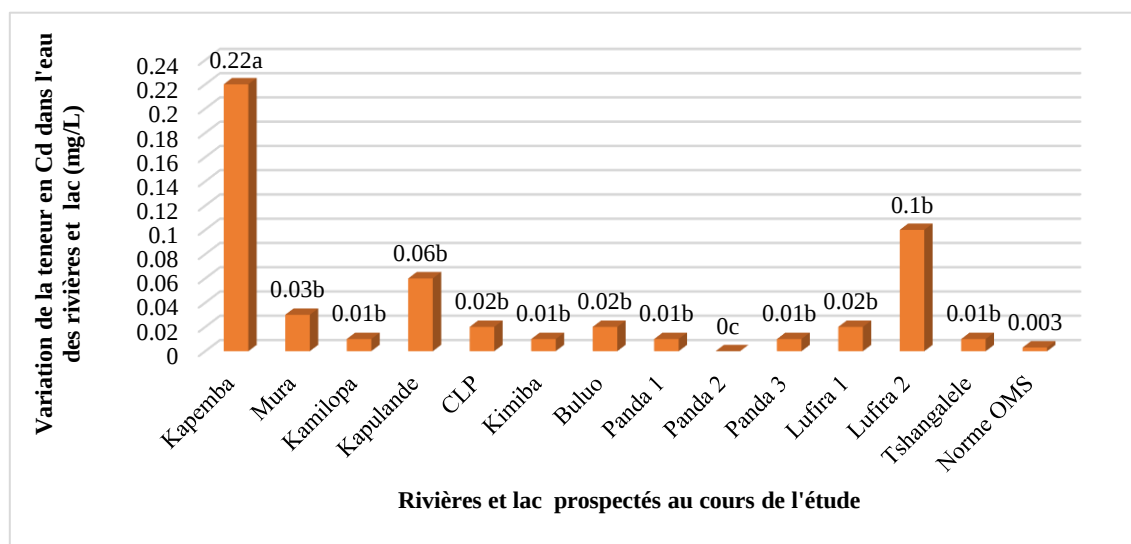


Fig. 3. Variation de la teneur de Cd (mg/L) dans l'eau des rivières du bassin hydrographique de la Lufira et lac Tshangalele en rapport avec la norme de l'OMS

3.2.3 VARIATION DE COBALT

La concentration de Co dans l'eau des rivières du bassin hydrographique de la Lufira comme dans le lac Tshangalele présente une disparité des teneurs (figure 4). L'analyse de la variance à un facteur appliquée aux teneurs de Co relevées à travers les rivières du bassin et le lac Tshangalele met en évidence une différence statistique très hautement significative ($F =$

359; $p = 0,0000$; $LSD = 0,1318$) où, l'eau de la rivière Kapulande ($3,19 \pm 0,24$ mg/L) est la plus contaminée que celle de tous les écosystèmes aquatiques prospectés au cours de l'étude. Toutefois, en comparaison avec la valeur guide ($0,07$ mg/L) établie par la Directive Européenne (2020) sur la bonne qualité de l'eau de boisson et de la vie aquatique, la contamination relevée dans les rivières Kapulande ($3,19 \pm 0,24$ mg/L), Panda 2 ($0,09 \pm 0,02$ mg/L) et Lufira 1 ($0,09 \pm 0,01$ mg/L) reste également supérieure.

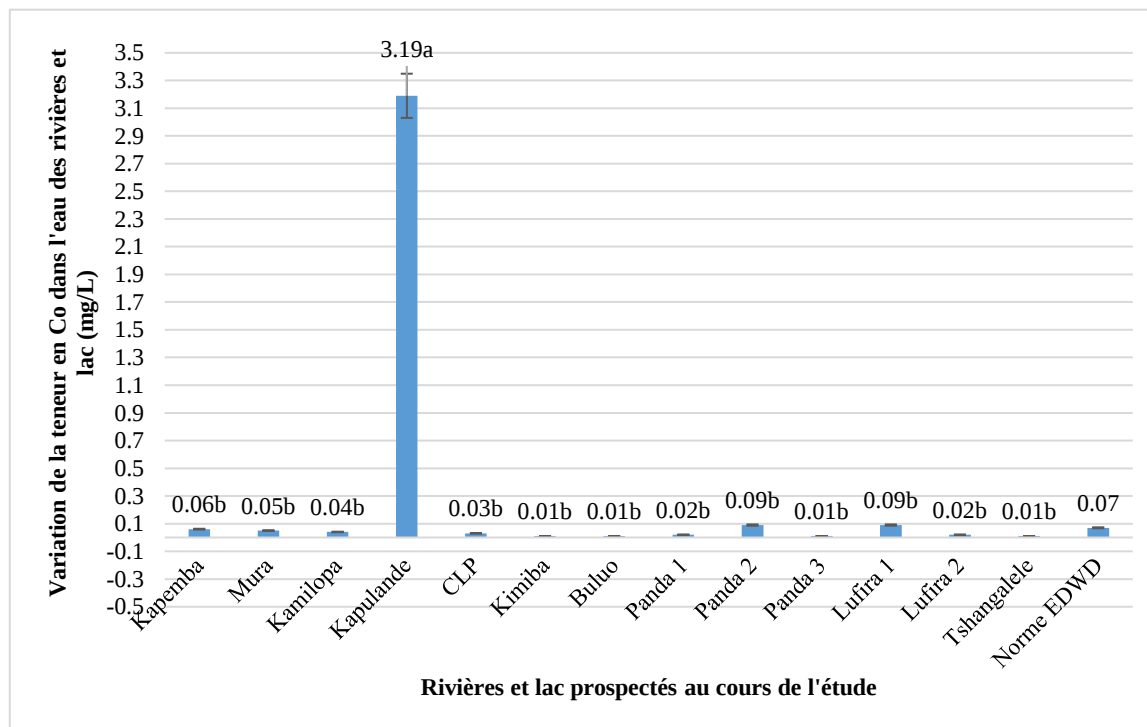


Fig. 4. Variation de la teneur de Co (mg/L) dans l'eau des rivières du bassin hydrographique de la Lufira et lac Tshangalele en rapport avec la Directive Européenne (EDWD) (2020)

3.2.4 VARIATION DE CHROME

La contamination en Cr dans les rivières du bassin hydrographique de la Lufira semble présenter une tendance d'augmentation d'amont vers l'aval (figure 5). Il ressort des résultats obtenus que la concentration de Cr dosée dans la rivière Lufira au point 1 ($0,09 \pm 0,01$ mg/L) de prélèvement est plus élevée avec une différence statistique significative ($F = 1,22$; $p = 0,0308$; $LSD = 0,0595$) suivie des taux de contamination relevés dans les rivières Kapemba ($0,03 \pm 0,01$ mg/L) et Kapulande ($0,03 \pm 0,02$ mg/L). Des très faibles traces de Cr sont obtenues dans les rivières Mura, Kamilopa et Panda 1 et 3. En comparaison avec la valeur normative dictée par la Directive Européenne (2020) ($0,05$ mg/L) pour l'eau de boisson comme pour une bonne qualité écologique, les concentrations relevées dans les rivières y compris dans le lac Tshangalele dans le cadre de cette étude restent inférieures, sauf pour la rivière Lufira.

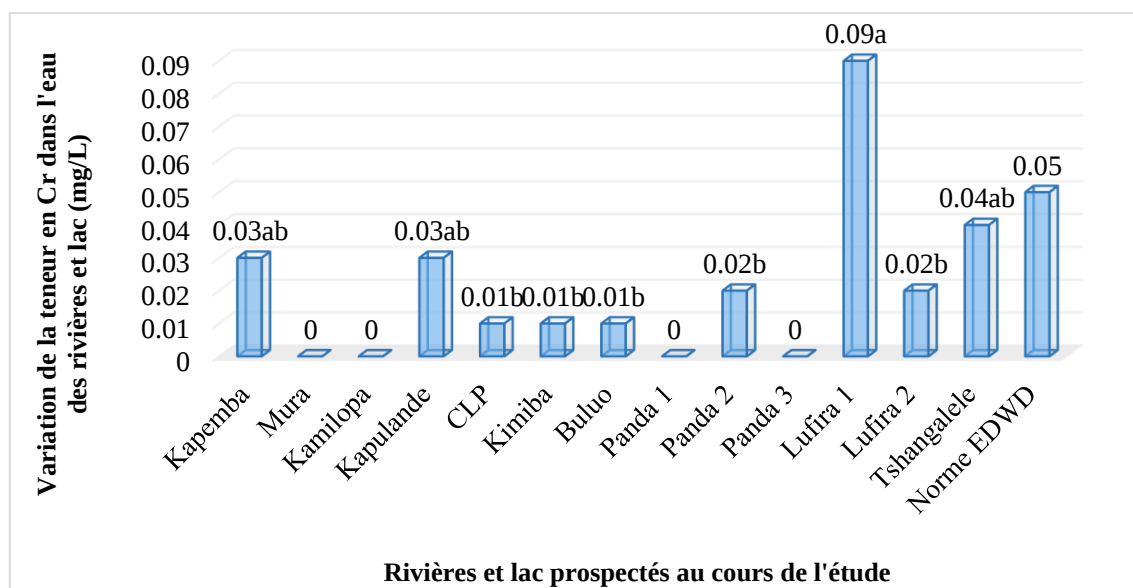


Fig. 5. Variation de la teneur de Cr (mg/L) dans l'eau des rivières du bassin hydrographique de la Lufira et lac Tshangalele en rapport avec la Directive Européenne (EDWD)

3.2.5 VARIATION DU CUIVRE

La contamination en Cu est plus élevée dans la rivière Kapulande ($0,45 \pm 0,24$ mg/L) avec une différence statistique très hautement significative ($F = 8,45$; $p = 0,0000$; $LSD = 0,1142$) par rapport aux concentrations moyennes relevées dans les autres rivières y compris le lac Tshangalele ($0,06 \pm 0,02$ mg/L). En comparaison avec la valeur normative (2 mg/L) fixée par l'OMS pour une eau de boisson et de bonne qualité écologique, il s'observe que le taux de contamination relevé dans toutes les rivières du bassin hydrographique de la Lufira y compris dans le lac Tshangalele reste faible (figure 6).

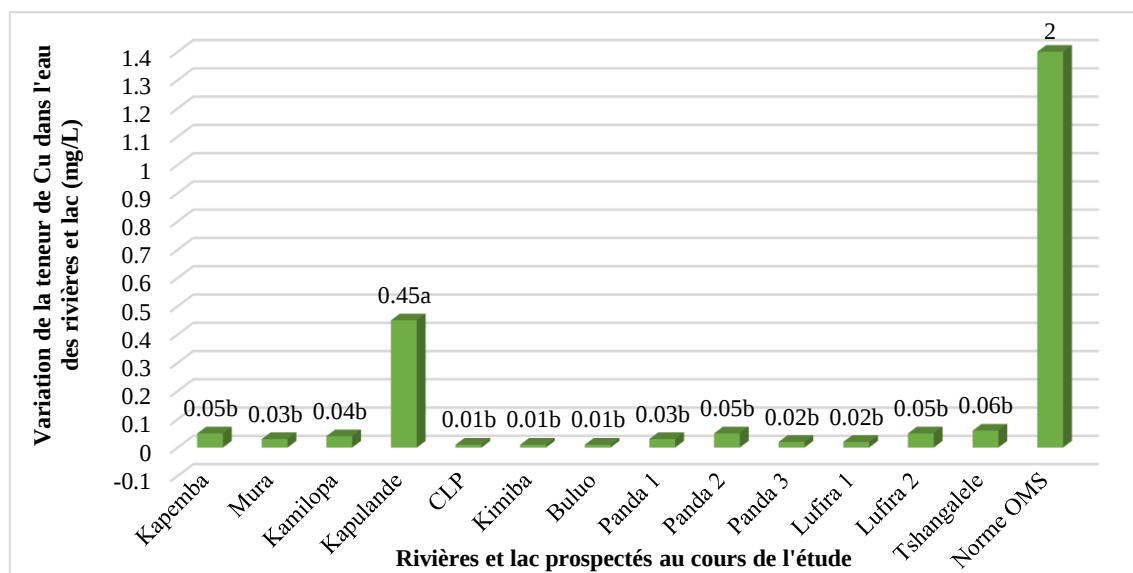


Fig. 6. Variation de la teneur de Cu (mg/L) dans l'eau des rivières du bassin hydrographique de la Lufira et lac Tshangalele en comparaison avec la norme de l'OMS

3.2.6 VARIATION DE MANGANÈSE

Le Mn présente un taux de contamination le plus élevé dans les rivières Kapulande ($1,92 \pm 0,12$ mg/L) suivie de la Panda 2 ($1,45 \pm 0,32$ mg/L), Kapemba ($0,36 \pm 0,16$ mg/L), Lufira 2 ($0,26 \pm 0,05$ mg/L), Tshangalele ($0,24 \pm 0,02$ mg/L) et Panda 1 ($0,14 \pm 0,04$ mg/L).

mg/L) que la valeur guide dictée par la Directive Européenne (2020) (0,05 mg/L) pour une eau de boisson et d'une bonne qualité écologique (figure 7). L'analyse de la variance à un facteur appliqué aux teneurs de Mn dosé dans l'eau des rivières dégage une différence statistique très hautement significative ($F = 81,9$; $p = 0,0000$; $LSD = 0,1934$) du taux de contamination dans les rivières et lac où la rivière Kapulande présente une forte contamination suivie de la rivière Panda 2 puis les rivières Kapemba et Lufira.

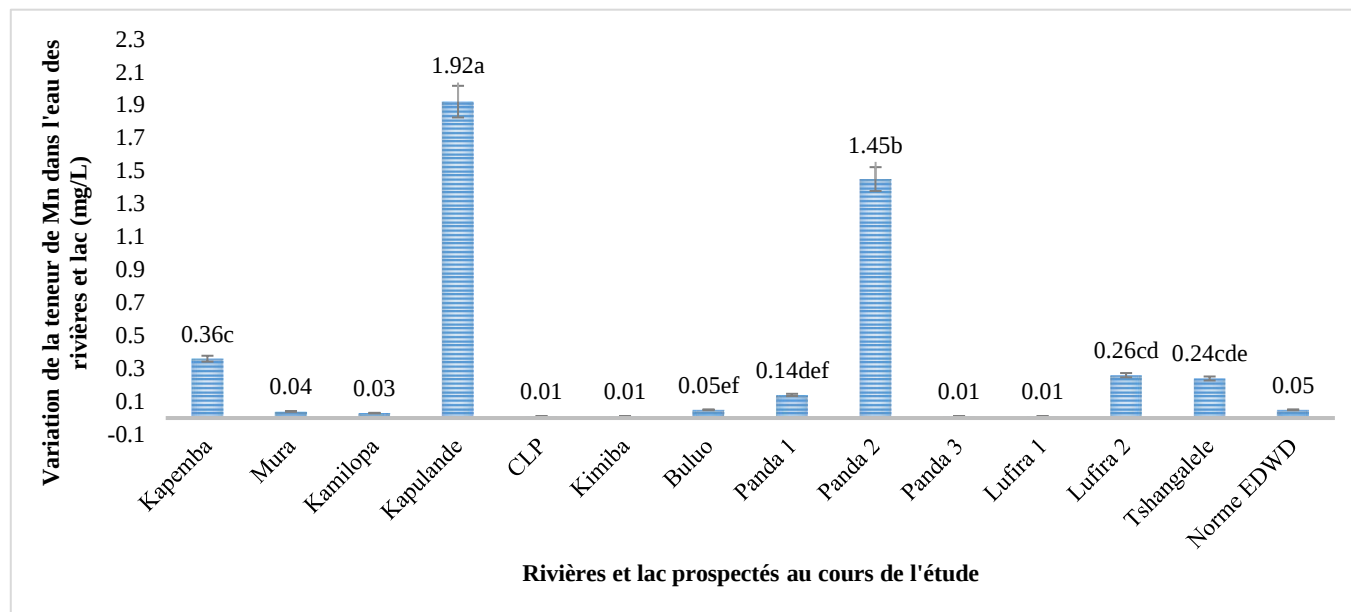


Fig. 7. Variation de la teneur de Mn (mg/L) dans l'eau des rivières du bassin hydrographique de la Lufira et lac Tshangalele en rapport avec la Directive Européenne (EDWD)

3.2.7 VARIATION DE NICKEL

De toutes les rivières du bassin hydrographique de la Lufira, la rivière Buluo est la plus contaminée en Ni ($9,98 \pm 1,52$ mg/L) avec une différence statistique très hautement significative ($F = 98,4$; $p = 0,0000$; $LSD = 0,7955$) par rapport aux taux de contamination relevés dans les autres rivières ainsi que le lac Tshangalele. Comparativement à la valeur normative fixée par l'OMS (0,02 mg/L), la contamination relevée dans la plupart des rivières et le lac Tshangalele demeure de loin supérieure. Par contre, le taux de contamination de Ni reste faible dans les autres rivières en comparaison avec la valeur normative de l'OMS (figure 8).

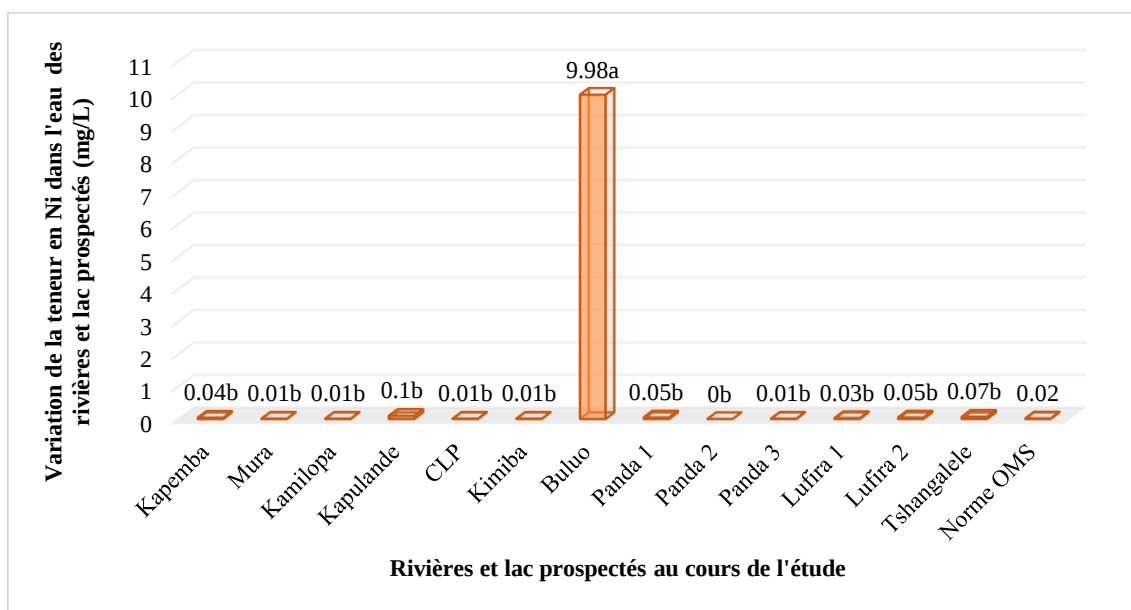


Fig. 8. Variation de la teneur de Ni (mg/L) dans l'eau des rivières du bassin hydrographique de la Lufira et lac Tshangalele en rapport avec la norme de l'OMS

3.2.8 VARIATION DE PLOMB

Le taux de contamination en Pb dans l'eau de la plupart des rivières et du lac Tshangalele reste de loin supérieur par rapport à la valeur normative fixée par l'OMS (0,01 mg/L) pour une eau de boisson et d'une bonne qualité écologique (figure 9). Au niveau des écosystèmes aquatiques du bassin hydrographique de la Lufira, l'analyse de la variance appliquée aux concentrations de Pb montre une différence statistique hautement significative ($F = 3,59$; $p = 0,0012$; $LSD = 0,0220$) où, la rivière Kapulande présente une contamination plus élevée ($0,05 \pm 0,02$ mg/L) suivi des rivières CLP ($0,03 \pm 0,03$ mg/L) et Panda 2 ($0,03 \pm 0,01$ mg/L) ainsi que le lac Tshangalele ($0,03 \pm 0,01$ mg/L).

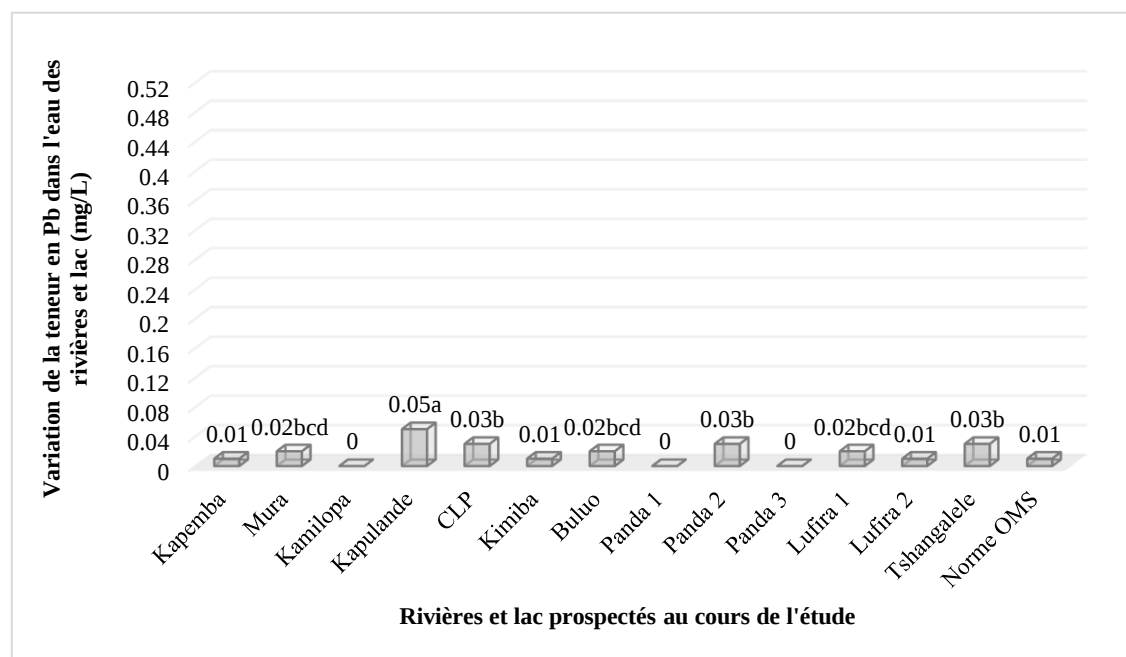


Fig. 9. Variation de la teneur de Pb (mg/L) dans l'eau des rivières du bassin hydrographique de la Lufira et lac Tshangalele en rapport avec la norme OMS

3.2.9 VARIATION DE SÉLÉNIUM

Le Se dans l'eau des rivières du bassin hydrographique de la Lufira ainsi que le lac Tshangalele est relevé dans presque tous les écosystèmes aquatiques à des concentrations variables (figure 10). L'analyse de la variance à un facteur appliquée aux données de contamination de l'eau des écosystèmes considérés met en évidence une différence statistique très hautement significative ($F = 4,01$; $p = 0,0005$; $LSD = 0,0434$) indiquant une contamination élevée dans l'eau de la rivière Kapulande ($0,11 \pm 0,06$ mg/L) suivie de celle de Panda 3 ($0,09 \pm 0,02$ mg/L) puis Kapemba ($0,06 \pm 0,02$ mg/L). Les eaux du lac Tshangalele ($0,01 \pm 0,01$ mg/L), Lufira ($0,01 \pm 0,00$ mg/L) et Buluo ($0,01 \pm 0,01$ mg/L) sont très faiblement contaminées en Se. En comparaison avec le seuil de la norme ($0,01$ mg/L) établie par l'OMS pour une eau de boisson et d'une bonne qualité écologique, le taux de contamination obtenu dans la majorité des rivières du bassin de la Lufira est très élevé.

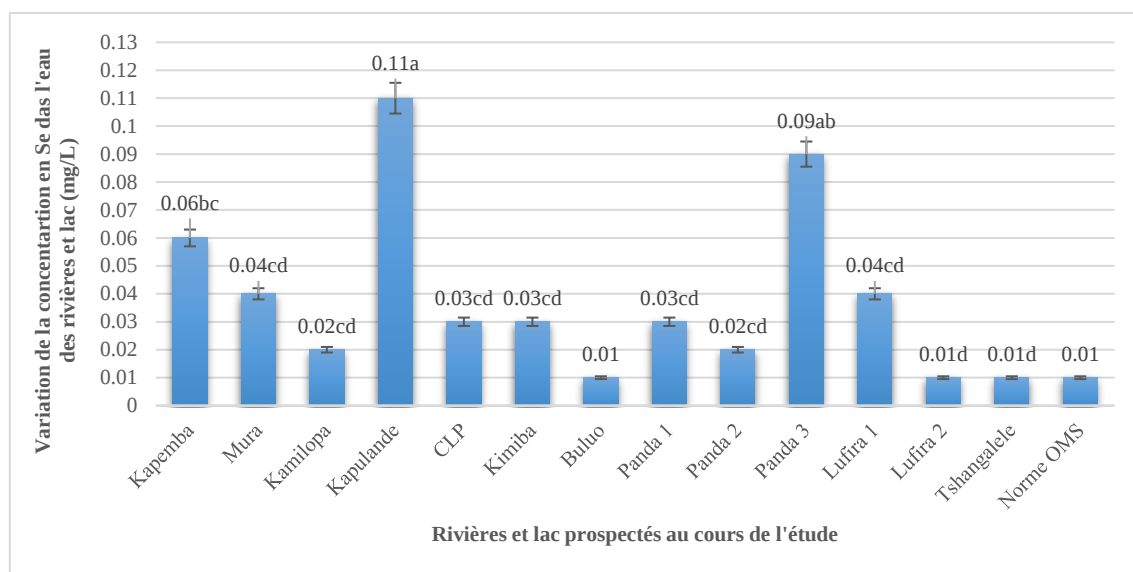


Fig. 10. Variation de la teneur de Se (mg/L) dans l'eau des rivières du bassin hydrographique de la Lufira et lac Tshangalele en comparaison avec la norme OMS

3.2.10 VARIATION DE ZINC

Les résultats repris sur la figure 11 ci-dessous montrent que la rivière Kapulande est la plus contaminée en Zn ($0,7 \pm 0,19$ mg/L) avec une différence statistique très hautement significative ($F = 30,6$; $p = 0,0000$; $LSD = 0,0959$) suivie du lac Tshangalele ($0,12 \pm 0,03$ mg/L) et le taux de contamination de Zn dans les autres rivières est très faible. En comparaison avec le seuil de la norme OMS sur la présence de ce métal dans l'eau de boisson ou d'une bonne qualité écologique, la valeur normative fixée (3 mg/L) reste de loin supérieure que celle dosée dans tous les écosystèmes aquatiques du bassin hydrographique de la Lufira.

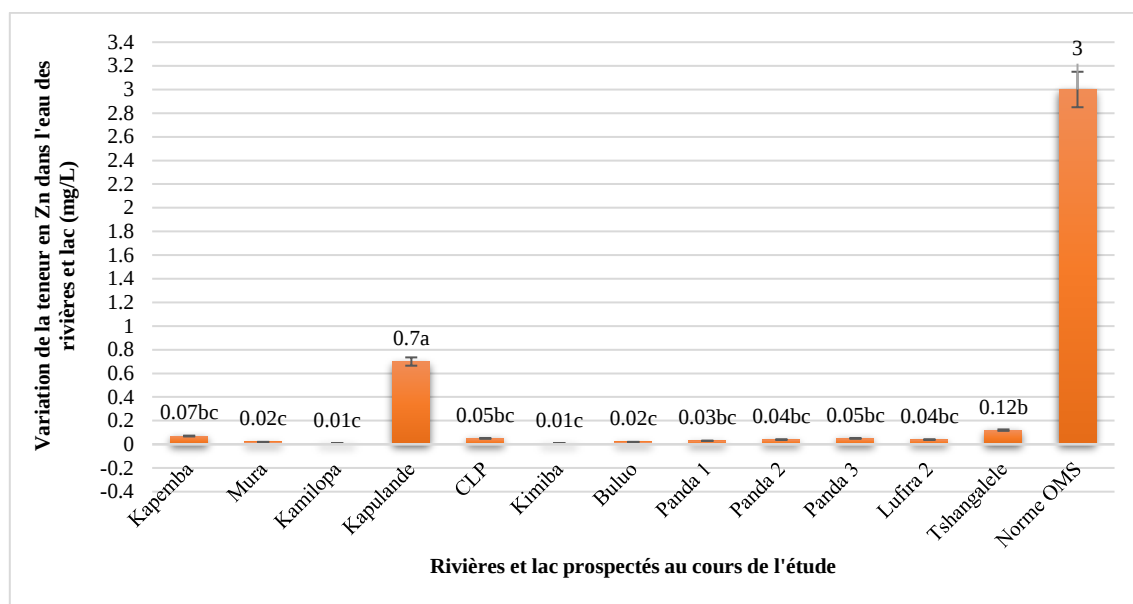


Fig. 11. Variation de la teneur de Zn (mg/L) dans l'eau des rivières du bassin hydrographique de la Lufira et lac Tshangalele en comparaison avec la norme OMS

3.3 VALEURS DE FACTEUR DE CONTAMINATION (FC) ET INDICE DE CHARGE POLLUANTE (PLI)

Le tableau 1 ci-dessous donne les FC de chaque ETM des eaux des rivières et lac dans le bassin de la Lufira pour les 13 stations d'échantillonnage, mais aussi les indices de charges polluantes, en anglais « Pollution Load Index » (PLI) de chaque rivière et le lac Tshangalele.

Tableau 2. Valeurs de FC et de PLI des eaux du bassin hydrographique de la Lufira

ETM (mg/l)	Stations d'échantillonnage (rivières et lac Tshangalele)													Concentration géochimique
	Kapemba	Mura	Kamilopa	Kapulande	CLP	Kimiba	Buluo	Panda 1	Panda 2	Panda 3	Lufira 1	Lufira 2	Tshangalele	
As	5,7	1,4	2,1	8,6	2,1	0,7	1,4	1,4	0,7	1,4	2,1	1,4	0,7	0,014
Cd	110	15	5	30	10	5	10	5	-	5	10	50	225,7	0,002
Co	2,3	1,9	1,5	122,7	1,2	0,4	0,4	0,8	3,5	0,4	3,5	0,8	7,4	0,026
Cr	30	-	-	30	10	10	10	-	20	-	90	20	108,3	0,001
Cu	4,2	2,5	3,3	37,5	0,8	0,8	0,8	2,5	4,2	1,7	1,7	4,2	0,3	0,012
Mn	9,2	1	0,8	49,2	0,3	0,3	1,3	3,6	37,2	0,3	0,3	6,7	16,7	0,039
Ni	40	10	10	100	10	10	9,980	50	-	10	30	50	474	0,001
Pb	1,3	2,5	-	6,3	3,8	1,3	2,5	-	3,8	-	2,5	1,3	50,8	0,008
Se	0,8	0,5	0,3	1,4	0,4	0,4	0,1	0,4	0,3	1,2	0,5	0,1	1,8	0,077
Zn	70	20	10	700	50	10	30	20	30	40	50	40	5,4	0,001
PLI	9,2	2,8	2	31,9	2,9	1,6	4,7	2,7	3,4	1,9	4,7	5	13,3	

Il ressort des résultats repris au tableau ci-dessus que le niveau de pollution de l'eau des rivières du bassin hydrographique de la Lufira ainsi que du lac Tshangalele se diffère d'un élément métallique à l'autre et en fonction des stations considérées. Mais en tenant compte de la coloration du tableau en termes de FC, 72,3 % colorés en rouge montre que le bassin de la Lufira est contaminé sur base des stations échantillonnées et en fonctions des 10 ETMs dosés. Toutefois, le FC de certains ETMs ont présenté des valeurs anormalement élevées dans certaines stations (rouge sang), notamment le Cd (Kapemba et Tshangalele);

le Co (Shituru); le Cr (Tshangalele); le Ni (Kapulande, Buluo et Tshangalele) et le Zn pour Buluo. En tenant compte de PLI, toutes les valeurs sont supérieures à un (01) indiquant une dégradation globale des eaux dans le bassin hydrographique de la Lufira, mais dans l'ordre suivant: Kapulande > Lac Tshangalele > Kapemba > Lufira 2 > Buluo et Lufira 1 > Panda 2 > CLP > Mura > Panda 1 > Kamilopa > Panda 3 > Kimiba.

3.4 CORRELATION ENTRE LES CONCENTRATIONS DES ETMS ET PLI

Dans le cadre de cette étude, le coefficient de corrélation de Pearson a été utilisé pour mettre en évidence l'implication de dix métaux lourds dosés dans la pollution des eaux du bassin hydrographique sous étude, à travers une matrice de corrélation (tableau 2). Le PLI, qui est le principal indice d'évaluation de la pollution des eaux par les ETMs a été incorporé dans la matrice de corrélation pour examiner le rôle que joue chaque élément dans la toxicité des eaux.

Tableau 3. Matrice de corrélation entre les concentrations des ETMs et PLI

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Se	Zn	PLI
As		0,83	0,00	0,92	0,00	0,05	0,91	0,66	0,21	0,00	0,00
Cd	0,07		0,97	0,01	0,86	0,60	0,00	0,00	0,01	0,89	0,24
Co	0,82	0,01		0,77	0,00	0,00	0,65	0,85	0,10	0,00	0,00
Cr	0,03	0,70	0,09		1,00	0,52	0,00	0,00	0,06	0,89	0,25
Cu	0,85	-0,05	0,99	0,00		0,00	0,90	0,87	0,19	0,00	0,00
Mn	0,56	0,16	0,77	0,19	0,78		0,42	0,46	0,16	0,00	0,00
Ni	-0,04	0,90	0,14	0,74	0,04	0,25		0,00	0,00	0,86	0,16
Pb	-0,14	0,88	0,06	0,74	-0,05	0,23	0,98		0,01	0,92	0,27
Se	0,37	0,66	0,48	0,53	0,39	0,41	0,74	0,69		0,14	0,02
Zn	0,86	-0,04	0,99	0,04	0,99	0,74	0,05	-0,03	0,43		0,01
PLI	0,82	0,35	0,93	0,34	0,90	0,78	0,41	0,33	0,64	0,92	

Les résultats repris au tableau ci-dessus montrent que l'As ($r = 0,82$), le Cd ($r = 0,93$), le Cu ($r = 0,90$) et le Zn ($r = 0,92$) sont les éléments fortement corrélés au PLI, avec un coefficient de corrélation de Pearson de plus de 0,8. Certains ETMs pris deux à deux notamment: Cu et As ($r = 0,85$), Cu et Co ($r = 0,99$), Ni et Cd ($r = 0,90$), Pb et Cd ($r = 0,88$), Pb et Ni ($r = 0,98$) et Zn et Cu ($r = 0,99$) expriment d'importantes liaisons entre eux. La forte liaison observée entre ces ETMs suggère une origine commune de ces éléments.

3.5 ANALYSE EN COMPOSANTE PRINCIPALE EN FONCTION DE PLI

La matrice de corrélation entre les valeurs de PLI, appelé aussi « Pollution Load Index » (PLI), de l'eau et les rivières du bassin hydrographique établie à travers l'analyse en composantes principales montre que les dix métaux lourds contribuent différemment dans la pollution des eaux analysés. La figure 14 montre que l'axe 1 explique 98,76% de la variance des données tandis que l'axe 2 explique 0,86%, ce qui indique que l'axe 1 retient la majeure partie d'information. En termes de corrélation, ces résultats montrent que la pollution de l'eau des rivières Kamilopa, Lufira 1 et 2, Buluo, Kimiba, Kapulande, CLP, Panda 1 et 3, Mura ainsi que celle du lac Tshangalele est influencée principalement par neuf (9) métaux lourds notamment: le Cu, Ni, Co, Zn, As, Cr, Pb, Se et Cd qui sont corrélés positivement à la qualité de l'eau de ces écosystèmes. La pollution PLI de l'eau de la rivière Panda 2 est influencée en grande partie par la contamination en Mn (figure 12).

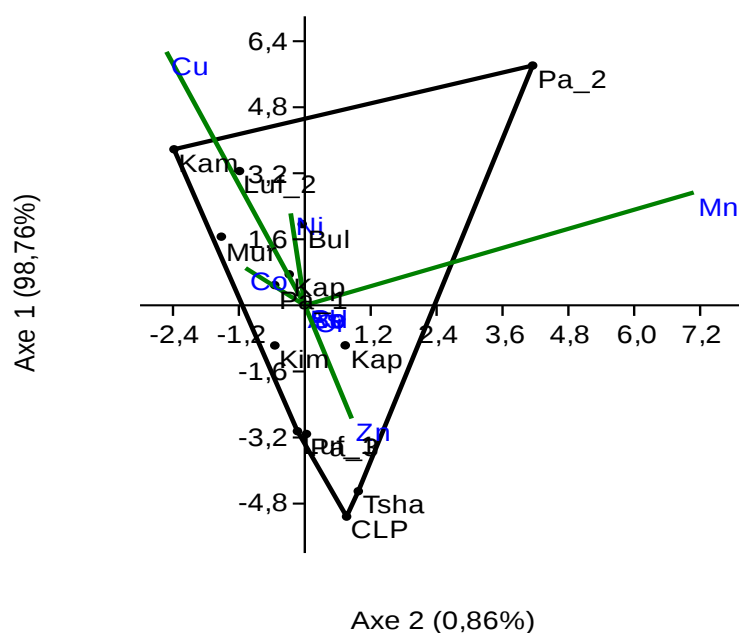


Fig. 12. Diagramme d'analyse en composantes principales de corrélation entre les rivières du bassin hydrographique de la Lufira et lac Tshangalele et l'indice de charge de pollution de l'eau (PLI)

4 DISCUSSION

Les résultats des paramètres physico-chimiques relevés dans les rivières Kapulande, Kapemba, Kimiba, Panda et CLP démontrent que les valeurs moyennes de certains de ces paramètres notamment la conductivité, la turbidité et le pH ont été en dehors de la gamme des fourchettes exigées pour une eau de bonne qualité écologique. Ainsi, cela est dû par les rejets dans les cours d'eaux des effluents (non traités ou mal traités) des usines minières qui contiennent des métaux lourds ainsi que des résidus de différents produits chimiques soit dans les processus d'extraction et de séparation, soit dans les processus de raffinage [47], [48].

Le niveau de pollution de l'eau des rivières du bassin hydrographique de la Lufira ainsi celle du lac Tshangalele par les métaux lourds a été évalué dans le cadre de cette étude à travers les analyses chimiques des ETM et des quelques indices de pollution d'eau. Ainsi, les résultats obtenus ont montré que l'eau des rivières et lac prospectés sont contaminés par divers éléments traces métalliques avec une concentration dépassant pour la plupart le seuil de contamination acceptable par les Directives de [49] et [50] sur la bonne qualité de l'eau de boisson et d'une bonne qualité écologique. En termes du taux de contamination élémentaire, l'As (rivières Kapulande > Kapemba > lac Tshangalele), le Cd (Kapemba > Lufira 2), le Co (Kapulande > Panda 2 > Lufira), le Cr (Lufira > Kapemba > Kapulande), le Cu (Kapulande > Tshangalele), le Mn (Kapulande > Panda 2 > Kapemba > Lufira 2 > Tshangalele), le Ni (Lufira > Buluo), Pb (Kapulande > CLP > Panda), le Se (Kapulande > Panda 3 > Kpamba) et Zinc (Kapulande > Tshangalele). Les fortes concentrations des ETMs dosés dans l'eau des rivières et lac prospectés sont dues à la nature géologique de la zone [9] pour certains métaux mais, aussi et surtout aux activités minières [5] qui ont lieu le long des sous-bassins versant de la plupart de ces rivières qui composent le bassin hydrographique de la Lufira. Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude sont proches de ceux obtenus par [4], [5], [7].

Dans leur étude, [5] ont obtenu des taux de contamination compris entre 0,004 mg/L (Lufira 3) et 0,08 mg/L (Kapulande) pour le Pb, 0,001 mg/L (Panda 1) à 39,7 mg/L (Kapulande) pour le Cd, 0,001 mg/L (Panda 1, Lufira 1, 2 et 3) et 0,012 mg/L (Kapulande) pour l'As, 0,19 mg/L (Panda 1) à 32,3 mg/L (Kapulande) pour le Co, 0,32 mg/L (Lufira 1 et 3) à 70,9 mg/L (Kapulande) pour le Cu et 0,12 mg/L (Lufira 3) à 5,24 mg/L (Lufira 1). Par ailleurs, le taux de contamination relevé dans la présente étude reste légèrement inférieur en comparaison avec les valeurs relevées par [5]. Cette différence pourrait s'expliquer par le fait qu'avec le temps, grâce aux efforts de certains services étatiques de l'Etat Congolais, certaines sociétés minières se démènent à se conformer à la réglementation minière en ce qui concerne la qualité des effluents rejetés dans la nature, notamment dans les écosystèmes aquatiques à travers des stations d'épuration [4], [7]. Aussi, le processus d'autoépuration de ces écosystèmes aquatiques très dynamiques et l'éloignement avec les sources de pollution contribuent à diluer le taux de contamination de

ces derniers, d'amont vers l'aval; étant donné que la plupart des entreprises minières présentes dans la zone d'étude sont installées vers l'amont dans la ville de Likasi et ses environs.

Quand on y ajoute le phénomène de la bioaccumulation, les écosystèmes aquatiques prospectés plus particulièrement la chaîne trophique ainsi que l'homme sont dangereusement exposés à la pollution aux différents métaux lourds ciblés dans le cadre de cette étude. Ces métaux lourds peuvent générer des cancers reconnus (cancers de la peau, du foie, des poumons), occasionner des troubles cardiovasculaires, dermatologiques, neurologiques et gastro-intestinaux [51], [52]. Ces eaux, directement ou indirectement consommées (phénomène de la bioaccumulation dans la chaîne trophique) par ces métaux lourds constituent un risque pour les populations qui sont exposées à plusieurs pathologies et dysfonctionnement physiologique [53], [52]. Des effets chroniques peuvent être des atteintes hépatiques et rénales, troubles neurologiques, anémie, tachycardie et parfois maladies graves après exposition prolongée à des concentrations élevées. Les nourrissons sont plus vulnérables [51]. Certains de ces métaux provoquent des irritations du système respiratoire, des atteintes cardiaques et thyroïdiennes, des effets cancérigènes à long terme, des perturbations sur la croissance, la reproduction et la survie des poissons, des invertébrés et des végétaux aquatiques. Une bioaccumulation possible dans la chaîne alimentaire peut entraîner des effets toxiques chez les prédateurs et modifier l'équilibre des écosystèmes aquatiques [51], [53]. L'exposition au nickel, même à des concentrations faibles, peut provoquer des effets allergiques, des irritations cutanées, et des troubles respiratoires. Une exposition prolongée peut entraîner des problèmes rénaux, des troubles du système immunitaire et potentiellement des effets cancérigènes. Les groupes vulnérables, comme les enfants et les femmes enceintes, sont particulièrement à risque. Sur le plan écologique, le nickel peut nuire à la vie aquatique, affectant la reproduction et la survie des poissons et autres organismes. Ces organismes aquatiques peuvent accumuler le nickel, entraînant des concentrations toxiques dans les chaînes alimentaires (bioaccumulation) [43], [51].

Dans le cadre de cette étude, l'indice de pollution de l'eau PLI a permis de différencier les milieux très pollués de ceux qui sont moins pollués. Sur base de l'indice PLI, il a été relevé que l'eau de la rivière Kapulande est hautement polluée que celle des rivières Buluo, Panda, Lufira, Kapemba et le lac Tshangalele où la pollution a été jugée légère. Le coefficient de corrélation e Pearson a permis de clarifier la contribution des métaux lourds étudiés dans la pollution des eaux du bassin hydrographique étudié. L'As ($r = 0,82$), le Cd ($r = 0,93$), le Cu ($r = 0,90$) et le Zn ($r = 0,92$) ont été les éléments fortement corrélés au PLI, avec un coefficient de corrélation de Pearson de plus de 0,8. Certains ETMs pris deux à deux notamment: Cu et As ($r = 0,85$), Cu et Co ($r = 0,99$), Ni et Cd ($r = 0,90$), Pb et Cd ($r = 0,88$), Pb et Ni ($r = 0,98$) et Zn et Cu ($r = 0,99$) ont aussi exprimé d'importantes liaisons entre eux. La forte liaison observée entre ces ETMs suggère une origine commune de ces éléments d'après les allégations faites par [55]. La pollution telle que présentée dans l'eau des rivières est liée aux rejets dans les écosystèmes aquatiques des effluents minières non et/ou mal traités. D'après les observations faites par [56], quel que soit la performance de la station d'épuration utilisée (lagunage, boue active, etc.), une quantité importante de la charge métallique sous différentes formes peut se retrouver dans l'eau du point de pollution jusqu'en aval. Dans la plupart des cas, les activités anthropiques influent négativement sur la qualité de l'eau des écosystèmes aquatiques et leurs ressources à travers la pollution [56], [57], [58]. Il est donc clair que la pollution des eaux dans la zone d'étude est causée principalement par des activités minières à travers les usines d'extraction et traitement qui sont installées dans cette zone.

5 CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif d'analyser le niveau de pollution dans l'eau des rivières du bassin hydrographiques de la rivière Lufira et celle du lac Tshangalele dans la province du Haut Katanga en RD Congo en vue d'évaluer le niveau de risque et d'exposition dont fait face ces écosystèmes aquatiques et leurs ressources. Les résultats obtenus ont montré que l'eau des rivières et du lac prospectés sont contaminées par divers éléments traces métalliques à des concentrations dépassant pour la plupart le seuil de contamination acceptable par les directives de l'OMS (2017) et Européenne sur la bonne qualité de l'eau de boisson et écologique. De toutes les rivières prospectées, les rivières Kapulande, Panda, Lufira et Kapemba ont été les plus contaminées. L'indice de pollution de l'eau PLI a permis de différencier les milieux très pollués de ceux qui sont moins pollués. Sur base de cet indice, il a été relevé que l'eau de la rivière Kapulande est hautement polluée que celle des rivières Buluo, Panda, Lufira, Kapemba et du lac Tshangalele où la pollution a été jugée faible. Bien que la pollution soit aussi occasionnée par des facteurs naturels dans la zone d'étude, il a été observé que la majeure contribution est celle de l'exploitation minière. Des recherches futures axées sur la pollution des sédiments et des ressources aquatiques de ces écosystèmes ainsi que le risque d'exposition de la population locale qui recourt à ces écosystèmes aquatiques sont vivement souhaitées.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les techniciens des Laboratoires des Produits Pétroliers et de Chimie de l'Office Congolais de Contrôle de Lubumbashi pour leur contribution dans le dosage des éléments traces métalliques dans les échantillons d'eaux des rivières étudiées.

REFERENCES

- [1] Diangone E., N'guessan Y., Toalo L., Sylvain M., Aoua C.M. Evaluation de la Pollution Métallique des Sédiments Superficiels de la Lagune Potou en Période d'étiage (Littoral de la Côte d'Ivoire). *European Scientific Journal, ESJ*, 16 (33): 70 - 87. <https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n33p70>, 2020.
- [2] Kakudji M.M., Mbuyi M. Impact of mining activities on water quality in the Haut-Katanga Province: A case study of the Lualaba River. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192 (4): 1 - 12. doi: 10.1007/s10661-020-08245-5, 2020.
- [3] Clemens S., Ma J.F. Toxic Heavy Metal Accumulation in Plants: A Review. *Environmental Science and Pollution Research*, 23 (1), 1-12. doi: 10.1007/s11356-015-5350-0, 2016.
- [4] Unyumbe Y.K.B. Drame écologique: Contamination aux métaux lourds des eaux et des sédiments du bassin hydrologique de la rivière Lufira. Online Bookstorec. Librotterra. ISBN 978-1-63902-560-2, 159 p, 2021a.
- [5] Katemo M.B., Colinet G., André L., Chocha M.A., Marquet J-P., Micha J-C. Evaluation de la contamination de la chaîne trophique par les éléments traces (Cu, Co, Zn, Pb, Cd, U, V et As) dans le bassin de la Lufira supérieure (Katanga/R Congo). *Tropicultura*, 28 (4), 246-252, 2010.
- [6] Mata K.H., Mohammed M.A.D., Ngweme N.G., Konde N.J., Mulaji K.C., Kiyombo M.G., Poté, W.J. Toxique metal concentration and ecotoxicity test of sediments from dense populated areas of Congo River, Kinshasa, Democratic Republic of the Congo. *Environemental Chemistry and Ecotoxicology*, 2: 83 – 90, 2020.
- [7] Unyumbe Y.K.B. Industries minières, ses impacts et outils d'évaluation environnementale: Risques professionnels, drainage miniers acides et devenir des métauxlourds. *Editions universitaires europeennes*, ISBN: 978-620-3-44594-7, 2021b.
- [8] Nakweti K.J., Lusasi S.W., Tembeni M.J. Evaluation des teneurs en éléments traces métalliques (Cadmium et Plomb) dans l'eau, les sédiments et deux espèces de poissons *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) et *Oreochromis niloticus* (Linné, 1758) dans le Pool Malebo (Fleuve Congo), RD Congo. *European Scientific Journal, ESJ*, 17 (25), 174 - 192. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n25p17>, 2021.
- [9] Chalet J.M. Etude géologique de l'arc cuprifère du Shaba. Progrès réalisés entre 1950 et Davey JC, Bodwell JE, Gosse JA, Hamilton JW. (2007). Arsenic as an endocrine disruptor: effects of arsenic on estrogen receptor-mediated gene expression in vivo and in cell culture. *Toxicol Sci Off J Soc Toxicol* 2007; 98: 75–86, 1997.
- [10] www.rsis.ramar.org. Consulté le 11/07/2025. Service d'information sur les sites Ramsar.
- [11] Atibu E. Concentration des métaux dans les eaux des surfaces et les sédiments des rivières Luilu et Musonoie, Kolwezi-Katanga, République démocratique du Congo. *Sciences Direct Géochimie appliquée*, 26-32, 2013.
- [12] Foxall C., Chale F., Bailey-Watts A., Patterson G., West K. Les pesticides et les métaux lourds dans les poissons et les mollusques du Lac Tanganyika. *Lake Tanganyika Biodiversity Project*, République Démocratique du Congo, 16 p, 2000.
- [13] Nsimanda I.C., Musobono E.D., Basosila L.N., Wang B.M.B. Contribution à l'étude écotoxicologique du Cadmium et du Plomb dans *Distichodus fasciolatus*, *Mormyrops anguilloides* et *Schilbe mystus* au Pool Malebo (Fleuve Congo- Kinshasa/ RD Congo) à Maluku. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 10 (1): 166-175, 2015b.
- [14] Nsimanda I.C., Musobono E.D., Basosila L.N., Wang B.M.B. Étude préliminaire de la contamination au cadmium et au plomb de *Distichodus fasciolatus*, *Mormyrops anguilloides* et *Schilbe mystus* au Pool Malebo (Fleuve Congo- Kinshasa/RD Congo) à Kinsuka. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 10 (1), 176-183, 2015a.
- [15] Kashimbo K.S., Mukanya S.S., Mukoj K.A., Mwenge T.L., Kesonga N.M., Meli K., Kiyukeno K.Y. Etudes d'impacts des rejets liquides de l'usine STL (Société de Terril de Lubumbashi) sur la rivière Lubumbashi (Haut-Katanga/D.R. Congo). *International Journal of Innovation and Scientifique Research*, 21: 285-292, 2016.
- [16] Mbuyi M., Mbuyi M. Evaluation of heavy metal pollution in the water and sediments of the Lubumbashi River, Haut-Katanga Province, Democratic Republic of the Congo. *Journal of Environmental Protection*, 8 (5): 1 - 12. doi: 10.4236/jep.2017.85045, 2017.
- [17] Mbuyi M.M., Mbuyi M. Assessment of heavy metal contamination in water and sediments of Lake Tshangalele, Haut-Katanga Province, Democratic Republic of the Congo. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 15 (3): 1 -12. doi: 10.1007/s13762-018-1790-5, 2018.

- [18] Nzapo K.H., Ngbolua K.N., Bongema A.L., Bongo N.G., Inkoto L.C., Falanga M.C., Ashande M.C., Ndembo N.J.L., Lokilo L.E., Djoza D.R. Evaluation de la bioaccumulation de métaux lourds chez *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822), *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacepède, 1803), *Mormyrops anguilloides* (Linnaeus, 1758) et *Coptodon rendalli* (Boulenger, 1897). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 38 (1), 185-191, 2018.
- [19] Muteba L.J- P., Kitoko N. F., Moma T.M.B., Mande S.M. Pollution de la rivière Kafubu. *Rapport d'enquête*, 97 p, 2011.
- [20] Mokolo M.M., Mbuyi M. Bioaccumulation of heavy metals in aquatic organisms from the Lualaba River, Haut-Katanga Province, Democratic Republic of the Congo. *Environmental Science and Pollution Research*, 28 (10): 12345 - 12356. doi: 10.1007/s11356-021-12678-9, 2021.
- [21] Tshibanda J.B., Augustin M.M., Mpiana T.P., Mulaji C.K., Otamonga J.P., Poté W.J. Influence of watershed on the accumulation of heavy metals in sediments of urban rivers under tropical conditions: Case of N'djili and Lukaya rivers in Kinshasa Democratic Republic of The Congo. *Watershed Ecology and The Environment*, 3: 30 - 37. <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2021.06.001>, 2021.
- [22] Bipendu M.N., Lukanda M.V., Musibono E.A.D, Pwema K.V., Ngbolua K.T.N. Effets de rejets industriels de l'usine de traitement d'eau de Kinshasa (REGIDESO) sur la qualité physico-chimique et biologique des eaux des rivières Matete et N'djili, R.D Congo. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 29 (2): 96-109, 2017.
- [23] Lusasi S.W., Baibangaka M.M, Nakweti K.J., Bipendu M.N., Unyumbe Y.K.B., Pwema K.V. Niveau de contamination par les éléments traces métalliques (Aluminium, Cuivre, Cadmium et Plomb) dans l'eau, le sédiment et deux espèces de poissons (*Marcusenius stanleyanus* Boulenger, 1897 et *Protopterus dolloi* Boulanger, 1900) du Pool Malebo à Kingabwa (Kinshasa, RD Congo). *Rev. Cong. Sci. Technol.*, 3 (4): 465 – 477. <https://doi.org/10.59228/rcst.024.v3.i4.113>, 2024.
- [24] ISO 5667 – 6. Qualité de l'eau — Échantillonnage Partie 6: Lignes directrices pour l'échantillonnage des rivières et des cours d'eau. Publiée (Edition 3, 2014), 2014. Cette publication a été révisée et confirmée pour la dernière fois en 2020.
- [25] Rodier J., Legure B., Merlet N. L'analyse de l'eau. Dunod, 9eme Edition, Paris, 2009.
- [26] ISO 5667 – 15. Qualité de l'eau — Échantillonnage. Partie 15, Lignes Directrices pour la conservation et le traitement des échantillons de boues et de sédiments, 2009. Cette publication a été révisée et confirmée pour la dernière fois en 2020.
- [27] ISO 11885. Qualité de l'eau — Dosage d'éléments choisis par spectroscopie d'émission optique avec plasma induit par haute fréquence (ICP-OES), 2007. Cette publication a été révisée et confirmée pour la dernière fois en 2021.
- [28] Frayret J., Mermet J-M., Paucot H. ICP-OES: couplage plasma induit par haute fréquence – spectrométrie optique. Technique de l'ingénieur. <https://doi.org/10.51257/a-v2-p2719>, 2019.
- [29] Laaboulli M. Évaluation de la qualité environnementale d'un bassin versant agricole à l'aide d'indices de la qualité de l'eau, du sol, des sédiments, de l'hydromorphologie et d'indices intégrateurs (Mémoire). Institut National de la Recherche Scientifique Centre en eau terre et environnement université du Québec (INRS). Md. Galal Uddin, Stephen Nash, Agnieszka I. Olbert (2021). A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological Indicators*. www.elsevier.com/locate/ecolind, 2022.
- [30] Abbasi B., Kimiagar M., Sadeghnia K., Shirazi M.M., Hedayati M., Rashidkhani B. The effect of magnesium supplementation on primary insomnia in elderly: A double-blind placebo-controlled clinical trial. *J Res Med Sci.*, 17 (12): 1161–1169. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3703169/?report=printable>, 2012.
- [31] Prasad B., Bose J.M. Evaluation of the heavy metal pollution index for surface and spring water near a limestone mining area of the lower Himalayas. *Environ Geol.* 41: 183–188, 2001.
- [32] Brown R.M., Clelland Mc., Deininger R.A., Tozer R.G. A Water Quality. Index—Do We Dare ?, 117 *Water Sewage Works*, 339–343, 1970.
- [33] Liou S.-M., Lo S.-L., Wang S.-H. A Generalized Water Quality Index for Taiwan. *Environmental Monitoring and Assessment*, 96, 35-52. <http://dx.doi.org/10.1023/b: emas.0000031715.83752.a1>, 2004.
- [34] Tyag B.S., Prashant S., Rajendra D. Water Quality Assessment in Terms of Water Quality Index Shweta. *American Journal of Water Resources*, 2013, Vol. 1, No. 3, 34-38 Available online at <http://pubs.sciepub.com/ajwr/1/3/3> © Science and Education Publishing DOI: 10.12691/ajwr-1-3-3, 2013.
- [35] Abdelghani T., El Hmaidi A., Hajar J., Ousmana H., Manssouri I. Calcul de l'indice de qualité de l'eau (IQE) pour l'évaluation de la qualité physico-chimique es eaux Superficielles de l'Oued Moulouya (NE, Maroc). *Europeen Scientific Journal*, 16 (2): ESJ January EDITION, 2004.
- [36] Arora S., Sahab P., Shende D.A. Assessment of heavy metal pollution of surface water through multivariate analysis, HPI and GIS techniques. *Water Practice & Technology*, 20 (1): 148 – 167. Doi: 10.2166/wpt.2025.010, 2025.
- [37] Tomlinson D.L., Wilson J.G., Harris C.R., Jeffrey D.W. Problems in the Assessment of Heavy-Metal Levels in Estuaries and the Formation of a Pollution Index. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 33, 566-575. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02414780>, 1980.

- [38] Konan E.M., Niamien M.C.J., Okon O.M., Guetonde F.V., Beibro Y.H.K. Effets de quelques variables environnementales sur la distribution des oiseaux en milieu urbain, Abidjan, Côte d’Ivoire. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 43 (2024): 1 – 15, 2021.
- [39] Ter Braak C.J.F. The analysis of vegetation – environmental relationship by canonical correspondence analysis. *Vegetatio*, 69: 91 – 108, 1987.
- [40] Boika M.N.A., Lusasi S.W., Nsimanda I.C., Pwema K.V., Musibono E.D. Influence of environmental variables on fish distribution in the flooded swamp forest of the Lake Tumba Micro-basin on the Mbandaka-Research Center in Ecology and Forestry of Mabali (CREF Mabali) Road Axis in Bikoro, Equateur Province (DR Congo). *Annual Research & Review in Biology*. 2022; 37 (7): 25-43. DOI: 10.9734/ARRB/2022/v37i730520, 2022.
- [41] Ter Braak C.J.F., Smilauer P. CANOCO Reference manual and user’s guide Canoco for Windows (version 4). Centre for Biometry, Ageningen, Pays Bas, 351 p, 1998.
- [42] Hartley H.O. Smallest composite designs for quadratic response surface. *Biometrics*, 15: 611- 624, 1959.
- [43] Kebir T. Etude de contamination, d’accumulation et de mobilité de quelques métaux lourds dans des légumes, des fruits et des sols agricoles situés près d’une décharge industrielle de l’usine ALZINC de la ville de Ghazaouet. UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAID -TLEMCEEN. ALGERIE (Thèse), 2012.
- [44] Shen F., Mao L., Sun R., Du J., Tan Z., Ding M. Contamination evaluation and Source identification of heavy metals in the sediments from the Lishui River Watershed, Southern China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16: 1 - 14. Doi: 10.3390/ijerph16030336, 2019.
- [45] Scherrer B. Présentation des données. *Biostatistique*. Morin, G (Eds), 850 p, 1984.
- [46] Saville D.J. Multiple comparison procedures: the practical solution. *American Statistician*, 44 (2): 174-180, 1990.
- [47] SNC-LAVALIN International. Etude sur la restauration des mines de cuivre et de cobalt en République Démocratique du Congo, Rapport préliminaire M-6708 (603082), Montréal, 222 p, 2003.
- [48] Vande W.J.-P., Franssen J., Kalambay G., Kramkimel J.D., Musibono D. Etude Proil environnemental (PEP) de la République Démocratique du Congo. Délégation de la commission Européenne. EURATA, 228 p, 2005.
- [49] OMS (Organisation Mondiale de la Santé). Guidelines for Drinking-water Quality. Fourth edition incorporating the first Addendum, 631 p, 2017.
- [50] European Drinking Water Directive. 2020.
- [51] ASEF, consulté le 16/08.2025). Les métaux lourds - la synthèse de l’ASEF. <https://www.asef-asso.fr/production/les-metaux-lourds-la-synthese-de-lasef/>.
- [52] OMS (Organisation Mondiale de la Santé). Guidelines for Drinking-water Quality. Fourth edition incorporating the first Addendum, 631 p, 2017.
- [53] ANSES. AVIS de l’Agence nationale de sécurité sanitaire de l’alimentation, de l’environnement et du travail relatif à l’évaluation des risques sanitaires liés aux dépassements de la limite de qualité du chrome dans les eaux destinées à la consommation humaine, 2012.
- [54] Djade O.J.P., Traore A., Koffi K.J.T., Keumeane K.N., Soro G., Soro N.N. Evaluation du niveau de contamination des eaux souterraines par les éléments traces dans le département de Zouan-Hounien (Ouest de la Côte d’Ivoire). *Journal of Applied Biosciences* 150: 15457 – 15468. <https://doi.org/10.35759/JABs.150.6>, 2020.
- [55] Nahli A., Hebabaze S., Ioune N., Belhouari A., Chlaïda M. Etude de la contamination métallique des sédiments de surface de l’Oued Hassar après installation de la station d’épuration (StEp) de Médiouna (Casablanca, Maroc). *Bull. Institut. Sci.*, 38: 1-14. URL: <http://www.israbat.ac.ma/wp-content/uploads/2017/11/Nahli%20et%20al.%201-14.pdf>, 2016.
- [56] Boudjema K., Badis A., Moulai-Mostefa N. Study of heavy metal bioaccumulation in *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) from heavy metal mixture using the CCF design. *Environ. Technol. Innov.*, 25: 102-202. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102202>, 2022.
- [57] Kouali H., Chaouti A., Achtaq H., Elkalay K., Dahbi A. Trace metal contents in the mussel *Mytilus galloprovincialis* from Atlantic Coastal Areas in Northwestern Morocco: Levels of contamination and assessment of potential risks to human health. *Mar. Pollut.*, 179: 113680. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113680>, 2022.
- [58] Bipendu M.N., Lusasi S.W., Tangou T.T., Pwema K.V., Mputu K.J.N., Mulaji K.C. Physico-chemical and microbiological characterization of dairy effluents and water from the N’Djili River in the city of Kinshasa, Democratic Republic of the Congo. *Orapuh Journal*, 6 (6), e1256. <https://dx.doi.org/10.4314/orapj.v6i6.56>, 2025.

Coupling geophysics and granulometry for the siting of high-flow boreholes in a sedimentary environment

Rock Armand Michel BOUADOU¹, Bertrand Ouessé TAGNON², Adama COULIBALY³, Kouamé Auguste KOUASSI⁴, and Francis Williams KOUASSI⁵

¹UFR of Sciences and Management of the Environment, Laboratory of Geosciences and Environment, University of Nangui Abrogoua, Abidjan, Ivory Coast

²UFR of Sciences and Management of the Environment, Laboratory of Geosciences and Environment, University of Nangui Abrogoua, Abidjan, Ivory Coast

³Department of Science and Technology of Water and Environmental Engineering, UFR of Earth Sciences and Mineral Resources, University of Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Ivory Coast

⁴UFR of Sciences and Management of the Environment, Laboratory of Geosciences and Environment, University of Nangui Abrogoua, Abidjan, Ivory Coast

⁵UFR of Sciences and Management of the Environment, Laboratory of Geosciences and Environment, University of Nangui Abrogoua, Abidjan, Ivory Coast

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

ABSTRACT: The Cotonou and agglomerations drinking water supply project is located in the District of Ouédo (commune of Abomey-Calavi). In this area, the water supply has become insufficient, due to urbanization and the deterioration of hydraulic infrastructure. An establishment of high-flow drilling by electrical surveys and brief particle study was thus undertaken. Five geological layers, whose resistivities and thicknesses varying respectively from 31.95 to 872.12 $\Omega \cdot m$ and between 1.99 to 244.5 m are highlighted. Three aquifers lying between 60 and 114 m deep are revealed. These aquifers are formed of coarse elements with a diameter greater than one mm. A catchment field of sixteen boreholes, each providing a high flow rate (100-250 m³/h), was carried out. This one mobilized an overall flow of 2680 m³/h (i.e. 64,320 m³/d). This flow has contributed to the achievement of more than 60 % of the Millennium Development Goals development in terms of drinking water by Benin.

KEYWORDS: aquifer, electrical survey, particle size, recognition survey, flow.

1 INTRODUCTION

Since the Water Decade and with a view to achieving the Millennium Development Goals (MDGs), the Beninese government, like other African countries, has made considerable efforts to improve access to drinking water in both rural and urban areas [1]. In 2005, the service coverage rate in cities was around 51% [2]. As part of the Growth Strategy for Poverty Reduction, implemented from 2011 to 2015, the Beninese government identified improving access to drinking water as one of its most important challenges and made efforts to increase the coverage rate [3].

As in all capitals of countries south of the Sahara, the concentration of economic infrastructure has led to rapid expansion of the city of Cotonou and its suburbs, which are attracting increasing numbers of people [4]. In addition, Cotonou and its suburbs are supplied with drinking water from the Godomey catchment area, which is increasingly threatened by saltwater intrusion [5]. As a result, the drinking water supply rate has become insufficient given the high rate of urbanization and the

deterioration of water supply and distribution infrastructure [5]. The coverage rate in urban areas rose from 50% in 2005 to 58.52% in 2010, but still only covers 55% of Cotonou's needs and 20% of its outlying neighborhoods [2]. In other words, the water needs of the study area have been estimated at 2,820 m³/h [4]. To meet these needs, a major project to strengthen the drinking water supply system in Cotonou and its suburbs has been implemented. It plans to increase production capacity to 105,350 m³/day, representing 75% coverage in 2015, by installing a field of high-yield boreholes in the Ouédo district. This new field will complement the Godomey fields, while eliminating the risk of saline intrusion. To achieve this, a study combining the geophysical methods of electrical resistivity and granulometry was conducted.

2 PRESENTATION OF THE STUDY AREA

The city of Cotonou is located at the intersection of parallels 6°20' and 6°24' north latitude and meridians 2°20' and 2°29' east longitude. It is located at the southern tip of Benin, on the Atlantic coast. It is made up of several municipalities, including Abomey-Calavi. Ouédo is one of the districts of this municipality and is bordered to the south by the district of Hévié, to the north by the district of Glo-Djigbé, to the east by the municipality of Tori-Bossito, and to the west by the district of Togba (Fig. 1).

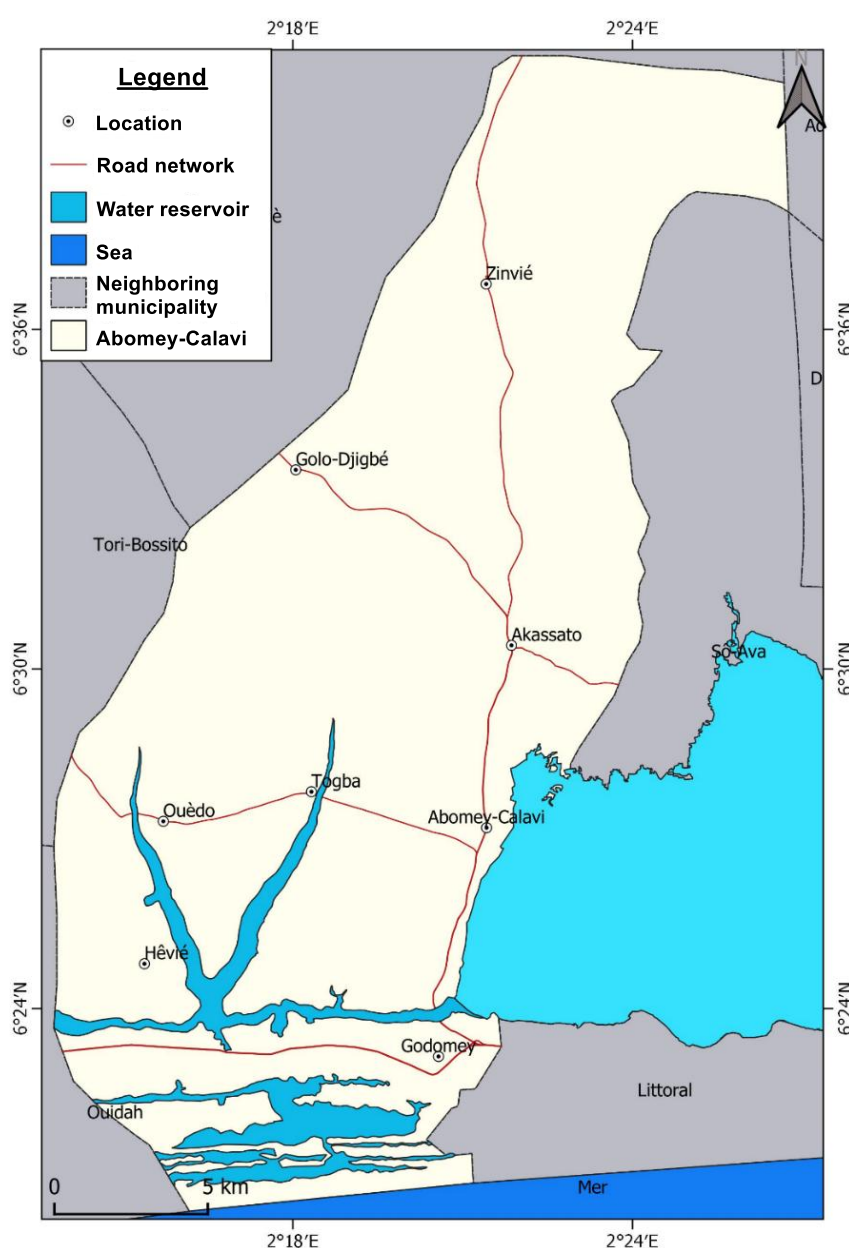


Fig. 1. Map of the study area

It is in this district that work has been carried out to reinforce the catchment area (drilling and equipping of production wells) with a view to supplying drinking water to Cotonou and its suburbs.

3 MATERIALS AND METHODS

3.1 EQUIPMENT

A SYSCAL resistivity meter (Fig. 2) was used to measure electrical resistivity in the field. The accessory equipment consists of a 12 V car battery, electrical connection wires (2 rolls of 200 m and 2 rolls of 400 m), metal electrodes, portable radios, etc.



Fig. 2. Photo of a SYSCAL resistivity meter

The granulometric measurements were performed using three (3) types of SAULAS brand sieves with respective diameters of 1 mm, 2 mm, and 3 mm (Fig. 3b). Fig. 3 shows photos of the sieves used and the samples collected and placed in boxes designed for this purpose (Fig. 3a). Samples are collected every 1 m as drilling progresses.



Fig. 3. Equipment used for particle size measurements: a) boxes containing soil samples taken during drilling; b) sieves used for particle size analysis

The accessory equipment consists of a bucket to hold the water used to wash the samples to be measured, syringes for sampling and measuring the volume of the samples, funnels for pouring the sand grains into the syringes for reading, a notebook and a pen for recording the measured values.

It should be noted that the equipment used to process electrical resistivity data consists of charts (CH1 and auxiliary charts A, K, H, Q) and Qwseln software from the geophysics laboratory at the University of Paris VI. As for the processing of

granulometric data in the field, this was done using graph paper, a pencil, an eraser, and a ruler. The granulometric curves were plotted using Excel.

3.2 METHODS

3.2.1 ACQUISITION OF ELECTRICAL RESISTIVITY DATA

The geophysical method used is the electrical resistivity method. It is based on measuring the resistivity of geological formations. This method involves transforming the input voltage supplied by a 12 V battery into a higher voltage, which is then applied to the ground via the AB current electrodes. This promotes the flow of a current of known intensity I between the two current electrodes. The voltage is collected at the terminals of two other electrodes (potential electrodes MN) to calculate the resistivity of the ground.

In this study, only the electrical sounding technique was applied. This technique is implemented using the Schlumberger device. In this symmetrical device, electrodes A, B, M, and N are aligned, with MN very small and centered relative to AB. It is characterized by a half-length $AB/2$ varying from 1 m to 400 m, with couplings between $AB/2 = 3$ m and $AB/2 = 4$ m, $AB/2 = 20$ m and $AB/2 = 24$ m, $AB/2 = 55$ m, and $AB/2 = 60$ m, and between $AB/2 = 100$ m and $AB/2 = 130$ m.

3.2.2 ACQUISITION OF GRANULOMETRIC DATA

Following electrical surveys, mechanical surveys were carried out, on the basis of which a granulometric study was conducted. The granulometric study, or granulometry, is a set of laboratory techniques used to determine the physical, petrographic, and geochemical characteristics of loose rocks [6]. The purpose of this work is to measure grain diameters. It consisted of taking a sample of drilling cuttings in a syringe of known volume. The sample was then sieved with water on three (3) sieves with diameters of 1 mm, 2 mm, and 3 mm. The first wash was carried out by pouring the entire volume of the first syringe onto the 1 mm diameter sieve. After washing, the second syringe was filled using the funnel and the volume measured. Pour this volume onto the 2 mm diameter sieve and proceed with the second wash. If there is no rejection for this sample, move on to the next one. But if there is a rejection, pour it back into the second syringe, measure it again, and note its value. Finally, repeat the same process on the third sieve with a diameter of 3 mm. The samples taken from each meter of the reconnaissance survey are thus sieved, except for those from areas consisting of compact clay. In sedimentary areas, such as our study area, we are interested in aquifers consisting of coarse sand. A more detailed description of the different sand particles is provided in Table 1 below.

Table 1. Detailed classification of sand particles

Particle	Different classes of sand particles
Sand	Particles between 0.063 mm and 2 mm in diameter
	Very coarse sand: 1–2 mm
	Coarse sand: 0.5–1 mm
	Medium sand: 0.25–0.5 mm
	Fine sand: 0.125–0.25 mm
	Very fine sand: 0.063–0.125 mm

3.2.3 INTERPRETATION OF ELECTRICAL RESISTIVITY DATA

The processing of electrical resistivity data is carried out in two stages: first manually, then digitally.

Manual interpretation required the use of the CH1 chart and auxiliary charts (LCD). Using the CH1 chart, the thickness h_1 and resistivity p_1 of the first soil layer and the ratio $(p_2)/p_1$ are determined. This ratio is used to deduce the true resistivity p_2 of the second layer. The auxiliary tables are used to identify the characteristics (true resistivity p and thickness h) of each underlying layer.

The principle of digital processing of survey data is based on a terrain model consisting of several layers. In this work, the models resulting from manual processing (tables) are entered into the software. The software then plots the curves corresponding to these models. To improve these models, the software's results optimization function was used. This function

tests several models and determines the one that is closest to both the measurements and the input model, which has a low margin of error.

Interpretation of this model leads to the location of aquifers, based on the true resistivity of the different superimposed layers. It also indicates their thickness and therefore their depth.

3.2.4 INTERPRETATION OF GRAIN SIZE DATA

The purpose of grain size analysis is to determine the productive horizons of mechanical boreholes in order to define the appropriate technical equipment for the structure. The grain size graphs were produced using Excel. The “grain diameter - sampling depth” data pair is plotted on semi-logarithmic paper, where:

- the grain diameters expressed in mm, determined by the mesh sizes of the sieves, were plotted on the x-axis on a logarithmic scale;
- the depths in meters (m) of the mechanical drilling were plotted on the y-axis on an arithmetic scale.

3.2.5 METHOD FOR SELECTING THE DEPTH OF DRILLING TO CAPTURE HIGH FLOW RATES

A granulometric analysis was performed on the samples to determine the productive horizons.

Thus, on the semi-logarithmic graph, the aquifer zones were identified, which will be captured using screened casings placed in relation to them. The aquifer layers were areas with more than 20% of elements larger than 1 mm, which correspond to coarse sands.

Based on this preliminary work, a high-yield drilling site was selected based on a combination of the following parameters:

- the average resistivity value in the deep parts of the boreholes: the higher this value, the more resistant the deep layers are and therefore the more likely they are to store water;
- the lithology, which is the nature of the rocks (geological formations) making up the different layers of the subsoil;
- the size of the constituent elements of the subsoil, with more than 20% of elements larger than 1 mm;
- and the thickness of the geological formations (sedimentary deposits, sand, gravel, etc.).

These observations indicate that the area is suitable for drilling.

4 RESULTS

4.1 ELECTRICAL SURVEYS

The results of the interpretation of surveys SE10, SE06, SE12, and SE03 obtained from the charts (CH1 and auxiliary) are recorded in Table 2.

Table 2. Results of the interpretation of surveys based on charts

Reconnaissance surveys								
Survey Layers	SR01 (SE10)		SR02 (SE06)		SR03 (SE12)		SR04 (SE03)	
	Res. (Ω .m)	Thick. (m)	Res. (Ω .m)	Thick. (m)	Res. (Ω .m)	Thick. (m)	Res. (Ω .m)	Thick. (m)
Layer 1	620	1.80	150	0.30	182	0.30	750	2
Layer 2	434	34.00	600	47.50	564	74.90	600	5
Layer 3	220	243	540	172	420	72.25	750	80
Layer 4	660	182	230	-	126.3	-	625	104
Layer 5	240	-					350	-

These results show that the most stratified soils have five (5) layers and the least stratified soils have four (4) layers. Analysis of reconnaissance surveys SR01 (SE10) and SR04 (SE03) shows soils with five (5) layers. The resistivities of layers 1, 2, and 4 of SR01 (SE10) are relatively high, ranging from 434 to 660 Ω .m. They are less conductive than the other two (layers 3 and 5). The thicknesses of the layers of SR01 (SE10) are respectively $h_1= 1.80$ m, $h_2= 34$ m, $h_3= 243$ m and $h_4= 182$ m. In the SR04 (SE03)

reconnaissance survey, the first four layers have relatively high resistivities (600-750 $\Omega\cdot\text{m}$) and are therefore less conductive than the fifth layer (350 $\Omega\cdot\text{m}$). These four layers have thicknesses of $h_1= 2$, $h_2= 5$, $h_3= 80$ and $h_4= 104$ m, respectively.

Reconnaissance surveys SR02 (SE06) and SR03 (SE12) reveal terrain with four (04) horizons. These surveys show low true resistivity values for the first and last layers. The two intermediate layers (layers 2 and 3) have high true resistivities ranging from 540 to 600 $\Omega\cdot\text{m}$ and from 564 to 420 $\Omega\cdot\text{m}$, respectively, for surveys SR02 (SE06) and SR03 (SE12). These two layers are therefore less conductive than the first layers. Layer 3 is the thickest in survey SR02 (SE06) with a thickness of 172 m. The thicknesses of layers 1 and 2 are estimated at $h_1= 0.30$ m and $h_2= 47.50$ m. For borehole SR03 (SE12), the true thickness of layer 1 is 0.30 m, while layers 2 and 3 are 74.90 m and 72.25 m thick, respectively.

These models were then digitally processed to refine the interpretations. Thus, the interpretation of models derived from the processing of electrical survey data SE10, SE06, SE12, and SE03 made it possible to construct four survey curves (Fig. 4).

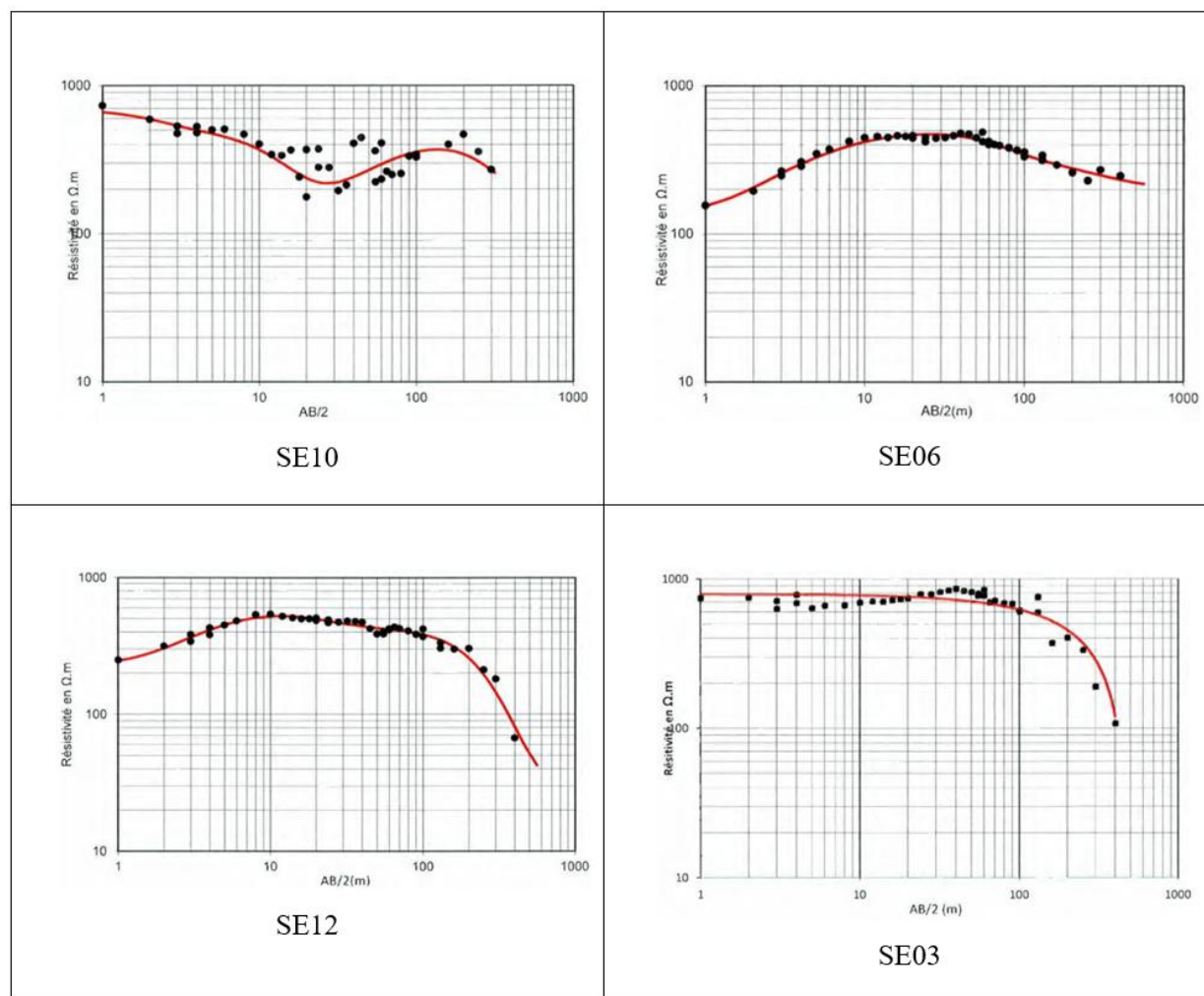


Fig. 4. Electrical survey curves

The true resistivities and thicknesses of the layers that make up the surveyed terrain are summarized in Table 3.

Analysis of the SR01 (SE10) reconnaissance survey gives an improvement deviation of 0.214. The resistivities of layers 1, 3, and 4 are higher than those of layers 2 and 3 and range from 300 to 600 $\Omega\cdot\text{m}$. Those of layers 2 and 5 are less than 300 $\Omega\cdot\text{m}$. The first and second layers are 3.62 m and 32.87 m thick, respectively. The third and fourth layers are 244.5 m and 179 m thick, respectively.

Table 3. Results of the interpretation of the surveys using QwseIn software

Survey Layers	Reconnaissance surveys							
	SR01 (SE10)		SR02 (SE06)		SR03 (SE12)		SR04 (SE03)	
	Res. (Ω .m)	Thick. (m)	Res. (Ω .m)	Thick. (m)	Res. (Ω .m)	Thick. (m)	Res. (Ω .m)	Thick. (m)
Layer 1	589.1	3.62	81.41	0.49	159.4	0.42	733.96	1.99
Layer 2	253.2	32.87	482.2	41.28	467.2	58.04	618.66	5.00
Layer 3	372.2	244.5	235.7	151.7	368.4	64.90	872.69	60.27
Layer 4	635.7	179.0	214.8	-	31.95	-	272.12	67.51
Layer 5	236.6	-					77.93	-

Reconnaissance Survey SR02 (SE06) indicates a thickness of 0.49 m and a resistivity of 81.41 Ω .m for the first layer. The resistivity of the second layer is the highest (482.2 Ω .m) and extends over 41.28 m. The third layer has a resistivity of 235.7 Ω .m and a thickness of 151.7 m. The resistivity of the last layer is 214.8 Ω .m. The values have been improved with a deviation of 0.056.

The analysis of the SR03 (SE12) Recognition Survey shows a thickness of 0.42 m and a resistivity of 159.4 Ω .m. The second and third layers have the highest resistivities (467.2 and 368.4 Ω .m). Their respective thicknesses are 58.04 and 64.90 m. The fourth layer has the lowest resistivity (31.95 Ω .m). For the SR04 (SE03) reconnaissance survey, the first three (3) layers have thicknesses of 1.99 m, 5 m, and 60.27 m, respectively, and high resistivities (733.96, 618.66, and 872.69 Ω .m). The last two layers have low resistivities of less than 300 Ω .m. These resistivity values are 272.12 Ω .m and 77.93 Ω .m, with a thickness of 67.51 m for the fourth layer Ω .m.

These different geophysical layers were then characterized in terms of grain size in order to identify probable aquifers.

4.2 ANALYSIS OF GRANULOMETRY RESULTS

The grain size distribution of reconnaissance borehole SR01 (SE10) shows that the coarse elements obtained with the 1 mm diameter sieve are fairly evenly distributed over almost the entire depth of the borehole (Fig. 5).

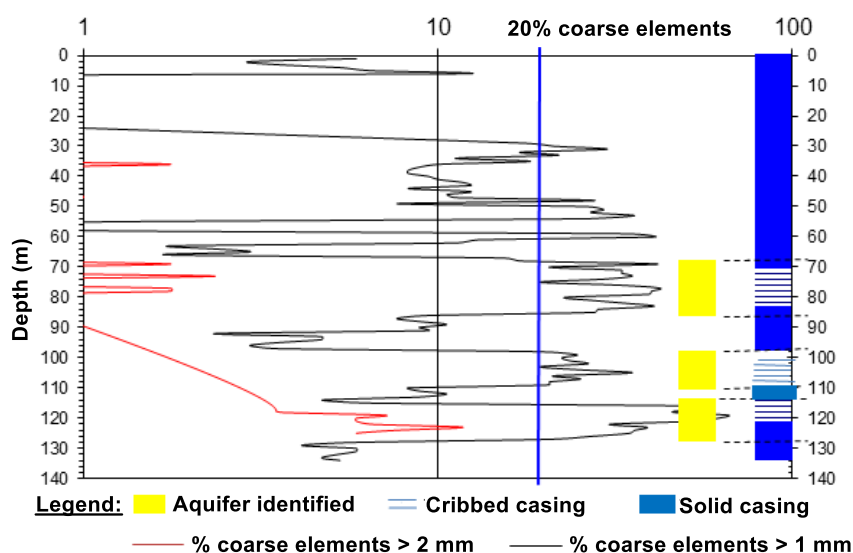


Fig. 5. Grain size distribution curve for reconnaissance borehole SR01 (SE10)

The percentage of these coarse elements varies (1%, 10%, 60%, etc.) and reaches 80% at a depth of 120 m. Coarse elements with a diameter of $d=2$ mm appear at a depth of 90 m and peak at 120 m. They also appear in a sawtooth pattern between 68 m and 78 m. They are also found slightly higher up, between 36 m and 38 m. However, sand particles with a diameter of $d=3$ mm were not identified anywhere throughout the mechanical drilling.

This granulometric analysis revealed three (3) aquifer layers: the first layer, 18 m thick, is located between 68 m and 86 m; the second layer (12 m) is between 98 m and 110 m; and finally, the third layer (14 m) extends from 114 m to 128 m. Another aquifer layer could have been identified between 35 and 40 m, but this was disregarded for technical and pollution reasons.

The grain size analysis of reconnaissance borehole SR02 (SE06) indicates that coarse elements ($d=1$ mm) are only present from a depth of 5 m downwards, and this is true for the entire depth of the borehole (Fig. 6).

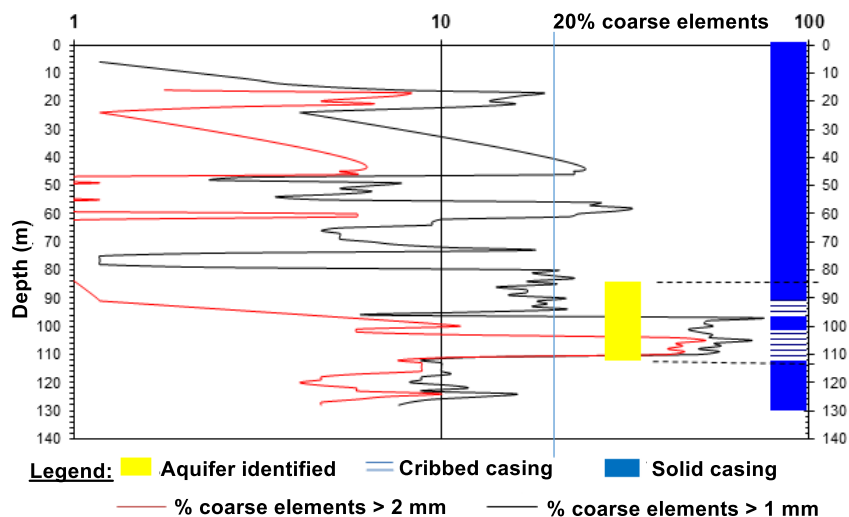


Fig. 6. Grain size curve for reconnaissance borehole SR02 (SE06)

The proportions of elements vary between 1.5 and 80%. Coarse elements with a diameter of 2 mm also appear at almost the entire depth of the mechanical borehole, except for the first fifteen meters and between 62 and 84 m deep. The percentages of these grains are generally below 10%, except after 80 m, where they reach 70%. Furthermore, no coarse elements are retained by the 3 mm diameter sieve. A single aquifer layer approximately 30 m thick (between 84 and 114 m deep) was therefore identified in this mechanical borehole.

Analysis of Figure 7 relating to the grain size curve of SR03 (SE12) indicates that the 1 mm diameter screen retained coarse elements observed from a depth of 42 m. The proportion of coarse elements with a diameter of 1 mm is significant ($>10\%$) between 60 m and 110 m and from 120 m onwards. The 3 mm diameter screen did not retain anything for this mechanical drilling. These results made it possible to identify the first aquifer between 68 m and 110 m and the second between 122 m and 140 m.

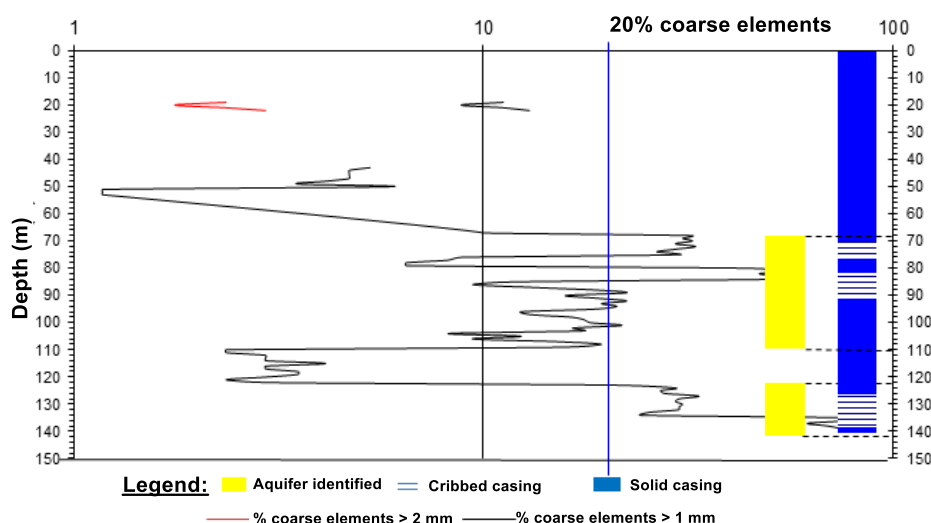


Fig. 7. Grain size curve for reconnaissance drilling SR03 (SE12)

The grain size curve for borehole SR04 (SE03) reveals that there is only one zone where the percentage of coarse elements exceeds 20% (Fig. 8).

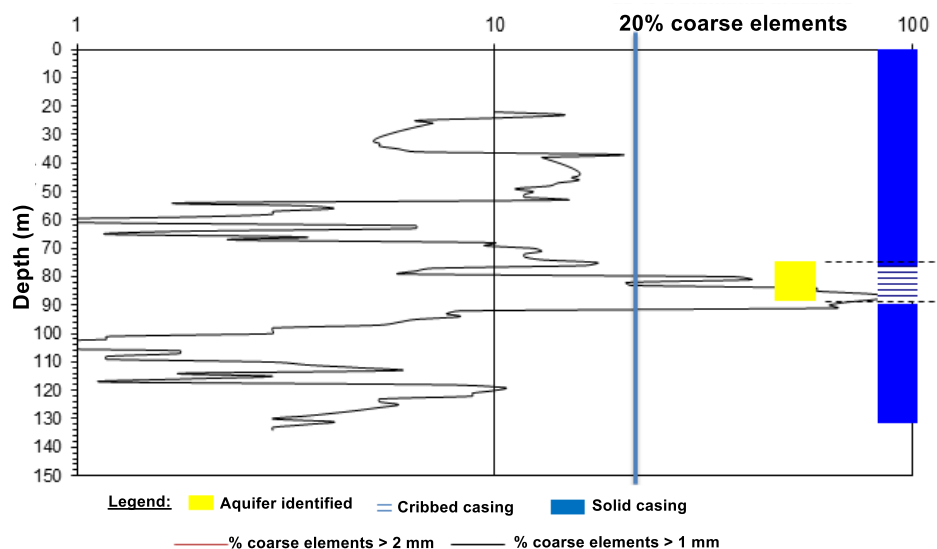


Fig. 8. Grain size curve for reconnaissance borehole SR04 (SE03)

This zone lies between two impermeable layers consisting of very fine particles. The curve representing the percentage of coarse grains with a diameter greater than 2 mm increases from 40 m to 88 m. As for the curve for elements with a diameter of 1 mm, coarse elements were observed from a depth of 40 m to the bottom. The third sieve also retained nothing here.

Borehole SR04 (SE03) therefore identified a single aquifer layer 10 m thick, extending from a depth of 50 m to 60 m. For this layer, the percentages of coarse elements tend towards 100% and fall to less than 10% towards the end of the mechanical borehole.

Table 4 summarizes the results of the grain size curve analyses for the various exploratory boreholes. For each exploratory borehole (drilling), it shows the number of layers constituting the borehole, the aquifer levels identified, and their thicknesses.

Table 4. Results of grain size interpretation

Surveys Layers	SR01(SE10)		SR02 (SE06)		SR03(SE12)		SR04(SE03)	
	Aquifer identified	Thick. (m)	Aquifer identified	Thick. (m)	Aquifer identified	Thick. (m)	Aquifer identified	Thick. (m)
Layer 1	-	68	-	84	-	61	-	75
Layer 2	+	18	+	30	+	28	+	15
Layer 3	-	12	-	16 and +	-	12	-	40 and +
Layer 4	+	12	-	-	+	13	-	-
Layer 5	-	4	-	-	-	3	-	-
Layer 6	+	14	-	-	+	14	-	-
Layer 7	-	6 and +	-	-	-	7 and +	-	-

Analysis of the table enabled the four electrical surveys to be classified into two groups. The first group concerned surveys SE10 and SE12. These showed the most stratified terrain, comprising seven layers each, including three aquifers. The second group corresponds to surveys SE06 and SE03. These are less stratified, as these electrical surveys showed three layers each. The latter have only one aquifer zone. Three aquifer layers were identified at depths between 60 m and 114 m. The summary of the survey results and grain size analysis enabled sixteen (16) boreholes to be drilled.

4.3 CHARACTERISTICS OF IMPLANTED DRILLHOLES

Table 5 below summarizes the characteristics of the sixteen boreholes installed. These include the depth drilled, the depth equipped, and the operating flow rate selected.

Table 5. Characteristics of the boreholes drilled at the selected sites

No. Drilling	Drilled depth (m)	Equipped depth (m)	Operating flow rate Q (m ³ /h)
FO 1	164	159	200
FO 2	158.3	155.69	200
FO 3	148	139.4	140
FO 4	162.5	159.88	140
FO 5	152.6	140.79	200
FO 6	130	120	200
FO 7	140.6	134.87	120
FO 8	134.3	130.88	200
FO 9	110.78	110.78	140
FO 10	108	107.76	140
FO 11	109	104.31	250
FO 12	144	142	100
FO 13	132	130.07	100
FO 14	107.5	102.5	100
FO 15	127.5	124.8	250
FO 16	144	138.1	200
Total	-	-	2,680

Table 6 shows operating flow rates ranging from 100 to 250 m³/h. Eighty-five percent of these boreholes have an operating flow rate greater than or equal to 140 m³/h. The cumulative flow rate of all boreholes installed in the locality is estimated at 2,680 m³/h, i.e., a daily flow rate of 64,320,000 l/d or 64,320 m³/d.

A classification of these operating flow rates (Table 6) showed that all boreholes provided high operating flow rates, with 81.25% of them being very high.

Table 6. Assessment of operating flow rate classes

Flow rate classes (m ³ /h)	Number	Percentage (%)	Rating
100 < Q < 150	3	18.75	High flow rates
150 < Q < 200	5	31.25	Fairly high flow rates
200 < Q < 250	8	50	Very high flow rates
Total	16	100	-

5 DISCUSSION

The various surveys (electrical and reconnaissance) indicated that the first aquifers identified from the various electrical surveys have true resistivities greater than 300 Ω.m. This can be explained by the presence of water-saturated sand and gravel. In sedimentary areas, water-saturated sand and gravel are conductive and therefore have low apparent resistivity values [7], [8]. The first layers of aquifers identified are located at depths greater than 60 m. This result is consistent with the work carried out by [9], which estimates that water can be collected at depths greater than 60 m in sedimentary areas. Electrical resistivity in sedimentary soils depends largely on the nature of the interstitial fluid and the matrix [10].

The results of the grain size analyses revealed the grain size of the drilling samples, the aquifer horizons, and their thicknesses. Three aquifers were identified by the SR01 survey. Their percentage of coarse elements ($d > 1$ mm) is greater than 20%. This confirms the presence of coarse elements in these three layers. In addition, these aquifers are separated from each other by layers with fine grain size. These layers were considered useful because they act as impermeable screens protecting against various types of pollution from the soil surface [7].

A single aquifer layer identified by borehole SR02 is characterized by a proportion of coarse elements ($d > 1$ and 2 mm) well above 20%. This layer is also sandwiched between two layers with fine to medium grain size. Finally, the significant thickness (30 m) of this horizon, especially in the Continental Terminal, can guarantee good productivity for the structures that have been built there.

The grain size curve of borehole SR03 showed two aquifer layers. The grain size of these two layers is medium because it was identified by the 1 mm diameter sieve. For the first layer, the percentage of coarse elements tends towards 80% in the levels between 80 and 85 m. In this zone, water can flow easily through the coarse elements (sand and gravel) [11]. According to this author, sand and gravel are highly permeable and allow for the collection of large amounts of water. However, very fine materials (silt and clay) do not easily transmit water and are impermeable. Therefore, the percentage of coarse elements varies between 10 and 20% in the other parts of this first layer. The second layer contains approximately 100% coarse elements and is approximately 20 m thick. In such a configuration, the thickest layer of coarse sand or gravel is likely to provide the highest flow rate [12].

An aquifer layer is determined on the grain size curve of borehole SR04. On this curve, the percentage of grains varies between 10% at around 70 m and 80 m for the 1 mm diameter sieve. This shows that the grain size of this aquifer layer is medium and homogeneous. At a depth of 90 m, the volume of grains obtained increases with the same sieve. However, the grain size becomes quite coarse with the appearance of increasing values for the second sieve with a diameter of 2 mm. This sieve began to retain more coarse elements, hence the increase in grain size. This analysis confirms the results obtained by the lithological section during the mechanical reconnaissance survey.

Coarse elements were encountered before the first sixty meters. These unconfined aquifers were isolated due to their vulnerability to anthropogenic pollution. Indeed, human activities are carried out in the vicinity of the catchment field. The summary grain size analysis carried out made it possible to determine the exact size or diameter of the coarse element samples.

Resistivity is a parameter that is particularly sensitive to moisture, grain size, and porosity. Another technique, electrical logging, provides essential information for characterizing the layers within a large radius around the borehole [13]. To consolidate the grain size results, electrical logging was used to refine the grain size results. High flow rates (100 to 250 m³/h) were obtained across all structures. These boreholes showed laminar water flow in the aquifers at a uniform velocity.

6 CONCLUSION

After more than fifty years of operation, Benin's drinking water supply infrastructure was no longer able to meet the demands of demographic and urban development. In fact, the water supply had become insufficient. This study therefore aims to establish a field of high-yield boreholes with a view to doubling the water needs of Cotonou and its suburbs by 2015. To achieve this, a combination of geophysics (electrical resistivity and electrical logging) and granulometry was used to locate aquifers likely to contain and drain large quantities of water. The electrical method distinguished the different geological layers that make up the subsoil of the locality. These are characterized by true resistivities ranging from 31.95 to 872.12 Ω , m and true thicknesses ranging from 1.99 to 244.5 m. This method also highlighted the conductive and resistive layers. Four exploratory boreholes were thus drilled. The granulometric analysis of these exploratory boreholes revealed three aquifer layers located at depths between 60 m and 114 m. These aquifers are formed of coarse elements with a diameter greater than 1 mm (fine, medium, and coarse sand and gravel). A collection field of sixteen (16) boreholes was therefore constructed, providing high operating flow rates (between 100 and 250 m³/h). The cumulative flow rate is estimated at 2,680 m³/h, or a daily flow rate of 64,320 m³/day or 64,320,000 l/day.

This supply has met more than 60% of the needs set out in the Millennium Development Goals (MDGs) for drinking water. In fact, in 2015, Benin achieved its drinking water coverage target, reaching a coverage rate of 82% compared to the 75% set by the United Nations.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by the Hydrogeology and geophysics Research Group of the Geosciences and Environment Laboratory at Nangui Abrogoua University in Abidjan, Ivory Coast. The constructive and valuable comments of the anonymous readers and the Editor-in-Chief of the Journal are greatly appreciated.

REFERENCES

- [1] Akpako, F. C., «Amélioration du système d’approvisionnement en eau potable dans les quartiers périurbains du sud Benin: cas de Cococodji et Hevié dans la commune d’Abomey-calavi,» Institut International d’Ingénierie de l’Eau et de l’Environnement, 2011.
- [2] Société Nationale des Eaux du Benin (SONEB), Bilan d’exécution du plan prévisionnel de développement et du contrat plan de la SONEB, 2011.
- [3] O. Société Nationale des Eaux du Benin (SONEB), Étude de collecte de données pour le développement des eaux souterraines et l’amélioration des systèmes d’approvisionnement en eau dans les départements de Couffo, Rapport final, 2018.
- [4] TERRABO, Etude hydrogéologique et étude d’impact environnemental et social dans le cadre de la mise en œuvre du projet de renforcement du système d’alimentation en eau potable de Cotonou et ses agglomérations phase II, Rapport R2 (Plan de gestion environnementale et social), 47 p, 2011B.
- [5] TERRABO, Etude hydrogéologique et étude d’impact environnemental et social dans le cadre de la mise en œuvre du projet de renforcement du système d’alimentation en eau potable de Cotonou et ses agglomérations phase II, Rapport R1 (Version finale), 201p, 2011A.
- [6] Castany, G., Principe et méthodes de l’hydrogéologie, Paris, Dunod, 1982.
- [7] Kouassi, F. W., Techniques d’implantation de forages, cours Master 2-EAU, 2009.
- [8] Kouhon, A., Prospection géophysique appliquée à la recherche de l’eau en zone sédimentaire dans la région de Dabou: cas de Nigui-Nanou (Sud de la côte d’Ivoire), Mémoire de DEA, Université d’Abobo-Adjamé, 58p, 2005.
- [9] DHH, Hydraulique Humaine en Côte d’Ivoire. Ministère des Infrastructures Economiques, Direction de l’Hydraulique Humaine, Abidjan, 66p, 2001.
- [10] L. N. Kouamé, B. C. Sombo, Z. B. Digbehi, A. P. Sombo, E. G. K. Kouassi and A. S. Essoh, «Relations vitesse sismique-propriétés pétrophysiques des terrains sédimentaires dans la marge continentale de Côte d’Ivoire,» *Geo-Eco-Trop*, Vol.35, pp.9-22, 2011.
- [11] Arjen, V. D. W., Connaissance des méthodes de captage des eaux souterraines. Fondation practica série manuel, 41p, 2008.
- [12] Robert, V., and Arjen, V. D. W., *Forage à boue, Manuel de Formation Techniques: Forage manuel à faible coût*, Fondation Practica série forage manuel, 50p, 2005.
- [13] Taillet, E., Caractérisation des discontinuités dans des ouvrages massifs en béton par la diagraphe électrique de résistivité, Thèse de doctorat en cotutelle, Université de Sherbrooke et Université de Bordeaux, 198p, 2013.

Efficacité agronomique d'amendements organiques améliorés à base de l'effluent du Biodigester sur la culture de maïs dans la région des Cascades au Burkina Faso

[Agronomic effectiveness of improved organic amendments based on effluent from the biodigester on corn cultivation in the Cascades region of Burkina Faso]

F.Y. LANKOANDE^{1,2}, A. BAMOGO¹, S. OUEDRAOGO², and M. TRAORE³

¹Département de vulgarisation et communication agricole, Institut du Développement Rural, Université Nazi Boni, 01 B.P. 1091 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

²Laboratoire d'Études et de Recherches des Ressources Naturelles et des Sciences de l'Environnement, Université Nazi Boni, 01 B.P. 1091 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

³Laboratoire d'Étude et de Recherche sur la Fertilité du sol, Université Nazi Boni, 01 B.P. 1091 Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

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

ABSTRACT: The present study aimed to determine the agronomic value of composts based on the effluent from the biodigester, which is a semi-buried structure with a fixed dome. The chemical characteristics of the composts and the soil were determined. The effects of the composts on the yield parameters of maize were evaluated using an experimental design. The design was in completely randomized blocks repeated six times. Each block included six elementary plots, each corresponding to a treatment: a control without fertilization, a treatment exclusively mineral, two plots amended only with compost, and two treatments combining compost and mineral fertilizers. The results showed that effluent-based composts have acceptable contents of organic matter (20.11 and 20.95%), nitrogen (0.66 and 0.75%), total potassium (0.51 and 0.62 g/kg), and carbon to nitrogen ratios (16 and 19) compared to the FAO's evaluation grid for the quality of organic substrates. On corn, fertilization with this compost alone or in combination with mineral fertilizers had positive effects on biomass and grain yield compared to the control. The obtained results revealed the fertilizing value of effluent-based compost. Its use could be an alternative to improve agricultural yields.

KEYWORDS: biogas digester, effluent, organic amendment, corn, Burkina Faso.

RESUME: La présente étude visait à déterminer la valeur agronomique des composts à base de l'effluent issu du biodigester qui est un ouvrage semi-enterré à dôme fixe. Les caractéristiques chimiques des composts et du sol ont été déterminées. Les effets des composts sur les paramètres du rendement de maïs ont été évalués à partir d'un dispositif expérimental. Le dispositif était en blocs complètement randomisés répétés six fois. Chaque bloc comprenait six parcelles élémentaires correspondant chacune un traitement: un témoin sans fertilisation, un traitement exclusivement minéral, deux parcelles amendées uniquement avec du compost et deux traitements combinant compost et engrais minéraux. Les résultats ont montré que les composts à base d'effluent ont des teneurs acceptables en matière organique (20,11 et 20,95%), azote (0,66 et 0,75%), potassium total (0,51 et 0,62 g/kg) et les ratios carbones sur azotes (16 et 19) comparativement à la grille d'évaluation de la qualité des substrats organiques de la FAO. Sur les maïs, la fertilisation à base de ce compost seul ou en association avec les engrais minéraux ont eu des effets positifs sur le rendement en biomasse et en grain de maïs par rapport au témoin. Les résultats obtenus ont révélé la valeur fertilisante du compost à base d'effluent. Son utilisation pourrait être une alternative pour améliorer les rendements agricoles.

MOTS-CLEFS: biodigester, effluent, amendement organique, maïs, Burkina Faso.

1 INTRODUCTION

Au Burkina Faso, l'agriculture est essentiellement basée sur les exploitations agricoles familiales ayant des moyens limités. Ce qui entrave leurs accès aux intrants agricoles notamment les fertilisants organiques et minéraux [1]. Cette agriculture est le secteur essentiel de l'économie burkinabè et occupe environ 80 % de la population active [2]. Les activités agricoles se caractérisent principalement par la pratique de cultures continues sur la même parcelle et la faible utilisation des fertilisants organiques et minéraux [3]; [4]. Il en résulte de ces systèmes de production une baisse continue de la fertilité des sols agricoles et par conséquent, une diminution de la productivité agricole [5]; [6]. Toutefois, il faut noter que la situation de dégradation des sols agricoles est réversible. En effet, pour [7], en Côte d'Ivoire, la valorisation de la fertilisation organique peut améliorer non seulement la production des cultures mais aussi assurer la durabilité des systèmes d'exploitation. Cependant, la mise en œuvre de ces recommandations rencontre quelques difficultés pour des questions de disponibilité des fertilisants organiques et/ou minéraux [8]. Si les engrais chimiques sont hors de portée de la plupart des agriculteurs de par leurs quantités insuffisantes et leurs coûts très élevés malgré les efforts d'approvisionnement fournis par l'Etat et ses partenaires, les fertilisants organiques qui sont une alternative très intéressante, restent toujours faiblement mobilisés par les producteurs à cause de la pénibilité de sa production [9]; [3].

Dans ce contexte, il apparaît important d'explorer et de promouvoir des technologies innovantes, accessibles aux communautés locales, afin d'améliorer leurs accès aux fertilisants organiques. A cet effet, le biodigesteur constitue une alternative stratégique pour l'intégration agriculture-élevage, offrant à la fois une source durable de fertilisants organiques et de biogaz pour la cuisson, particulièrement accessible et adaptée aux besoins des producteurs [10]. Le biodigesteur est un ouvrage semi-enterré à dôme fixe (Figure 1), construit pour recevoir un mélange de déjections animales (bovins, porcs,...) et/ou humaines et d'eau, en vue de produire du biogaz destiné notamment à la cuisson et à l'éclairage domestique ainsi que du fertilisant organique utilisable pour l'amendement des sols agricoles [11]; [10]. L'objectif global de ce travail est de contribuer à une meilleure appropriation du compost à base d'effluent en termes de bonnes pratiques de fertilisation dans la gestion d'une exploitation agricole familiale. Pour ce faire, il s'est agi de déterminer les caractéristiques chimiques du compost d'effluent et de déterminer les effets à doses variées de ce compost sur les paramètres agronomiques du maïs.

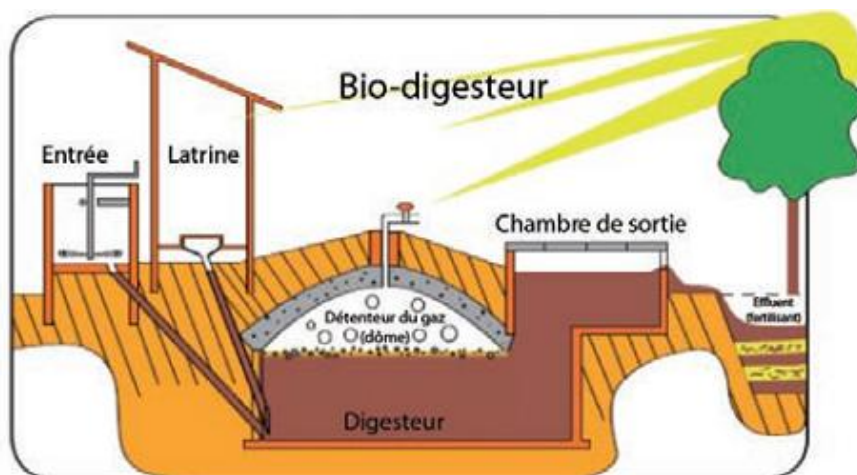


Fig. 1. Principes de base du biodigesteur à dôme fixe

Source: [11]

2 MATERIELS ET METHODES

2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La zone d'étude était localisée dans la région des Cascades, où les activités ont été menées dans deux villages différents. Il s'agissait du village de Banakoro localisé dans la commune rurale Sidéradougu et du village de Kangounadeni situé dans la commune de Tiéfara. Bien que ces deux villages soient distincts sur le plan administratif, ils présentent des caractéristiques agro-climatiques et socio-économiques similaires [12]. Le climat de la région est de type Sud-soudanien et est marqué par une pluviométrie moyenne annuelle variant de 800 à 1200 mm. Cette pluviométrie permet l'exploitation d'une gamme variée de cultures et l'élevage. Dans la région des Cascades, on rencontre essentiellement quatre types de sols à savoir: les lithosols, les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés, les sols ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions et les sols hydromorphes [13].

2.2 MATÉRIELS

Le maïs de variété FBC6 a été utilisé comme matériel végétal, à cause de sa bonne réponse aux fertilisants et sa disponibilité au niveau des services techniques et de vulgarisation agricole. Ce maïs beaucoup cultivé et vulgarisé dans la zone avec un cycle d'environ 91 jours, a un rendement potentiel de 5,6 tonnes par hectare. Son aire de culture correspond aux zones de pluviosité moyenne supérieure à 800 mm. Quant au matériel fertilisant, le compost amélioré à base d'effluent issu du biodigesteur et les engrais minéraux notamment le NPK (14-23-14) et l'urée (46 %) ont été utilisés au cours des essais.

2.3 MÉTHODES

2.3.1 PRODUCTION DU COMPOST À BASE D'EFFLUENT

Le processus de production de compost amélioré à base des effluents a suivi les étapes suivantes. Le remplissage de la fosse à compost se fait par une série de couches successives avec une épaisseur moyenne de 20 à 30 cm chacune, composées de matières organiques issues de pailles hachées, des déjections animales et des ordures ménagères biodégradables. L'ensemble est recouvert par 5 cm d'effluent issu du biodigesteur. Environ 5 piquets en bois ont été implantés dans la fosse. Ces piquets en bois étaient secoués tous les matins pour faire circuler l'air. Une fois la fosse remplie, elle est couverte de paille et on laisse le contenu séjourner jusqu'au remplissage de la deuxième fosse. Dès que la seconde fosse est remplie, le mélange de la première fosse qui connaît un début de maturation est vidé et déposé dans un endroit ombragé avec toujours les piquets implantés où la maturation se poursuivra. Au bout de deux mois, on obtient du compost mûr sans odeur nauséabonde. A maturité, le compost a une odeur de terre fraîche de bas-fond et est de couleur noir. Les matériaux originels (paille et déchets) ne sont plus reconnaissables car ils sont complètement décomposés.

2.3.2 MISE EN PLACE DE L'ESSAI

Le dispositif expérimental utilisé est en blocs complètement randomisés répétés six fois. Chaque bloc comprenait six (06) parcelles élémentaires correspondant chacune un traitement T0 (témoin sans fertilisation), T1 (200 kg/ha NPK + 100 kg/ha Urée), T2 (apport de 5 t/ha de compost), T3 (5 t/ha de compost + 200 kg/ha NPK), T4 (5 t/ha de compost + 100 kg/ha Urée) et T5 (apport de 6 t/ha de compost). Les dimensions du bloc sont de 10 m de longueur sur 10 m de largeur, soit d'une superficie totale de 100 m². Les blocs sont séparés entre eux par une allée de 2 mètres tandis qu'une allée de 1 m sépare les parcelles élémentaires d'un même bloc. La parcelle élémentaire à une superficie de 8 m² soit 10 m × 0,8 m. Les cultures ont été semées en ligne dans des poquets et démarrié à 2 plants par poquet. Les lignes sont distantes de 80 cm et les poquets de 40 cm, soit une densité de 62500 plants à l'hectare. La préparation du lit de semis a consisté en un labour à plat de profondeur comprise entre 10 à 20 cm avec une charrue à traction bovine. Les différentes doses du compost ont été appliquées en engrais de fond avant le labour pour un bon en fouissage au sol.

2.3.3 COLLECTE DES DONNÉES

Les échantillons de sol utilisés pour les analyses ont été prélevés sur chaque champ expérimental du site à la profondeur 0 à 20 cm qui est la couche arable où se déroule l'essentiel de l'activité racinaire. Les échantillons ont été collectés à neuf (09) points dans la parcelle de sorte à la couvrir complètement. Ces échantillons élémentaires ont été bien mélangés. Puis, une quantité de cinq-cents grammes (500g) de l'échantillon composite a été conditionnée pour les analyses des paramètres chimiques au laboratoire du Bureau National des Sols (BUNASOLS) à Ouagadougou. Le compost à base de l'effluent utilisé pour les amendements du sol a été analysé également. La collecte des données a concerné essentiellement les caractéristiques chimiques des échantillons prélevés notamment le sol et le compost à base d'effluent et l'évaluation des paramètres du rendement maïs (en graine et biomasse) exprimé en tonne par hectare (t/ha). Ces évaluations ont été faites à partir des plants récoltés dans chaque parcelle élémentaire utile.

2.3.4 ANALYSE DES DONNÉES

Les données collectées ont été vérifiées, saisies et traitées à l'aide du logiciel Microsoft Office Excel 2007. Le logiciel XLSTAT 2007 a été utilisé pour les analyses de variances (ANOVA) et le Test de Student-Newman-Keuls au seuil de signification de 5 % a été utilisé pour la comparaison des moyennes.

3 RESULTATS

3.1 CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES DU COMPOST

Les résultats d'analyse du compost d'effluent prélevé à Banakoro et Kangounadeni sont consignés dans le Tableau 1. Les composts de Banakoro présentaient des teneurs légèrement plus élevées en azote total (0,7%) et phosphore assimilable (339,29 mg/kg) mais légèrement faibles en Phosphore total (0,15 g/kg), potassium total (0,51 g/kg) et matière organique (20,11%) par rapport à celles des

composts de Kangounadeni. Ces résultats ont indiqué donc que les teneurs en éléments fertilisants varient légèrement en fonction du site. Les résultats de pH_{eau} s'étendaient de 7,02 des composts de Kangounadéni à 7,72 pour ceux de Banakoro. Dans l'ensemble, les composts avaient des pH proches de la neutralité. Quant à l'indice de minéralisation, les rapports C/N des composts d'effluent étaient compris entre 16 à Banakoro et 19 à Kangounadéni.

Tableau 1. Caractéristiques chimiques des composts à base d'effluent

Caractéristiques	Sites	Banakoro	Kangounadeni
		Composts	
MO (%)		20,11	20,95
C (%)		11,67	12,15
N _{tot} (%)		0,73	0,66
C/N		16	19
P _{tot} (g/kg)		0,15	0,30
P _{ass} (mg/kg)		339,29	270,33
K _{tot} (g/kg)		0,51	0,62
pH_{eau}		7,72	7,02

MO: Matière organique; C: Carbone organique; N_{tot}: Azote total; P_{tot}: Phosphore total; P_{ass}: Phosphore assimilable; K_{tot}: Potassium total.

3.2 RESULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES DU SOL

Les caractéristiques chimiques du sol du site de Kangounadeni sont présentées dans le Tableau 2. Il ressort de ces résultats que les teneurs en matière organique (0,500%), azote total (0,029%), potassium total (214,35 ppm), phosphore total (169,04 ppm), phosphore assimilable (6,6 ppm) étaient faibles et la teneur en potassium disponible (59,1 ppm) et le ratio C/N étaient acceptables par rapport aux normes d'interprétation des caractéristiques chimiques des sols [14]. En ce qui concerne le pH_{eau} du sol analysé, il était faiblement acide.

Tableau 2. Paramètres chimiques du sol du site de Kangounadéni

Paramètres chimiques	Valeurs	Normes BUNASOLS
MO (%)	0,500	1,0-2,0
C (%)	0,290	
N _{tot} (%)	0,029	0,06-0,10
C/N	10	
K _{tot} (ppm)	214,35	1000-2000
K _{disp} (ppm)	59,1	50-100
P _{tot} (ppm)	169,04	200-400
P _{ass} (ppm)	6,6	10-20
pH_{eau}	6,18	5,4-5,5

MO: Matière organique; C: Carbone organique; N_{tot}: Azote total; P_{tot}: Phosphore total; P_{ass}: Phosphore assimilable; K_{tot}: Potassium total; K_{disp}: Potassium disponible [14].

3.3 VARIATION DES PARAMETRES DU RENDEMENT MAÏS EN FONCTION DES TRAITEMENTS

Les résultats des analyses de variance pour les paramètres du rendement de maïs évalués à Kangounadéni sont représentés dans le Tableau 3. Il ressort que l'analyse de variance effectuée sur les rendements en biomasse et en grains des parcelles de maïs ont révélé une différence significative suivant les traitements. Ainsi, les régimes de gestion de la fertilité des sols expérimentés ont influencé le rendement de maïs en biomasse et en grains. En effet, les parcelles sous traitement exclusivement fumure minérale à la dose NPK, 200 kg/ha + Urée, 100 kg/ha (T1), ont enregistré le plus de biomasse (5,51 t/ha) et de grain de maïs (3,68 t/ha) alors que celles des témoins enregistraient les quantités les plus basses en biomasse (2,10 t/ha) et en grains de maïs (1,49 t/ha). Il ressort également des analyses que les traitements T3 (Compost 5t/ha + NPK 200kg/ha), T4 (Compost 5t/ha + Urée 100kg/ha) et T5 (Compost 6t/ha) avaient eu des rendements statistiquement équivalents en biomasse maïs dont les valeurs étaient respectivement 4,48 t/ha, 3,60 t/ha et 3,99 t/ha et en grains maïs respectivement 2,58 t/ha, 3,01 t/ha et 2,86 t/ha.

Tableau 3. Rendement maïs en fonction des traitements

Traitement	Rendement maïs (en t/ha)	
	En biomasses	En grains
T0 : Témoin ou sol sans fertilisation	2,10 a	1,49 a
T1 : NPK 200kg/ha + Urée 100kg/ha	5,51 c	3,68 c
T2 : Compost 5t/ha	2,43 a	1,86 a
T3 : Compost 5t/ha + NPK 200kg/ha	4,48 b	2,58 b
T4 : Compost 5t/ha + Urée 100kg/ha	3,60 b	3,01 b
T5 : Compost 6t/ha	3,99 b	2,86 b
Probabilité (5%)	0,001	0,001
Signification	S	S

NB: les valeurs de la même colonne affectées par les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes au seuil de 5% (ANOVA, Test de Student-Newman-Keuls). S: significatif.

4 DISCUSSION

Les composts améliorés à base d'effluent se sont révélés proches de la neutralité. Cette caractéristique proche de la neutralité a beaucoup d'avantage sur le sol comme sur les cultures. Parmi les effets bénéfiques de ces fertilisants organiques proches de la neutralité, il y a l'activation des activités des microorganismes du sol, nécessaire pour la minéralisation et la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes et par conséquent, offrent un environnement favorable aux plantes [15]; [16]. Les résultats d'analyse chimique ont révélé que les composts à base d'effluent ont des teneurs acceptables en éléments fertilisants comparativement à la grille d'évaluation de la qualité des fertilisants organiques [17]. En effet, les normes FAO qualifient des amendements organiques de qualité acceptable lorsque ces derniers ont une teneur comprise entre 10 à 30% pour la matière organique, 0,4 à 0,5% pour l'azote, 0,4 à 2,3% pour le potassium total et 20 à 25 pour le ratio C/N. Alors, les ratios C/N obtenus de l'analyse de ces composts indiquent une bonne minéralisation [18]; [19].

L'examen des résultats d'analyse chimique des sols qui avaient porté les essais a révélé qu'il y'avait un niveau faible en matière organique, azote total, potassium total, phosphore total, phosphore assimilable en fonction des normes d'interprétation [14] indiquant une pauvreté chimique du sol. Cette pauvreté en élément fertilisants des sols est due à plusieurs facteurs notamment les exploitations continues des champs sans amendement organique. Ces pratiques agricoles contribuent à la baisse de la fertilité des sols et par conséquent la baisse de la productivité des cultures [8]; [20]. Face à cette situation de pauvreté du sol, des solutions d'amélioration pour réhabiliter et maintenir la fertilité du sol sont nécessaires d'où l'apport des fumures organiques.

Quant à l'évaluation des effets des traitements sur les paramètres du rendement maïs, il ressort des résultats des essais que les traitements utilisés à savoir la fertilisation exclusivement minérale, l'amendement organique seul et l'association organo-minérale ont eu des effets différents sur le rendement en biomasse et en grain de maïs. La fertilisation exclusivement minérale s'est distinguée avec les rendements significativement plus élevés en biomasse et en grain de maïs à cause de sa composition d'éléments (azote, phosphore et potassium) immédiatement assimilables par les cultures. Quant aux rendements faibles enregistrés sur les parcelles amendées uniquement avec du compost, cela s'explique par le fait qu'à ce niveau les éléments nutritifs ne sont pas directement disponibles pour les cultures mais sont libérés progressivement suite à la minéralisation. En observant les résultats issus des deux types de traitement ci-dessus présentés, il est évident que l'approche combinant la fumure organique et les engrais minéraux est plus bénéfique à cause des effets additifs. Elle est une stratégie résiliente pour une agriculture productive et durable [21]; [4].

5 CONCLUSION

L'étude visait à évaluer les qualités chimiques du compost produit à base d'effluent et de déterminer l'efficacité agronomique du compost d'effluent sur les paramètres du rendement de maïs. Les résultats de cette investigation ont montré que les composts à base d'effluent ont des niveaux acceptables en éléments nutritifs et sont proches de la neutralité. Il ressort aussi des résultats des essais que la fertilisation à base de ce compost seul ou en association avec les engrais minéraux a eu des effets positifs sur le rendement en biomasse et en grain de maïs par rapport au témoin. C'est une piste d'amélioration pour réhabiliter la fertilité et assurer une gestion durable du sol.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les acteurs du Programme National de Biodigester au Burkina Faso pour son appui financier et matériel dans la réalisation de cette étude. Nous exprimons notre gratitude aux guides de terrain, aux agents techniques et aux différents producteurs pour leur disponibilité pendant la phase de collectes des données.

REFERENCES

- [1] S. A. Hema, B. Koulibaly, M. Traoré, K. Koulibaly, B. Yanogo et H. B. Nacro, «Efficacité agronomique et phytotoxicité résiduelle d'amendements organiques à base de boues de vidange sèches et de substrats locaux sur les cultures de maïs (*Zea mays* L.) et de cotonnier (*Gossipium herbaceum* L.) au Burkina Faso», *Revue africaine d'environnement et d'Agriculture*, vol. 6, no. 1, pp. 2-11, 2023.
- [2] GIZ, «Profil pays sur le pastoralisme et l'agriculture à petite échelle-Burkina Faso», GIZ, 2022.
- [3] M. N. Zakaria, J. M. K. Amboura, B. Arka et A. M. Abakar, «Effets des pratiques de gestion de la fertilité des sols sur les paramètres de rendement du riz dans les plaines rizicoles du sud du Tchad. J. Anim. Plant Sci., 62 (1): 11391-11399, 2024.
- [4] A. Bamogo, F. Y. Lankoande, B. Koulibaly et M. Traore, «Effets des pratiques paysannes de fertilisation sur la rentabilité de la production de maïs dans la zone cotonnière à l'Ouest du Burkina Faso», *Afrique SCIENCE*, vol. 26, no. 4, pp. 46-58, 2025.
- [5] F. G. B. Zro, D. Soro et D. H. A. Abobi, «Analyse comparée des effets de deux amendements organiques sur le statut organo-minéral et la productivité d'un sol sableux», *Journal of Applied Biosciences*, vol. 124, pp.12416-12423, 2018.
- [6] H. Bah, M. T. Diallo, T. B. Bah et S. B. Diallo, «Influence d'un engrais à base de fiente de poule sur le rendement et la composition biochimique de la pomme de terre (*Solanum tuberosum*) soumises au stress hydrique sur le sol ferrallitique», *Journal of Applied Biosciences*, vol. 194, pp.20538-20552, 2024.
- [7] F. J. K. Essy, N. J. Kouassi, N. Kouame et J. Y. Kouadio, «Effets de la fertilisation organique et de la densité de semis sur les performances agronomiques d'une variété de maïs (f8128) cultivée dans la région du Gbeke (Centre de la Côte d'Ivoire)», *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 16, no. 6, pp. 2869-2880, 2022.
- [8] A. Bamogo, F. Y. Lankoande, B. Koulibaly, M. Traore, A. Traore et H. B. Nacro, «Pratiques paysannes de gestion de la fertilité des sols dégradés dans la zone cotonnière Ouest du Burkina Faso», *Science et technique, Sciences Naturelles et appliquées* vol. 41, no. 1, pp. 133-148, 2022.
- [9] B. Bacye, S. H. Karambire et S. A. SOME, «Effets des pratiques paysannes de fertilisation sur les caractéristiques chimiques d'un sol ferrugineux tropical lessivé en zone cotonnière à l'Ouest du Burkina Faso», *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 13, no. 6, pp. 2930-2941, 2019.
- [10] Bamogo A., «Impact de l'utilisation du compost amélioré à base de l'effluent de biodigesteur sur les valeurs agronomiques du maïs et du cotonnier dans la région des Cascade», Mémoire de fin de cycle d'ingénieur en développement rural. Institut du Développement Rural, Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 2014.
- [11] H. Sama et T. S. Thiombiano, «Le biogaz à des fins domestiques. Fiche technique n°6 du programme international de soutien à la maîtrise de l'énergie». Institut de l'énergie et de l'environnement de la Francophonie (IEPF), Québec, Canada, 2012.
- [12] MJE, «Etude sur les créneaux porteurs d'emplois, Région des cascades». Ministère de la Jeunesse et de l'emploi (MJE), Ouagadougou, Burkina Faso, 2007.
- [13] INSD, «Monographie de la région des Cascades, Cinquième recensement général de la population et de l'habitation de 2019». Institut National de la Statistique et de la Démographie (INSD), Ouagadougou, Burkina Faso, 2022.
- [14] BUNASOLS, «Manuel pour l'évaluation des terres», Documentations techniques N°6, *Bureau National des Sols (BUNASOLS)*, Ouagadougou, 1990.
- [15] K. Koulibaly, K. Amani, J. L. Essehi, G. F. Yao, B. Kouame et H. B. Nacro, «Perception paysanne des pratiques de gestion de la fertilité des sols sous cultures maraîchères dans la Sous-préfecture de Djébonoua au Centre de la Côte d'Ivoire», *Journal of Applied Biosciences*, vol. 182, pp. 19088-19102, 2023.
- [16] F. Sakande, M. Traoré, B. Koulibaly, F. Y. Lankoande, T. Paré, K. Koulibaly et B. H. Nacro, «Perception locale de la dégradation des sols et pratiques de réhabilitation dans la zone cotonnière Ouest du Burkina Faso», *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, vol. 16, no. 5, pp. 2189-2201, 2022.
- [17] FAO, «Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole», Document de travail sur les terres et les eaux, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), Rome, Italie, 2005.
- [18] E. Compaoré, L. S. Nanema, S. Bonkounou et M. P. Sedogo, «Evaluation de la qualité de compost de déchets urbains solides de la ville de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso pour une utilisation efficiente en agriculture», *Journal of Applied Biosciences*, vol. 33, pp. 2076-2083, 2010.
- [19] A. Ouattara, B. Koulibaly, C. A. Traore, C. P. Doa, A. Beda and S. Hebie, «Effects of compost enriched with horn, bone and hoof powder on tomato (*Solanum lycopersicon* L.) yield and soil chemical characteristics in organic production in Burkina Faso», *Journal of Applied Biosciences*, vol. 209, pp. 22110-22123, 2025.
- [20] J. B. Mokolo, A. E. Issali, B. C. Ossete, J. Mpika et A. Yeba, «Effets de deux doses de fientes de poules sur la levée et la croissance de quatre cultivars locaux de Cucurbitaceae comestible cultivés en République du Congo», *Journal of Applied Biosciences*, vol. 194, pp. 20618-20638, 2024.
- [21] A. Faye, S. N. Sall et C. T. Faye, «Caractérisation biochimique et potentiel de fertilisation de composts innovants produits par les petits producteurs de la vallée du Fleuve Sénégal», *Journal of Applied Biosciences*, vol. 182, pp. 18877-18890, 2023.

Caractérisation physicochimique des farines dérivées d'ignames de sous-bois cultivées en association avec l'hévéa dans deux localités du Haut-Sassandra (Côte d'Ivoire)

[Physicochemical characterization of flours derived from undergrowth yams cultivated in association with rubber trees in two locations in Haut-Sassandra (Côte d'Ivoire)]

N'GORAN M'Modjou Flora¹, KOKO Anauma Casimir¹, DIGBEU Dogoré Yolande², SOUMAHIN Eric Francis³, and KOUAME Kan Benjamin¹

¹Département de Biochimie et Microbiologie, Université Jean LOROUGNON GUEDE, Daloa, Côte d'Ivoire

²Département des Sciences et Technologies des Aliments, Université NANGUI ABROGOUA, Abidjan, Côte d'Ivoire

³Département de Génétique, Biologie et Physiologie, Université Jean LOROUGNON GUEDE, Daloa, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: *Cocoassié* undergrowth yam tubers, recently cultivated in association with rubber trees in the Haut-Sassandra region, are used as staple foods. They are highly perishable once harvested. Processing them into flour could help reduce post-harvest losses and be a means of adding value. This study aimed to determine the physicochemical characteristics of undergrowth yam flour for value addition purposes. Untreated, bleached, and citric acid-treated flours were produced from yam tubers from the localities of Gonaté and Séria and characterized using conventional methods. The results revealed that yam flours are energy-rich foods high in total carbohydrates (92.77-94.31% DM), low in ash (0.99-1.98% DM) and lipids (0.14-0.25% DM). These flours contain proteins (4.40-5.21% DM), polyphenols (27.90-50.97 mg EAG/100 g), including flavonoids (2.53-7.32 mg EQ/100 g). Their tannin, phytate, and oxalate contents are 15.09-28.22 mg EAT/100 g, 12.41-16.04 mg/100 g, and 25.50-54.06 mg/100 g, respectively. In addition, anti-browning treatments, particularly bleaching and citric acid treatment of the tubers, had a significant impact on the physicochemical characteristics determined. Untreated flours generally had the highest ash, protein, and lipid contents, unlike acid-treated flours. As for bleached flours, they had the lowest levels of antinutritional compounds. For the efficient use of these flours in the food industry, their functional and rheological properties must be determined.

KEYWORDS: energy food, anti-browning, whitening, *Cocoassié*, *Dioscorea*, anti-nutritional factor.

RESUME: Les tubercules d'ignames de sous-bois *Cocoassié*, cultivés depuis peu, en association à l'hévéa dans la région du Haut-Sassandra constituent des aliments de soudure. Ils sont très périssables une fois récoltés. Leur transformation en farines pourrait contribuer à réduire les pertes post-récoltes et être une des voies de valorisation. L'objectif de cette étude a été de déterminer les caractéristiques physicochimiques des farines d'ignames de sous-bois à des fins de valorisation. Des farines non traitées, blanchies et traitées à l'acide citrique ont été produites à partir de tubercules d'ignames provenant des localités de Gonaté et Séria, et caractérisées suivant des méthodes conventionnelles. Les résultats ont révélé que les farines d'ignames sont des aliments énergétiques riches en glucides totaux (92,77-94,31 %MS), pauvres en cendres (0,99-1,98 %MS) et lipides (0,14-0,25 %MS). Ces farines renferment des protéines (4,40-5,21 %MS), des polyphénols (27,90-50,97 mg EAG/100 g) dont les flavonoïdes (2,53-7,32 mg EQ/100 g). Leurs teneurs en tanins, phytates et oxalates sont respectivement de 15,09-28,22 mg EAT/100 g, 12,41-16,04 mg/100 g et 25,50-54,06 mg/100 g. Par ailleurs, les traitements anti brunissements notamment le blanchiment et le traitement à l'acide citrique des tubercules ont impacté significativement les caractéristiques physicochimiques déterminés. Les farines non traitées ont globalement enregistré les teneurs les plus élevées en cendres, protéines et lipides contrairement aux farines traitées à l'acide. Quant aux farines blanchies, elles ont obtenu les taux de composés antinutritionnels les plus faibles. Pour une utilisation efficiente de ces farines en industries agroalimentaires, leurs propriétés fonctionnelles et rhéologiques doivent être déterminées.

MOTS-CLEFS: aliment énergétique, anti brunissement, blanchiment, *Cocoassié*, *Dioscorea*, facteur antinutritionnel.

1 INTRODUCTION

Les plantes à tubercules et racines constituent une source importante de calories pour de nombreuses populations vivant en Afrique de l'Ouest [1], [2]. Parmi ces plantes, figure l'igname, une culture vivrière de première importance. L'igname est une monocotylédone appartenant au genre *Dioscorea* qui comprend une grande diversité d'espèces végétales à tige généralement grimpante [3]. En Côte d'Ivoire, elle contribue à la sécurité alimentaire et nutritionnelle [4] avec une production annuelle de 7,9 millions de tonnes de tubercules. Du point de vue de la production, l'igname occupe le premier rang devant le manioc (7,2 millions de tonnes), la banane plantain (2,1 millions de tonnes) et le riz (2,01 millions de tonnes) [5].

Cultivée généralement pour ses tubercules riches en nutriments, l'igname est utilisée en alimentation humaine comme animale, en médecine et a également une valeur socio-culturelle [6]. Elle est riche en glucides et renferme des protéines, des minéraux et des vitamines [7]. En alimentation humaine, les tubercules d'ignames sont consommés sous forme bouillie, pilée (foutou), braisée ou frite. En outre, les tubercules d'igname peuvent être utilisés pour produire de la farine qui est un produit de diversification des formes d'utilisation [8]. En effet, la farine peut être utilisée en panification, en pastification, en viennoiserie, dans la production d'énergies renouvelables (Bioéthanol) [9], [10], etc. C'est d'ailleurs un produit très stable en comparaison aux tubercules frais qui sont périssables [11].

Parmi les variétés d'ignames, certaines dont les ignames dites « de sous-bois » sont très périssables après la récolte. En effet, elles subissent une oxydation rapide de leur chair et sont en proie à de nombreuses pertes post-récoltes. De plus, ces ignames cultivées en association avec différents vergers sont très peu valorisées. C'est le cas d'ailleurs de celles cultivées en association avec l'hévéa dans la région du Haut-Sassandra (Côte d'Ivoire). Elles sont encore mal connues [12]. Ces ignames pourraient donc être transformées en farines à des fins de valorisation. Par ailleurs, la connaissance de la matière première à traiter constitue la première étape de toute recherche de développement technologique et industriel [13]. C'est pour cela que la caractérisation physicochimique des farines dérivées de ces ignames de sous-bois s'avère indispensable. Cela permettra d'envisager les différentes voies de valorisation et d'orienter le choix des consommateurs.

La présente étude a pour objectif de déterminer les caractéristiques physicochimiques de différentes farines produites à partir d'ignames de sous-bois cultivées en association avec l'hévéa dans la région du Haut-Sassandra (Côte d'Ivoire). Les effets de traitements anti brunissements sur la composition chimique de ces farines issues de tubercules provenant de deux localités doivent être également déterminés. Les résultats permettront de sélectionner les meilleures farines pour les usages les plus appropriées en alimentation humaine.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL VÉGÉTAL

Des tubercules d'ignames de sous-bois du cultivar *Cocoassié* à chair blanche ont été utilisés dans cette étude (Figure 1). Ils ont été récoltés 12 mois après le semis dans des plantations d'hévéa de deux localités de la région du Haut-Sassandra (Côte d'Ivoire). Il s'agit des localités de Gonaté et de Séria. Dans chaque localité, une plantation est choisie pour y faire l'échantillonnage.



Fig. 1. Tubercule d'igname de sous-bois du cultivar *Cocoassié*

2.2 MÉTHODES

2.2.1 ÉCHANTILLONNAGE

Dans chaque plantation d'hévéa à laquelle est associée en culture l'igname *Cocoassié*, trois échantillons de tubercules de 30 kg chacun ont été prélevés et acheminés au laboratoire. Au total, six (6) échantillons de tubercules d'ignames ont été collectés à raison de trois par localité. Après un séjour de 24 h au laboratoire, les échantillons ont été apprêtés pour la transformation en farines.

2.2.2 PRODUCTION DES FARINES D'IGNAMES DE SOUS-BOIS COCOASSIE

Trois types de farines d'ignames ont été produits suivant le diagramme présenté sur la figure 2. Il s'agit des farines non traitées (FHGBr et FHSBr), des farines blanchies (FHGBl et FHSBl) et des farines traitées à l'acide citrique (FHGAc et FHSAc). Pour ce faire, chaque échantillon de tubercules d'ignames *Cocoassie* a été préalablement lavé à l'eau courante. Ensuite, les ignames ont été épluchées au moyen d'un couteau en acier inoxydable, parées et découpées en tranches d'environ 2 mm d'épaisseur. Ces tranches ont été placées dans différentes conditions en fonction du type de farines à fabriquer. Pour la production de farines non traitées, les tranches ont été rincées à l'eau et séchées à l'étuve de marque MEMMERT à 55 °C pendant 24 h. Concernant les farines blanchies, ces tranches ont été immergées dans de l'eau maintenue à 70 °C au bain marie pendant 1 min. Au terme de cette période, les tranches ont été retirées, laissées égoutter pendant 1 min à température ambiante et séchées à l'étuve à 55 °C pendant 24 h. Pour les farines traitées à l'acide, les tranches d'ignames ont été immergées aussitôt après le tranchage dans une solution d'acide citrique à 1 % (m/v) pendant 30 min à la température de 60 °C, maintenue constante au bain marie. Après le traitement, les tranches ont été égouttées et séchées à l'étuve à 55 °C pendant 24 h. A la fin de l'opération de séchage, les produits secs ont été retirés et broyés au mixeur. Le produit broyé a été tamisé à l'aide d'un tamis PROLABO de 200 µm de mailles pour obtenir la farine d'ignames. Cette farine a été emballée dans des sachets en polyéthylène et entreposée au réfrigérateur (+ 4 °C) pour les analyses ultérieures.

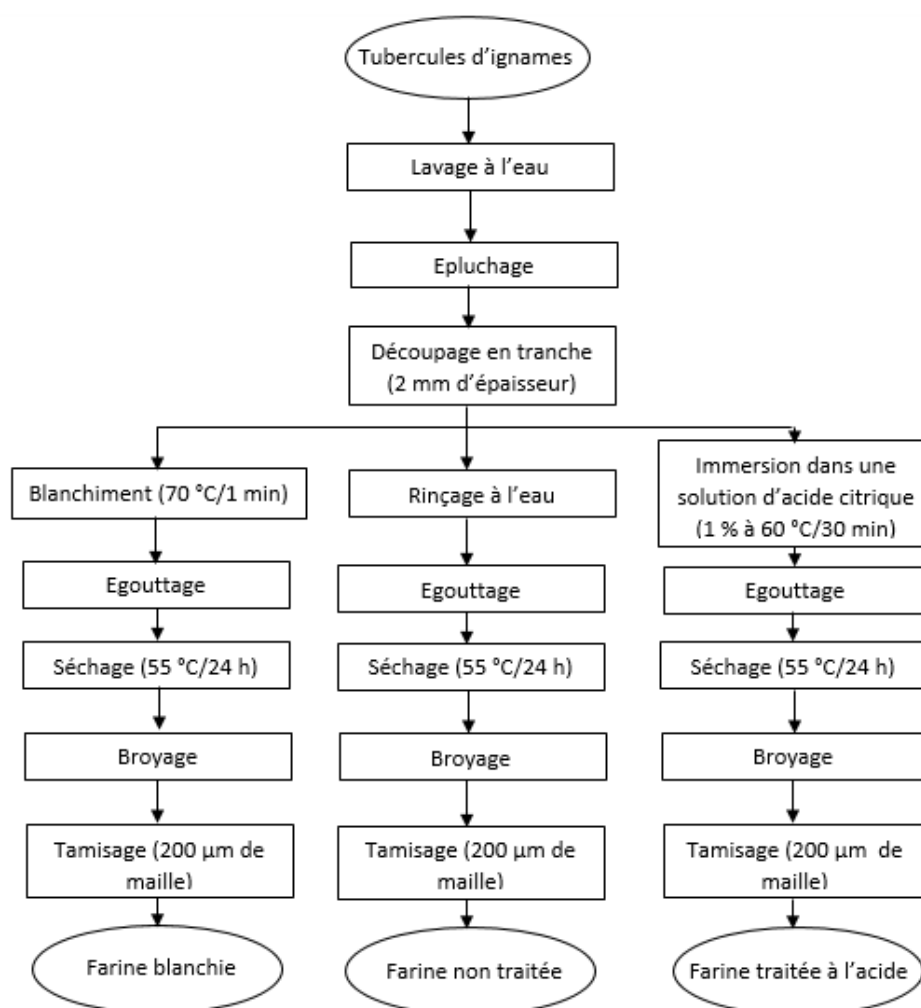


Fig. 2. Diagramme de fabrication des farines d'igname de sous-bois *Cocoassie*

2.2.3 ANALYSES PHYSICOCHIMIQUES DES FARINES DÉRIVÉES

Les analyses physicochimiques ont porté sur les farines dérivées des tubercules d'ignames de sous-bois cultivées en association avec l'hévéa dans deux localités (Gonaté et Séria). Les paramètres tels que l'humidité, le pH et l'acidité titrable ont été déterminés selon la méthode décrite par [14]. Les teneurs en cendres et en lipides ont été déterminées en suivant la méthode décrite par [15]. Pour le dosage des protéines, la méthode Kjeldahl [16] a été utilisée. Les taux de glucides totaux ont été calculés par la méthode des différences [17]. Par ailleurs, les coefficients d'Atwater et Rosa ont été utilisés pour le calcul de la valeur énergétique. La référence [18] a été suivie pour quantifier la teneur en sucres totaux. Quant aux sucres réducteurs, leurs teneurs ont été déterminées selon la méthode proposée par [19]. La teneur en amidon a été déterminée par calcul en utilisant la

formule décrite par [20]. Pour la cellulose, elle a été dosée par la méthode décrite par [21]. Les teneurs en composés antioxydants tels que les polyphénols totaux et les flavonoïdes ont été dosées par les méthodes respectives de [22] et [23]. Pour le dosage des minéraux, la spectrométrie d'émission optique avec plasma à couplage inductif (ICP-OES) a été la méthode utilisée. Les composés antinutritionnels notamment les tanins, les phytates et les oxalates ont été dosés par les méthodes respectives de [24], [25] et de [26].

2.2.4 TRAITEMENTS STATISTIQUES

Des analyses de classification hiérarchique ascendante (ACH) ont été réalisées sur les caractéristiques physicochimiques des farines produites aux fins de regrouper en classes ces farines en tenant compte de leur similarité. La méthode de Ward et le carré de la distance Euclidienne ont été utilisés respectivement pour l'agrégation et la distance métrique. En outre, des analyses de variance (ANOVA) à un facteur ont été effectuées en vue de comparer les moyennes des paramètres physicochimiques déterminés au niveau des farines produites. Lorsque la différence est significative ($p < 0,05$), des tests de comparaison multiple (Tukey HSD) ont été conduits pour séparer les échantillons de farines. Par ailleurs, le test de Kruskal-wallis a été réalisé lorsque les conditions d'application de l'ANOVA n'étaient pas vérifiées. Pour ces analyses, le logiciel STATISTICA 7 Release a été utilisé.

3 RÉSULTATS

3.1 COMPOSITION CHIMIQUE MOYENNE DES FARINES PRODUITES

Les teneurs moyennes des caractéristiques physicochimiques des farines non traitées sont présentées dans le tableau 1. Leur pH a oscillé entre 6 et 6,24 avec une moyenne de $6,09 \pm 0,09$. L'acidité est de l'ordre de $50,54 \pm 22,16$ meq/100 g pendant que la teneur en eau est de $7,82 \pm 0,46$ %. Ces farines renferment des protéines, cendres, glucides totaux avec des teneurs respectives de $4,81 \pm 0,09$ %, $1,94 \pm 0,06$ % et $92,99 \pm 0,14$ % MS. Parmi les glucides, l'amidon est le plus abondant ($83,67$ % MS) pendant que la teneur en cellulose est de $1,01 \pm 0,11$ %. De faibles teneurs en lipides ($0,24 \pm 0,02$ % MS) ont été enregistrées dans les farines non traitées d'ignames de sous-bois. Par ailleurs, elles contiennent des polyphénols ($45,72 \pm 3,00$ mg EAG/100 g) dont les flavonoïdes ($5,35$ mg EQ/100 g). Les teneurs en tanins, phytates et oxalates pour ces farines sont respectivement $19,18 \pm 3,05$ mg AT/100 g MS, $15,36 \pm 0,74$ mg/100 g et $51,46 \pm 2,84$ mg/100 g. Leur valeur énergétique est de $393,45 \pm 0,22$ kcal/100 g.

Tableau 1. Composition physicochimique moyenne des farines d'ignames de sous-bois Cocoassié non traitées

Paramètres	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
pH	6,00	6,24	6,09	0,09
Acidité (meq/100 g)	32,67	86,39	50,54	22,16
Humidité (%)	7,33	8,29	7,82	0,46
Cendres (%)	1,87	2,03	1,94	0,06
Protéines (%)	4,68	4,93	4,81	0,09
Cellulose (%)	0,87	1,13	1,01	0,11
Glucides totaux (%)	92,83	93,17	92,99	0,14
Amidon (%)	83,52	83,84	83,67	0,13
Lipides (%)	0,22	0,28	0,24	0,02
Polyphénols totaux (mg EAG/100 g)	42,92	48,50	45,72	3,00
Flavonoïdes (mg EQ/100 g)	4,91	5,78	5,3519	0,44
Sucres réducteurs (mg/100 g)	0,008	0,01	0,01	0,003
Tanins (mg EAT/100 g)	16,35	21,99	19,18	3,05
Sucres totaux (mg/100 g)	0,01	0,02	0,02	0,004
Phytates (mg/100 g)	14,61	16,06	15,36	0,74
Oxalates (mg/100 g)	48,83	54,15	51,46	2,84
Valeur énergétique (kcal/100 g)	393,13	393,65	393,45	0,22

Tout comme les farines non traitées, celles ayant subi un blanchiment ont un pH légèrement acide ($6,07 \pm 0,07$) avec une acidité de l'ordre de $50,56 \pm 13,37$ meq/100 g (Tableau 2). Leurs teneurs en humidité, cendres et protéines sont respectivement de $7,59 \pm 0,57$ %, $1,67 \pm 0,12$ % MS et $4,98 \pm 0,26$ % MS. Ces farines contiennent des teneurs élevées en glucides totaux ($93,12 \pm 0,39$ % MS) dont l'amidon ($83,78 \pm 0,35$ % MS) et la cellulose ($1,07 \pm 0,16$ % MS). Pauvres en lipides ($0,21 \pm 0,02$ % MS), les farines blanchies sont des aliments énergétiques fournissant une énergie de $394,38 \pm 0,37$ kcal/100 g. Elles renferment également des polyphénols totaux ($31,31 \pm 3,73$ mg EAG/100 g), des flavonoïdes ($3,49 \pm 1,05$ mg EQ/100

g) et des tanins ($16,04 \pm 1,04$ mg EAT/100 g). Des composés antinutritionnels tels les phytates et les oxalates y ont été dosés avec des teneurs respectives de $12,82 \pm 0,45$ et $26,78 \pm 1,40$ mg/100 g.

Tableau 2. Composition physicochimique moyenne des farines d'ignames de sous-bois Cocoassié blanchies

Paramètres	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
pH	5,95	6,14	6,07	0,07
Acidité (meq/100 g)	32,29	65,30	50,56	13,37
Humidité (%)	7,03	8,21	7,59	0,57
Cendres (%)	1,53	1,86	1,67	0,12
Protéines (%)	4,68	5,22	4,98	0,26
Cellulose (%)	0,88	1,23	1,07	0,16
Glucides totaux (%)	92,64	93,54	93,12	0,39
Amidon (%)	83,34	84,15	83,78	0,35
Lipides (%)	0,19	0,26	0,21	0,02
Polyphénols totaux (mg EAG/100 g)	27,88	34,77	31,31	3,73
Flavonoïdes (mg EQ/100 g)	2,51	4,46	3,49	1,05
Sucres réducteurs (mg/100 g)	0,01	0,02	0,01	0,005
Tanins (mg EAT/100 g)	15,04	17,03	16,04	1,04
Sucres totaux (mg/100 g)	0,03	0,03	0,03	0,003
Phytates (mg/100 g)	12,37	13,25	12,82	0,45
Oxalates (mg/100 g)	25,42	28,11	26,78	1,40
Valeur énergétique (kcal/100 g)	393,89	394,84	394,38	0,37

A côté de ces farines, celles issues d'un traitement à l'acide citrique de tubercules d'ignames ont un bas pH ($4,46 \pm 0,05$) et une acidité élevée ($141,05 \pm 13,98$ meq/100 g) (Tableau 3). Leur teneur en eau est de $7,22 \pm 0,18$ %. De faibles teneurs en cendres et en lipides y ont été enregistrées avec respectivement $0,99 \pm 0,04$ % MS et $0,15 \pm 0,02$ % MS. Par ailleurs, elles contiennent des taux élevés de glucides totaux ($94,38 \pm 0,10$ % MS). Les teneurs en amidon et cellulose de ces farines sont respectivement $84,91 \pm 0,09$ et $1,30 \pm 0,15$ % MS. Avec une valeur énergétique de $396,46 \pm 0,28$ kcal/100 g MS, ces farines renferment des facteurs antinutritionnels notamment des tanins ($27,31 \pm 0,99$ mg/100 g), des phytates ($14,17 \pm 0,87$ mg/100 g) et des oxalates ($40,00 \pm 8,98$ mg/100 g). Leurs teneurs en polyphénols totaux et flavonoïdes sont respectivement $48,24 \pm 2,99$ mg EAG/100 g et $7,08 \pm 0,26$ mg EQ/100 g.

Tableau 3. Composition physicochimique moyenne des farines d'ignames de sous-bois Cocoassié traitées à l'acide citrique

Paramètres	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
pH	4,40	4,53	4,46	0,05
Acidité (meq/100 g)	118,39	151,23	141,05	13,98
Humidité (%)	7,03	7,43	7,22	0,18
Cendres (%)	0,94	1,05	0,99	0,04
Protéines (%)	4,40	4,55	4,46	0,06
Cellulose (%)	1,14	1,47	1,30	0,15
Glucides totaux (%)	94,22	94,48	94,38	0,10
Amidon (%)	84,77	85,01	84,91	0,09
Lipides (%)	0,11	0,18	0,15	0,02
Polyphénols totaux (mg EAG/100 g)	45,47	51,01	48,24	2,99
Flavonoïdes (mg EQ/100 g)	6,81	7,36	7,08	0,26
Sucres réducteurs (mg/100 g)	0,01	0,01	0,01	0,002
Tanins (mg EAT/100 g)	26,40	28,28	27,31	0,99
Sucres totaux (mg/100 g)	0,02	0,03	0,02	0,002
Phytates (mg/100 g)	13,34	15,06	14,17	0,87
Oxalates (mg/100 g)	31,06	48,21	40,00	8,98
Valeur énergétique (kcal/100 g)	396,56	397,21	396,86	0,28

3.2 DIFFERENCIATION ENTRE LES FARINES PRODUITES

Le regroupement par ACH sur la base des paramètres physicochimiques des farines d'ignames de sous-bois produites a révélé des différences entre ces farines. Ainsi, trois groupes distincts ont été formés à l'issue de la troncature du dendrogramme à une distance d'agrégation voisin de 5000 (Figure 2). Il s'agit de:

- La classe 1 comprenant les échantillons de farines traitées à l'acide citrique issus des deux localités (fhsac1, fhsac2, fhsac3, fhgac1, fhgac2, fhgac3);
- La classe 2 composée de farines d'ignames blanches provenant des deux localités échantillonnées (fhgbl1, fhgbl2, fhgbl3, fhsbl1, fhsbl2, fhsbl3);
- La classe 3 renfermant les échantillons de farines non traitées issus des deux localités (fhgbr1, fhgbr2, fhgbr3, fhsbr1, fhsbr2, fhsbr3).

En outre, les farines produites à partir de tubercules d'ignames provenant de la localité de Gonaté peuvent être regroupées en trois classes en tenant compte des paramètres physicochimiques (Figure 3). Ces classes sont:

- La classe 1 formée par les échantillons de farines traitées à l'acide citrique;
- La classe 2 renfermant les farines blanches;
- La classe 3 composée de farines non traitées.

Ces différentes classes de farines ont été également obtenues avec les tubercules issus de la localité de Séria (Figure 4). Ces regroupements semblent mettre en évidence une influence des traitements anti brunissements et accessoirement un effet localité sur les paramètres physicochimiques déterminés au niveau des farines d'igname de sous-bois *Cocoassié*.

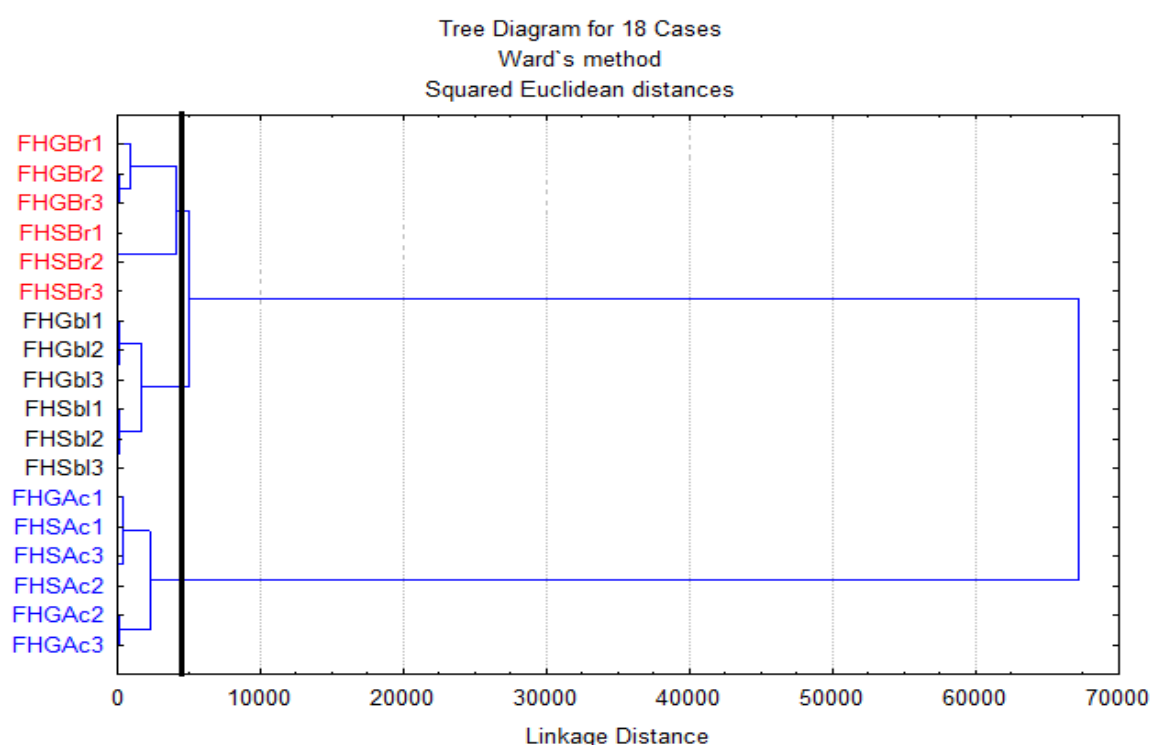


Fig. 3. Regroupement des échantillons de farines produits à partir de tubercules d'ignames de sous-bois issus des localités de Gonaté et Séria

FHGBr: Echantillon de farine non traitée issu de la localité de Gonaté

FHGBl: Echantillon de farine blanchie issu de la localité de Gonaté

FHGAcl: Echantillon de farine traitée à l'acide issu de la localité de Gonaté

FHSBr: Echantillon de farine non traitée issu de la localité de Séria

FHSbl: Echantillon de farine blanchie issu de la localité de Séria

FHSacl: Echantillon de farine traitée à l'acide issu de la localité de Séria

Les chiffres 1, 2 et 3 rattachés à chaque type de farine sont les numéros d'échantillons collectés.

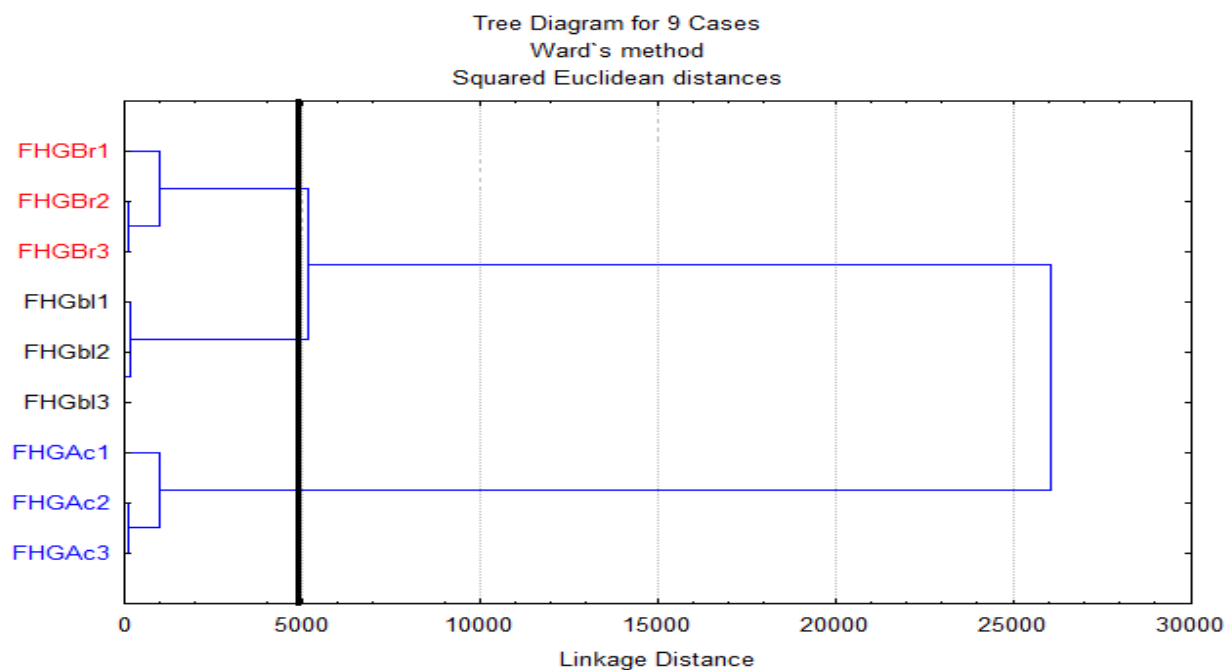


Fig. 4. Regroupement des échantillons de farines produits à partir de tubercules d'ignames de sous-bois issus de la localité de Gonaté

FHGBr: Echantillon de farine non traitée issu de la localité de Gonaté

FHGb1: Echantillon de farine blanchie issu de la localité de Gonaté

FHGAc: Echantillon de farine traitée à l'acide issu de la localité de Gonaté

Les chiffres 1, 2 et 3 rattachés à chaque type de farine sont les numéros d'échantillons collectés.

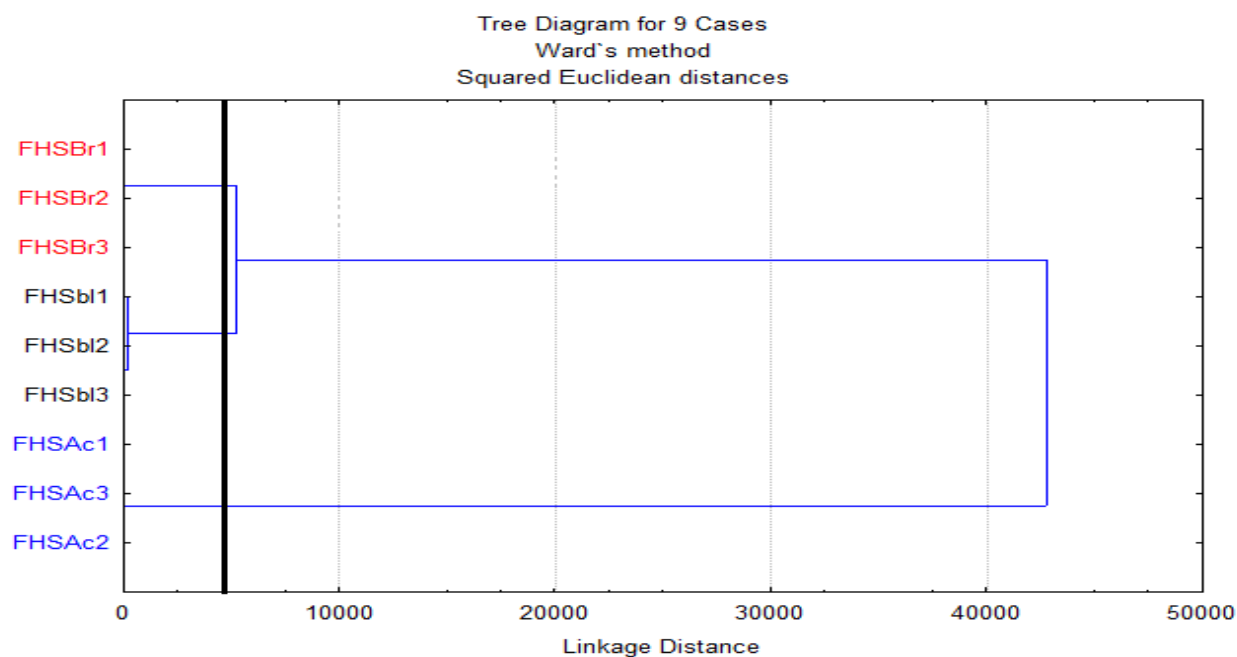


Fig. 5. Regroupement des échantillons de farines produits à partir de tubercules d'ignames de sous-bois issus de la localité de Séria

FHSBr: Echantillon de farine non traitée issu de la localité de Séria

FHSb1: Echantillon de farine blanchie issu de la localité de Séria

FHSAc: Echantillon de farine traitée à l'acide issu de la localité de Séria

Les chiffres 1, 2 et 3 rattachés à chaque type de farine sont les numéros d'échantillons collectés.

3.3 EFFETS DES TRAITEMENTS SUR LES CARACTERISTIQUES PHYSICOCHIMIQUES DES FARINES PRODUITES

Les farines produites diffèrent significativement entre elles sur la base des caractéristiques physicochimiques déterminées (Tableau 4). Les valeurs de pH les plus basses ont été obtenues dans les farines traitées à l'acide notamment FHGAc (4,44 ± 0,02) et FHSaC (4,48 ± 0,07). Ces deux types de farines ont enregistré les acidités les plus élevées avec 149,37±3,10 meq/100 g pour FHSaC. Les farines ont une faible humidité avec les valeurs les plus faibles enregistrées au niveau de FHGBI (7,07 ± 0,04 %) et FHGAc (7,06 ± 0,05 %). La farine FHSBr a eu le taux d'humidité le plus élevé avec 8,23 ± 0,05 %. Au niveau des teneurs en cendres, les farines traitées à l'acide ont enregistré les valeurs les plus faibles (0,99 % MS). La farine non traitée FHGBr a obtenu le taux le plus élevé (1,98 ± 0,06 % MS). De même, les farines traitées à l'acide ont enregistré les taux les plus faibles de protéines avec 4,40 % MS pour FHSaC et 4,51 % MS pour FHGAc. Les taux les plus élevés ont été notés dans les farines blanchies (5,21 ± 0,01 % MS) suivies des farines non traitées avec 4,89 ± 0,04 % MS (FHGBr). Les farines brutes et blanchies issues de la localité de Séria ont eu les plus faibles taux de cellulose avec respectivement 0,90 ± 0,03 et 0,93 ± 0,07 % MS. Les teneurs en glucides totaux des farines produites sont élevées et comprises entre 92,77 ± 0,14 et 94,45 ± 0,05 % MS. Les farines traitées à l'acide ont enregistré les taux les plus élevées avec 94,45 ± 0,05 % pour FHSaC et 94,31 ± 0,09 % pour FHSaC. Il en est de même pour les teneurs en amidon où les valeurs les plus élevées ont été obtenues avec les farines traitées à l'acide. Contrairement aux teneurs en glucides totaux, les plus faibles taux de lipides ont été enregistrés dans les farines traitées à l'acide notamment FHSaC avec 0,14 ± 0,02 % MS. Les farines non traitées FHGBr et FHSBr ont eu des taux relativement plus élevés en lipides avec des valeurs respectives de 0,25 ± 0,03 % et 0,23 ± 0,006 % MS. Les composés antioxydants tels que les polyphénols totaux et les flavonoïdes varient significativement d'une farine à l'autre. A ce propos, les farines traitées à l'acide (FHGAc) ont enregistré les teneurs les plus élevées avec respectivement 50,97 ± 0,04 mg EAG/100 g et 7,32 ± 0,05 mg EQ/100 g. Quant aux valeurs les plus faibles, elles ont été déterminées dans les farines blanchies FHGBI pour les polyphénols totaux (27,90 ± 0,03 mg EAG/100 g) et FHSBI pour les flavonoïdes (2,53±0,02 mg EQ/100 g). Pour les sucres totaux et les sucres réducteurs, les teneurs les plus élevées ont été obtenues dans les farines blanchies (FHGBI) avec les valeurs respectives de 39,01 ± 0,02 mg/100 MS et 21,13 ± 0,04 mg/100 MS. Les teneurs les plus faibles ont été enregistrées dans les farines non traitées (FHSBr) avec 17,94 ± 0,02 mg/100 g pour les sucres totaux et 8,33 ± 0,03 mg/100 g pour les sucres réducteurs. Concernant les composés antinutritionnels, les teneurs les plus élevées ont été enregistrées par les farines brutes avec 16,04 ± 0,03 mg/100 g pour les phytates (FHGBr) et 54,06 ± 0,09 mg/100 g pour les oxalates (FHSBr). Quant aux tanins, la farine traitée à l'acide FHGAc a eu la teneur la plus élevée (28,22 ± 0,06 mg AT/100 g) pendant que la farine blanchie FHSBI a obtenu la teneur la plus faible (15,09 ± 0,04 mg AT/100 g). Les farines produites sont riches en énergie avec des valeurs oscillant entre 393,34 ± 0,27 et 396,97 ± 0,33 % MS. Toutefois, les taux les plus élevés ont été obtenus au niveau des farines traitées à l'acide FHGAc et FHSaC avec respectivement 396,97 ± 0,33 et 396,74 ± 0,23 % MS. Les valeurs les plus faibles 393,34±0,27 et 393,56±0,12 % MS reviennent aux farines non traitées FHGBr et FHSBr, respectivement.

Tableau 4. Composition physicochimique moyenne des farines d'ignames produites à partir de tubercules issus des localités de Gonaté et Séria (Côte d'Ivoire)

Paramètres	FHGBr	FHGBI	FHGAc	FHSBr	FHSBI	FHSaC
pH	6,01±0,01bc	6,13±0,01de	4,44±0,02a	6,17±0,06e	6,02±0,06cd	4,48±0,07ab
Acidité (meq/100 g)	68,39±16,50b	39,45±6,19a	132,73±16,48bc	32,69±0,02a	61,67±6,23b	149,37±3,10c
Humidité (%)	7,40±0,07b	7,07±0,04a	7,06±0,05a	8,23±0,05c	8,12±0,09bc	7,39±0,04b
Cendres (%)	1,98±0,06e	1,76±0,11cd	0,99±0,05ab	1,89±0,02de	1,58±0,06bc	0,99±0,04a
Protéines (%)	4,89±0,04c	5,21±0,01d	4,51±0,04a	4,74±0,05b	4,74±0,05b	4,40±0,004a
Cellulose (%)	1,11±0,02bc	1,21±0,02de	1,44±0,03e	0,90±0,03a	0,93±0,07ab	1,17±0,03cd
Glucides totaux (%)	92,86±0,03ab	92,77±0,14a	94,31±0,09de	93,12±0,07bc	93,46±0,08cd	94,45±0,05e
Amidon (%)	83,55±0,03ab	83,46±0,13a	84,85±0,08de	83,79±0,06bc	84,09±0,07cd	84,98±0,04e
Lipides (%)	0,25±0,03d	0,23±0,03cd	0,17±0,01ab	0,23±0,006cd	0,19±0,006bc	0,14±0,02a
Polyphénols totaux (mg EAG/100 g)	48,46±0,05e	27,90±0,03a	50,97±0,04f	42,98±0,06c	34,71±0,05b	45,51±0,03d
Flavonoïdes (mg EQ/100 g)	5,75±0,03d	4,45±0,02b	7,32±0,05f	4,95±0,05c	2,53±0,02a	6,84±0,03e
Sucres réducteurs (mg/100 g)	13,83±0,03d	21,13±0,04f	15,10±0,03e	8,33±0,03a	11,23±0,03c	10,10±0,03b
Tanins (mg EAT/100 g)	21,97±0,02d	16,99±0,04c	28,22±0,06f	16,40±0,04b	15,09±0,04a	26,40±0,001e
Sucres totaux (mg/100 g)	25,95±0,02b	39,01±0,02f	31,57±0,05d	17,94±0,02a	32,46±0,02e	27,15±0,04c
Phytates (mg/100 g)	16,04±0,03f	13,23±0,02b	14,97±0,07e	14,68±0,06d	12,41±0,04a	13,37±0,03c
Oxalates (mg/100 g)	48,87±0,04e	28,07±0,03b	31,81±0,65c	54,06±0,09f	25,50±0,07a	48,20±0,01d
Valeur énergétique (kcal/100 g)	393,34±0,27a	394,12±0,31bc	396,97±0,33e	393,56±0,12ab	394,64±0,22cd	396,74±0,23de

Sur une même ligne, les valeurs ayant des lettres alphabétiques différentes sont statistiquement différentes ($p < 0,05$).

FHGBr: Echantillon de farine non traitée issu de la localité de Gonaté

FHGBI: Echantillon de farine blanchie issu de la localité de Gonaté

FHGAc: Echantillon de farine traitée à l'acide issu de la localité de Gonaté

FHSBr: Echantillon de farine non traitée issu de la localité de Séria

FHSBI: Echantillon de farine blanchie issu de la localité de Séria

FHSaC: Echantillon de farine traitée à l'acide issu de la localité de Séria

4 DISCUSSION

Pour réduire les pertes post-récoltes et fournir un produit plus stable capable d'être un moyen alternatif de diversification des formes d'utilisation des ignames de sous-bois *Cocoassié*, des farines ont été produites. A cet effet, Trois types de farines dérivées de ces ignames ont été fabriqués et caractérisés en vue de leur valorisation efficiente. Il s'agit de farine non traitée, de farine blanchie et de farine traitée à l'acide citrique. Ces farines sont riches en glucides, pauvres en lipides et en cendres. Ce sont des aliments énergétiques. Ces caractéristiques générales des ignames ont déjà été rapportées [27], [28]. Les teneurs en protéines des farines d'ignames de sous-bois *Cocoassié* sont proches de celles des ignames *Dioscorea alata* à chair blanche (6,96 %) de l'île Banggai en Indonésie signalées par [27]. En outre, ces farines ont des teneurs en protéines (4,4-5,21 %) relativement plus élevées que celles des farines de manioc [8]. Ces auteurs ont rapporté dans les farines fermentées de manioc ont des teneurs comprises entre 1,12 et 1,57 % lorsqu'ils travaillaient sur la caractérisation de celles-ci dans quatre localités de Côte d'Ivoire. Le pH des farines non traitées et blanchies dérivées de ces ignames est voisin de celui des farines de l'igname Bètè-bètè en Côte d'Ivoire qui est de l'ordre de 6,6 rapporté par [29]. En tenant compte des valeurs de pH, les farines non traitées et celles blanchies sont des aliments faiblement acides ($\text{pH} > 4,5$) pendant que les farines traitées à l'acide ($\text{pH} < 4,5$) sont acides [30]. Les différences entre les farines, portant sur le pH, sont dues aux traitements anti brunissements effectués. D'ailleurs, le regroupement des farines en trois groupes sur la base des caractéristiques physicochimiques confirme bien l'existence de différences entre elles. Les farines produites ont été regroupées en trois classes selon les traitements réalisés. En effet, une classe renferme uniquement les farines traitées à l'acide, une autre prend en compte seulement les farines blanchies et la dernière est composée d'échantillons de farines non traitées. De plus, quelle que soit la localité d'où provient l'igname, cette typologie en 3 classes est également perceptible. Les traitements anti brunissements des tubercules influenceraient les paramètres physicochimiques des farines dérivées. A ce propos, les analyses statistiques ont révélé que les caractéristiques physicochimiques des farines produites varient significativement d'une farine à l'autre. L'utilisation de l'acide citrique pour le traitement anti brunissement expliquerait le pH acide enregistré au niveau des farines traitées à l'acide. Il en est de même pour l'acidité élevée. Par ailleurs, les farines diffèrent par leur teneur en eau. Comme, l'on devait s'y attendre, ce sont les farines blanchies (FHGBI) et celles traitées à l'acide (FHGAC) qui ont enregistrées les teneurs les plus faibles ($7,07 \pm 0,04$ %). En effet, le blanchiment est un traitement thermique qui peut augmenter la perméabilité des parois cellulaires du végétal et faciliter le séchage ultérieur du produit [31]. Ainsi, une plus grande quantité d'eau serait libérée plus facilement expliquant de fait les faibles teneurs en eau dans ces farines. Toutefois, les teneurs en eau des farines produites sont inférieures à 13 % recommandé dans les farines comestibles [32]. Ces farines peuvent donc se conserver sur une période relativement longue.

Concernant les teneurs en cendres et en protéines, les farines traitées à l'acide ont encore obtenu les plus faibles valeurs. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que le traitement à l'acide citrique combiné au traitement thermique a entraîné des pertes en minéraux, des dissolutions et des dénaturations de protéines. Des pertes en minéraux lors des traitements hydrothermiques, ont déjà été signalées dans des racines et tubercules [7]. Tout comme pour les cendres et les protéines, le traitement à l'acide a affecté les taux de lipides aboutissant à des farines (FHGAC et FHSAC) ayant les taux les plus faibles. L'acide citrique pourrait entraîner la dégradation des lipides dont ceux membranaires justifiant les faibles teneurs relevées au niveau des farines traitées à l'acide. Ces faibles teneurs en lipides dans les farines traitées à l'acide peuvent s'expliquer également par le fait que les refus de tamisage en contiendraient plus que les autres types de farines. En alimentation humaine, l'acide citrique est bien connu comme un additif alimentaire [33]. Il est utilisé entre autre comme conservateur et pour son rôle contre le brunissement enzymatique (antioxydant). Dans la présente étude, il a permis de réduire l'oxydation des polyphénols permettant ainsi d'avoir des farines traitées avec les taux les plus élevés pour ces composés. En comparaison aux farines non traitées, celles issues du blanchiment de tubercules à 70 °C pendant 1 min ont eu des teneurs en polyphénols totaux et flavonoïdes les plus faibles. Le blanchiment a donc induit une diminution des teneurs en polyphénols. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les polyphénols étant hydrosolubles, se dissolvent lors de cette opération. Ils seraient lessivés [34]. La référence [35] a rapporté de telles pertes de polyphénols dans des légumes-feuilles. Selon cet auteur, ces pertes ont atteint 15 % pour les oseille, corètes et des épinards lors d'une cuisson par ébullition. Par ailleurs, les teneurs en sucres totaux et sucres réducteurs des farines traitées ont été plus élevées que celles des farines non traitées. Ceci serait dû aux traitements subis par les tranches d'ignames de sous-bois lors de la fabrication des farines. En effet, les tubercules ont été soumis à un blanchiment d'une part pour obtenir des farines blanchies et d'autre part à un traitement à l'acide citrique combiné à un traitement hydrothermique pour donner les farines traitées à l'acide. Les effets de la température et ou de l'acide citrique expliqueraient ces valeurs élevées [36]. Ces facteurs expliqueraient également le fait que les farines blanchies et celles traitées à l'acide aient des teneurs en composés antinutritionnels (phytates et oxalates) inférieures à celles des farines non traitées. Les traitements ont induit une diminution des teneurs en composés antinutritionnels dans les farines. L'effet des traitements hydrothermiques sur la baisse des teneurs en phytates et en oxalates a déjà été signalé [35]. C'est certainement pour ces mêmes raisons que les farines blanchies ont eu de faibles teneurs en tanins. En addition, les farines produites sont riches en glucides totaux dont l'amidon est le constituant principal (83-85 % MS). Du fait de leur richesse en amidon, ces farines pourraient être utilisées entre autres dans les industries agroalimentaires, les industries pharmaceutiques et les industries chimiques. Les variations significatives de teneur en amidon, constatées entre les farines peuvent être dues aux traitements anti brunissements qui ont entraîné une baisse de teneur en protéines, en cendres et en lipides dans certaines farines. En effet, ces paramètres sont utilisés pour le calcul de la teneur en glucides totaux et par conséquent de la teneur en amidon. Une fluctuation de teneur de ces paramètres au niveau des farines auraient un impact sur la teneur en amidon de celles-ci. De plus, ces farines étant très pauvres en lipides, un aliment simple hautement énergétique, la valeur énergétique calculée est fortement dépendant du taux de glucides totaux. C'est pourquoi les farines traitées à l'acide ont enregistré les valeurs énergétiques les plus élevées.

5 CONCLUSION

Les farines non traitées, blanchies et traitées à l'acide dérivées d'ignames de sous-bois Cocoassié provenant de deux localités ont été caractérisées. Les effets des traitements anti brunissements sur la composition physicochimique de ces farines ont été également déterminés. Il ressort de cette étude que les farines produites sont des aliments énergétiques, riches en glucides totaux dont l'amidon est l'un des principaux constituants. Ils sont en outre, pauvres en lipides et en cendres. En comparaison aux farines de manioc, leur teneur en protéines est plus élevée. En addition, les traitements anti brunissements ont affecté l'ensemble des paramètres analysés au niveau des farines d'ignames. Ils ont entraîné une diminution du pH, des teneurs en humidité, en cendres, en protéines, en lipides, en composés antinutritionnels (oxalates et phytates). En revanche, les traitements ont induit une augmentation des teneurs en sucres totaux, en sucres réducteurs, en glucides totaux et de l'acidité dans les farines traitées. Au niveau de certains composés, les traitements ont entraîné une augmentation de teneurs dans certaines farines et une diminution dans d'autres. C'est le cas des polyphénols totaux, des flavonoïdes et des tanins pour lesquels les farines traitées à l'acide ont enregistré les teneurs les plus élevées pendant que celles blanchies ont eu les valeurs les plus basses. Les farines non traitées ont globalement enregistré les teneurs les plus élevées en cendres, en protéines et en lipides. Toutefois, leur teneur en oxalates et phytates sont les plus élevées. Les différentes variations des teneurs des paramètres physicochimiques entre les farines sont à relier aux effets des traitements anti brunissements subis par les tubercules d'ignames de sous-bois utilisés comme matières premières. En conséquence, les utilisations alimentaires les plus appropriées de ces farines doivent être déterminées en tenant compte en plus des caractéristiques physicochimiques, de leurs propriétés fonctionnelles et rhéologiques.

REFERENCES

- [1] R. Asiedu and A. Sartie, «Crops that feed the World 1. Yams,» *Food Security*, vol. 2, pp. 305-315, 2010.
- [2] Mordor, Intelligence, *Analyse de la taille et de la part du marché de l'igname – Tendances et prévisions de croissance (2024-2029)*, 2023. [Online] Disponible sur: <https://www.mordorintelligence.com/fr/industry-reports/yams-market> (09/09/2025).
- [3] Z. Wang, Z. Shengnan, T. Siyu, H. Guige, Z. Fenglan, T. Shenpeng and M. Qingguo, «Dioscorea spp.: Bioactive Compounds and Potential for the Treatment of Inflammatory and Metabolic Diseases,» *Molecules*, vol. 28, 2878. 2023. <https://doi.org/10.3390/molecules28062878>.
- [4] K.E.B Dibi, E.A. Ehounou, S.B. Essis, A.K. Hala, K.T. Kouamé, B. N'zué, M.A. Kouakou, «Bien produire des semences de qualité de l'igname kponan par fragmentation précoce de tubercules». Fiche technique, Direction de la Recherche et de l'Innovation – Service Publications et Informations Scientifiques, CNRA, 2p, 2024. https://cnra.ci/wp-content/uploads/2024/09/ftec_igname_bien_produire_semences_kponan.pdf (20/08/2025).
- [5] FAOSTAT, *Statistiques de production*. FAO. [Online] Disponible sur: <https://www.fao.org/faostat/fr/#data> (09/08/2025).
- [6] M.R. Lombe, J.I. Bekemo, O.K. Ngandu, K.J-P. Ngbolua, «Les espèces du genre Dioscorea (Ignames) en Afrique tropicale et subtropicale,» *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, vol. 12, no. 4, pp. 240-251, 2024.
- [7] Trèche S., *Potentialités nutritionnelles des ignames (Dioscorea spp.) cultivées au Cameroun*. Volume I. Editions de l'ORSTOM, Collection ETUDES et THESES, Paris (France), 1989.
- [8] A.C. Koko, B.K. Kouamé, E. Assidjo and G. Amani, «Characterization and utilization of fermented cassava flour in breadmaking and placali preparation,» *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 8, no. 6, pp. 2478-2493, 2014.
- [9] H.I. Randrianarivelo, Optimisation de fabrication de l'éthanol à partir de la farine de manioc par voie enzymatique, Université Antananarivo, Madagascar, 2022.
- [10] R.T.F.B. Rampanarivo, Contribution à la valorisation d'igname ou ovala de Madagascar (*Dioscorea alata* et *Dioscorea cayenensis*) pour la production de bioéthanol, Université Antananarivo, Madagascar, 2023.
- [11] Hounhouigan, D., Akissoe, H.N., Bricas, N., and Vernier, P., Diagnostic des systèmes techniques de transformation de l'igname en cossettes séchées au Bénin. In: Berthaud and J-L Marchand (Eds.), *L'igname, plante séculaire et culture d'avenir*, Actes du séminaire International Cirad-Inra-Orstom-Coraf, Montpellier, France, pp. 349-351, 1997.
- [12] F.M. N'Goran, Y.D. Digbeu, B.K. Kouamé, E.F. Soumahin and C.A. Koko, « Composition nutritive des ignames de sous-bois cultivées en association avec l'hévéa et le cacao à Gonaté dans la Région du Haut-Sassandra (Côte d'Ivoire). *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT)*, vol. 18, no. 10, pp. 35-41, 2024.
- [13] J. J. Miche, Conservation des aliments, composition, qualité, biodisponibilité, PUF, 1974.
- [14] AOAC, *Official Methods Of Analysis, 14th Edition*, Association Of Official Analytical Chemists, Washington Dc, 1984.
- [15] BIPEA, *Recueil des méthodes d'analyses des Communautés Européennes*, Bureau Inter Professionnel D'études Analytiques, Bipea, 1976.
- [16] AOAC, *Official Methods Of Analysis Chemists*, Association Of Official Analytical Chemists, Washington Dc, 1999.
- [17] K. S. Diallo, K. Koné, D. Soro, N. E. Assidjo, K. B. Yao and D. Gnagri, «Caractérisation Biochimique Et Fonctionnelle Des Graines De Sept Cultivars De Voandzou [*Vigna Subterranea* (L.) Verdc. Fabaceae] Cultivés En Côte D'Ivoire,» *European Scientific Journal*, vol. 11, no. 27, pp. 288-304, 2015.
- [18] M. Dubois, K. Gilles, J. K. Hamilton, P. Rebers and F. Smith, «Colorimetric Method For Determination Of Sugars And Related Substances,» *Analytical Chemistry*, vol. 28, pp. 350-356, 1956.
- [19] Bernfeld, P., *Amylase And Proteases*, In: S. Colswick, and N. Kaplan (Eds.), *Methods In Enzymology*, Academic Press: New-York, USA, pp. 149-154, 1955.
- [20] G. Bertrand and P. Thomas, Guide Pour Les Manipulations De Chimie Biologie, Dunod, Paris, 1910.

- [21] AOAC, Official Method Of Analysis, 15th Edition, vol. 2, K. C. Helrich, USA, 1990.
- [22] J. Wood, S. Senthilmohan and A. Peskin, «Antioxidant Activity Of Procyanidin-Containing Plant Extracts At Different Phases,» *Food Chemistry*, vol. 77, no. 2, pp. 155-161, 2002.
- [23] D. Marinova, F. Ribarova and M. Atanassova, «Total Phenolics and Total Flavonoids In Bulgarian Fruits And Vegetables,» *Journal Of The University Of Chemical Technology And Metallurgy*, vol. 40, no. 3, pp. 255-260, 2005.
- [24] Z. Bainbridge, K. Tomlins, K. Willings and A. Westby A, «Methods For Assessing Quality Characteristic Of Non Grain Starch Staple,» Part 4 Advanced Methods, National Ressources Institute, University Of Greenwich, vol. 1, pp. 43-79, 1996.
- [25] M. Latta and M. Eskin, «A Simple and Rapid Colorimetric Method for Phytate Determination,» *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 28, pp. 1313-1315, 1980.
- [26] R. Day and A. Underwood, *Analyse Quantitative. 5e Edition*, Prentice Hall Publication, Upper Saddle River, 1986.
- [27] A. Yalindua, N. Manampiring, F. Waworuntu and F. Y. Yalindua, «Physico-chemical exploration of Yam Flour (*Dioscorea alata* L.) as a raw material for processed cookies,» *Journal of Physics: Conference Series 1968*, 012004, 2021. doi: 10.1088/1742-6596/1968/1/012004.
- [28] R. M. Lolge, B. S. Agarkar, R. M. Kshirsagar and B. M. Patil, «Evaluation of Nutritional, Physicochemical and Functional properties of Yam Flour,» *Biological Forum—An International Journal*, vol. 14, no. 4a, pp. 258-263, 2022.
- [29] S. Soro, G. Konan, E. Elleingand, D. N'guessan and E. Koffi, «Formulation d'aliments infantiles à base de farines d'igname enrichies au soja,» *African journal of food, Agriculture, Nutritional and Development*, vol. 13, no. 5, pp. 8313-8339, 2013.
- [30] A. G. Soares, M. Freire-Júnior and R. S. Siquiera, *Curso de higiene e sanificação na indústria de alimentos*, Embrapa-CTAA: Rio de Janeiro, 1992.
- [31] R. Nout, D. Hounhouigan and T. Boekel, *Les aliments, transformation, conservation et Qualité*, Backhuys Publishers, CTA, Wageningen, The Netherlands, 2003.
- [32] Commission Codex Alimentarius, Norme Codex pour la farine comestible de manioc (Norme régionale africaine), CODEX STAN 176, 1991.
- [33] Commission Codex Alimentarius, Demande d'observations et informations sur les dispositions pour les additifs alimentaires pour certains fruits et légumes traités, CL 2014/17-PFV, FAO, Rome (Italie), 2014.
- [34] J. M. Lorenzo, M. Estévez, F. J. Barba, R. Thirumdas, D. Franco, P. E. S Munekata, Polyphenols: Bioaccessibility and bioavailability of bioactive components, In: F.J. Barba et al. (Eds), *Innovative Thermal and Non-Thermal Processing, Bioaccessibility and Bioavailability of Nutrients and Bioactive Compounds*, Woodhead Publishing, pp. 309-332, 2019.
- [35] N. Fioroni, Evaluation de la capacité antioxydante de légumes-feuilles africains riches en composés bioactifs et micronutriments et étude de leur effet sur la modulation de l'état inflammatoire de l'intestin au moyen d'un modèle in vitro de triculture cellulaire, *Ingénierie des aliments*, Université de Montpellier, 2023.
- [36] A. M. Rodriguez-Sibaja and A. C. Segreda-Rodriguez, «Caracterization y almacenamiento de los almibares residuales de la deshidratación osmótica (*Ananas comosus*) y papaya (*Carica papaya*),» *Reviteca*, vol. 1, no. 2, pp 1-7, 1992.

Effects of Asclepiadaceae *Secamone afzelii* (Rhoem. and Schult.) aerial parts meal on growth performance and health of broiler chickens

Gningnini Alain Koné¹, Casimir Kekou¹, Faustin Parfait Koutouan¹, Konan Raphaël N'Guessan¹, Kouamé Marc Kouadio¹, and Maryline Kouba²

¹Joint Research and Innovation Unit for Agricultural Sciences and Transformation Processes, National Polytechnic Institute Félix Houphouët Boigny, BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

²Joint Research Unit for Physiology, Environment, and Genetics for the Animal and Livestock Systems, Institut Agro, National Research Institute for Agriculture, Food and Environment, Saint Gilles 35590, France

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

ABSTRACT: Broiler chicken production in developing countries faces challenges in balancing growth performance, health, and food safety. This study pointed out the effects of *Secamone afzelii* aerial parts meal on broiler growth, and their health. A total of 300 broiler chicks of twenty-one days old were randomly assigned to six dietary treatments containing 0, 0.5, 1, 1.5, 2, or 2.5% *S. afzelii* aerial parts meal for 49 days. Performance parameters, serum lipid profiles, Hematological indices and carcass traits were assessed. Inclusion of 1.5-2.5% *S. afzelii* significantly increased final body weight and average daily gain while improving feed conversion ratio. Birds fed supplemented diets exhibited no morbidity, in contrast to control birds receiving medical treatments. Serum analyses revealed decreased total cholesterol and LDL and elevated HDL levels with increasing *S. afzelii* content. Carcass yield improved and abdominal fat decreased, particularly in diets containing 1.5-2.5% of *S. afzelii* aerial parts meal in supplementation. Moreover, total white blood cell and lymphocyte counts were significantly reduced in birds receiving diets containing 1-2.5% of *S. afzelii* aerial parts meal in supplementation. Overall, *S. afzelii* aerial parts meal is a promising natural feed supplement that promotes broiler growth and health, providing a sustainable alternative to synthetic additives in poultry nutrition.

KEYWORDS: natural additive, poultry, food safety, sustainability, cholesterol.

1 INTRODUCTION

Improving broiler chicken quality and performance remains a major challenge in modern agriculture, particularly in developing countries. Poultry production plays a crucial role in the livestock sector due to its ability to rapidly supply high-quality animal protein to a growing population [1].

Among the most widely raised poultry species, broiler chickens (*Gallus gallus domesticus*) stand out as an essential source of animal protein and food for many societies, especially in sub-Saharan Africa. In Côte d'Ivoire, where poultry farming is a key component of food security and economic development, maximizing the productivity of poultry production systems while maintaining meat quality is essential [2].

However, the pursuit of optimal productivity has led to the increased use of synthetic feed additives, including antibiotics and growth promoters. While effective, this approach raises concerns regarding antimicrobial resistance and chemical residues in poultry products [3].

In this context, the inclusion of natural feed supplements in poultry diets has attracted growing interest. Exploring natural alternatives is therefore necessary to ensure food safety while enhancing the growth performance of poultry. Among these

alternatives, medicinal plants are increasingly recognized for their beneficial effects on the health and growth of livestock [4], [5].

Thus, the use of plant-based dietary supplements represents a promising strategy to improve the zootechnical performance of broiler chickens. These supplements, rich in bioactive compounds, can influence growth, health, and disease resistance in birds. *S. afzelii*, a climbing plant from the Asclepiadaceae family, is widely distributed across Asia and Africa. It is frequently used in traditional medicine to address a range of health issues, such as digestive problems, respiratory infections, gonorrhea, diabetes, kidney disorders, back pain, spinal conditions, catarrh, and reproductive system irregularities [6], [7].

Moreover, in many African indigenous communities, herbs and vegetables, including *S. afzelii* leaves, are incorporated into the diets of pregnant and lactating women to support well-being, prevent anemia, and enhance milk production [8]. The plant exhibits antioxidant [9], [10], antimicrobial [11], insecticidal [12], and anti-inflammatory activities [13]. Studies have shown that *S. afzelii* contains phenols, alkaloids, coumarins, tannins, cardiac glycosides, and saponins [14], [6], [7] and exhibit liver-protective effects [15].

While research has indicated that this plant species holds potential as a source of bioactive compounds for the food industry, especially in creating new functional foods or dietary supplements, its application in broiler chicken nutrition has been explored in only a limited number of studies.

The aim of this study was to evaluate the impact of dietary supplementation with *S. afzelii* aerial parts meal on the growth performance, serum lipid profile and carcass yield of broiler chickens.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 EXPERIMENTAL AREA AND ETHICAL STATEMENT

The study was conducted from March to May 2024 at the experimental farm of the National Polytechnic Institute Félix Houphouët-Boigny (INP-HB) in Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, in collaboration with the French National Institute for Agriculture, Food, and Environment (INRAE). Animals were raised and slaughtered in accordance with regulations on the care and use of animals in research, following European Directive 86/609/EEC (National authorization for experiments on alive animals No. 3502 issued by the French Ministry of Agriculture). Birds were managed according to Council Directive 1999/74/EC and were weighed only within the scope of this study.

2.2 PRODUCTION OF *S. AFZELII* AERIAL PARTS MEAL

The aerial parts of *S. afzelii* were harvested within the INP-HB perimeter in January 2024. The harvested forage was dried using a ventilated oven set at 55°C until a constant weight was reached. Once dried, the forage underwent an initial coarse grinding using a plant grinder. The coarse powder was then further milled using a blender to obtain a finer, flour-like texture suitable for incorporation into pelleted broiler chicken diets.

2.3 ANIMALS AND EXPERIMENTAL DESIGN

A total of 300 broiler chicks of twenty-one days old were divided into thirty homogeneous batches of ten birds and randomly allocated into thirty pens of 4 m² on deep wood shavings bedding. Six groups, each consisting of five batches, were randomly formed. Each group was randomly assigned to receive either a control diet or diets supplemented with 0.5, 1, 1.5, 2, or 2.5% of *S. afzelii* aerial parts meal (five replicates per diet) for a period of forty-nine days. Birds were fed and watered *ad libitum*. All diets were formulated to be iso-nitrogenous and iso-caloric to meet the nutritional requirements of the birds and were prepared in the Animal Science Laboratory of INP-HB, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire. The ingredients and composition of the broiler chicken diets are presented in Table 1.

Table 1. Ingredients and composition of *S. afzelii* aerial parts and diets used in broiler chicken

Item	<i>S. afzelii</i>	Diets					
		T ₀	T _{0.5}	T ₁	T _{1.5}	T ₂	T _{2.5}
Ingredients (g/kg)							
Corn	-	660	656.7	653.40	650.1	646.8	643.5
Soybean meal	-	300	298.5	297	295.5	294	292.5
<i>S. Afzelii</i>	1000	0	5	10	15	20	25
Premix	-	40	39.8	39.6	39.4	39.2	39
Total	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Proximate composition analyses ¹							
DM (% CM)	92.11	89.33	89.45	89.5	89.51	90.03	89.51
Ash (% DM)	12.50	2.90	2.95	3.00	3.04	3.09	3.14
Fiber (% DM)	28.91	3.64	3.76	3.89	4.01	4.14	4.27
Protein (% DM)	15.75	18.30	18.30	18.29	18.28	18.27	18.26
Fat (% DM)	6.35	5.56	5.56	5.56	5.57	5.57	5.58
Calculated AMEn (MJ/kg DM) ²	-	13.55	13.55	13.54	13.54	13.53	13.53
Phenolic compounds and antioxidant activity ¹							
Tot_P (mg GAE/g DM)	102.80	3.16	3.65	4.15	4.65	5.15	5.65
Tot_F (mg QE/g DM)	123.00	1.54	2.15	2.76	3.36	3.97	4.58
Tot_T (mg TAE/g DM)	473.51	0.58	2.94	5.31	7.67	10.03	12.40
Cond_T (mg CE/g DM)	84.78	0.05	0.47	0.90	1.32	1.74	2.17
Anti_A (μmol TE/g DM)	2.28	8.22	8.19	8.16	8.13	8.10	8.07
Fatty acid profile (in % of total fatty acids) ¹							
ΣSFA	25.65	24.04	22.48	22.41	24.59	23.77	23.98
ΣMUFA	11.70	31.85	32.06	27.87	31.57	31.45	31.28
ΣPUFA	62.65	44.11	45.46	45.02	43.84	44.78	44.74
Σn-6	14.99	41.62	43.08	42.32	40.74	41.58	41.31
Σn-3	47.66	2.50	2.38	2.70	3.11	3.20	3.43
PUFA/SFA ratio	2.53	2.01	2.19	2.26	1.96	2.07	2.04

DM: Dry matter; CM: Crude matter; ME: Metabolizable energy; Tot_P: Total polyphenols; Tot_F: Total flavonoids; Tot_T: Total tannins; Cond_T: Condensed tannins; Anti_A: Antioxidant activity; GAE: Gallic acid equivalent; QE: Quercetin equivalent; TAE: Tannic acid equivalent; CE: Catechin equivalent; TE: Trolox equivalent; ΣSFA: saturated fatty acids; ΣMUFA: monounsaturated fatty acids; ΣPUFA: polyunsaturated fatty acids; Σn-6: Sum of omega 6 fatty acids; Σn-3: Sum of omega 3 fatty acids; PUFA/SFA ratio = 18: 2n-6 + 18: 3n-3/14: 0 + 16: 0 + 18: 0 [16]. ¹ Values are the means of three analyses per sample. ² Apparent metabolizable energy, corrected for nitrogen, was calculated based on the chemical composition [17]: AMEn (MJ/kg) = 0.1551 × % crude protein + 0.3131 × % crude fat + 0.1669 × % starch + 0.1301% total sugar.

2.4 ANIMAL PERFORMANCE

Health status and mortality were monitored throughout the trial. Body weight of the broiler chickens was recorded at the start and weekly during the experimental period. Feed intake per pen was measured daily throughout the trial. Daily weight gain, daily feed intake, and feed conversion ratio were calculated.

At the end of the trial, blood samples were collected from fasted broiler chickens into tubes containing ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) as an anticoagulant for hematological analysis, and into plain tubes containing a coagulation activator such as factor XII (Hageman factor) for serum analysis. The EDTA tubes were gently mixed by hand to prevent clot formation. The plain tubes were first left in room temperature for 20 minutes to allow clotting. Subsequently, plasma was separated by centrifugation at 2000×g for 15 minutes at 4°C, then frozen at -20°C for serum analysis.

Fasted birds were stunned, slaughtered, scalded in 60°C water, manually plucked, and eviscerated. Internal organs were removed, and abdominal fat was separated from the viscera. Legs were cut off at the hock joint, and the head was removed at the cranio-atlas junction. Carcasses were weighed and then dissected according to the method described by [16]. Different cuts (breast including bone and both pectoral muscles, whole thighs, and wings) and abdominal fat separated from the viscera were weighed.

2.5 CHEMICAL ANALYSES

Extracts obtained from *S. afzelii* were subjected to biochemical analyses aimed at determining their total polyphenol content, total flavonoid content, and antioxidant activities. Quantification of total polyphenols and total flavonoids in *S. afzelii* and diets was performed following the method described by [18] after alcoholic extraction (70% ethanol) and lyophilization, as reported by [7]. Analyses were conducted using an Agilent Technologies 6890 N gas chromatograph (Bios Analytic, Toulouse, France), with gallic acid and rutin as standards to quantify total polyphenols and total flavonoids, respectively.

For antioxidant activity assessment, the radical cation 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS^{•+}) was generated [19]. The ABTS^{•+} solution was diluted with methanol to achieve an absorbance of 0.7 ± 0.02 at 734 nm. For measurements, 3.9 mL of the diluted ABTS^{•+} solution was mixed with 100 μ L of extract. After vortexing, the mixture was incubated for 6 minutes in the dark at $30 \pm 2^\circ\text{C}$. The residual ABTS^{•+} radical absorbance was then measured at 734 nm using a UV-visible spectrophotometer (Shimadzu UV-1601 PC, Kyoto, Japan). Antioxidant activity was calculated using Equations (1) and (2).

$$I (\%) = [(AbsControl - AbsSimple) / AbsControl] \times 100 \quad (1)$$

Where: I (%) is the percentage of inhibition; Abs_{Control} is the absorbance of diluted ABTS^{•+}; Abs_{Sample} is the absorbance of diluted ABTS^{•+} with the extract.

$$Extract\ Concentration = (I (\%) \times DF) / 4.9901 \quad (2)$$

The number 4.9901 represents the slope of the Trolox standard curve, and DF is the dilution factor.

Results were expressed as micromoles of Trolox equivalent per liter ($\mu\text{mol TE/L}$) of extract. These values were then converted to micromoles of Trolox equivalent per gram ($\mu\text{mol TE/g}$) of sample extract by multiplying by a factor of 2.4 [4 mL / (5/3 mg)]. Here, 4 mL corresponds to the final volume of the medium used for analysis, and 5/3 mg represents the sample weight in this solution.

Total tannins in the samples were determined according to the method described by [18]. Briefly, 7.5 mL of distilled water was added to 100 μ L of extract to prepare a solution. Then, 0.5 mL of pure Folin-Ciocalteu reagent and 1 mL of 35% sodium carbonate were added. Subsequently, 0.9 mL of distilled water was added to bring the solution to the final volume after reagent addition. The mixture was thoroughly mixed and incubated for 30 minutes in room temperature (25°C). Absorbance was finally measured at 700 nm using a UV-visible spectrophotometer against a blank consisting of distilled water. A tannic acid standard series (0, 1.95, 3.9, 7.81, 15.62, 31.25, 62.5, 125, 250, 500, and 1000 $\mu\text{g/mL}$) was used to construct the calibration curve. Total tannin contents were expressed as micrograms of tannic acid equivalents per liter of extract ($\mu\text{g TAE/L}$) and subsequently converted to milligrams of tannic acid equivalents per gram of dry matter (mg TAE/g extract). Total tannins were calculated using Equation (3).

$$Ce (mg\ TAE.g - 1) = Cal / 0.6 \quad (3)$$

Where (Ce) is the total tannin content in the sample, and (Cal) is the concentration read on the spectrophotometer.

Condensed tannins were determined using the vanillin-acid method described by [21]. This method is based on the ability of vanillin to react with the condensed tannin units in the presence of acid to form a colored complex measured at 500 nm. Notably, vanillin reactivity involves only the first unit of the polymer. Briefly, 3 mL of 4% methanolic vanillin was added to 50 μ L of hydro-alcoholic extract. The mixture was then vortexed and supplemented with 1.5 mL of concentrated hydrochloric acid. The solution was supposed to react in the dark for 15 minutes before measurement. Each assay was performed in triplicate. Absorbance was read at 500 nm against a blank consisting of 4% vanillin in methanol using a spectrophotometer. Catechin was used as the standard, and results were expressed as micrograms of catechin equivalents per milliliter ($\mu\text{g CE/mL}$). These values were subsequently converted to milligrams of catechin equivalents per gram of dry matter (mg CE/g). Condensed tannin content was calculated using Equation (4).

$$Ce (mg\ CE.g - 1) = CL / 0.546 \quad (4)$$

Where (Ce) is the condensed tannin content in the sample, and (CL) is the concentration read on the spectrophotometer.

Diet and *S. afzelii* aerial parts meal samples were analyzed to determine dry matter (DM), ash, and crude protein (CP, N $\times$ 6.25) contents in accordance with [22]. Total fiber content in the diets was measured using a Fibertec System 1021 cold extraction unit (Saint André de Cubzac, France). Lipids were extracted from muscle according to the chloroform/methanol method of [23].

Triglycerides, total cholesterol (CHRL), high-density lipoprotein (HDL), and low-density lipoprotein (LDL) were quantified in plasma using commercial kits (Giese Diagnostics SRL, Guidonia Montecelio, Italy) following a colorimetric method. Hematological analysis was performed using a SYSMEX KX 21N hematology analyzer (Zhejiang Xinke Medical Technology Co., Ltd, Zhejiang City, China) at the National Blood Transfusion Center in Yamoussoukro, Côte d'Ivoire. Various hematological parameters were evaluated, including hemoglobin (HGB), red blood cells (RBC), mean corpuscular volume (MCV), mean corpuscular hemoglobin (MCH), mean corpuscular hemoglobin concentration (MCHC), white blood cells (WBC), lymphocytes (LYM), granulocytes (GRAN), and hematocrit (HCT).

Fatty acid (FA) profiles were analyzed for each growth diet and breast muscle sample. FA composition was determined after sample methylation. Fatty acid methyl esters (FAMES) were prepared using methanol-bromotrimethyl [16] and analyzed on an Agilent Technologies 6890 N gas chromatograph (Bios Analytic, Toulouse, France), with an internal standard (C21: 0, Sigma-Aldrich, Saint-Quentin-Fallavier, France) for FA quantification (g/100 g total FAs). The nutritional quality of lipids was assessed using the polyunsaturated fatty acids (PUFA) /saturated fatty acids (SFA) ratio [16].

2.6 DATA ANALYSIS

The data were analyzed using the ANOVA option of the Generalized Linear Model (GLM) in R software version 4.3.2 (Copyright © 2023 The R Foundation for Statistical Computing; Platform: x86_64-apple-darwin20, 64-bit), with diet as the main effect. The statistical model used was: $Y_{ijk} = \mu + D_i + R_{ij} + y_{ijk}$, where Y_{ijk} represents the response variable for each individual replicate, μ was the overall mean, D_i was the effect of diet, R_{ij} was the inter-experimental unit error (replicates), and y_{ijk} was the intra-experimental unit error. Least Significant Difference (LSD) tests were performed to compare means for diets when the main effects had a significant F-value. Statistical significance was considered at $p < 0.05$, unless otherwise stated.

3 RESULTS

3.1 PROXIMATE COMPOSITION, BIOACTIVE COMPOUNDS OF *S. AFZELII* AERIAL PARTS MEAL

The protein and lipid contents of *S. afzelii* aerial parts meal were respectively 15.57% and 8.26% of dry matter. Bioactive compounds in the meal included polyphenols (102.80 mg GAE/g of dry matter), flavonoids (123.00 mg QE/g of dry matter), and tannins (473.51 μ g TAE/g of dry matter). The antioxidant activity of *S. afzelii* aerial parts meal was 2.28 μ mol TE/g of dry matter. Moreover, the meal was rich in polyunsaturated fatty acids (PUFAs), with omega 3 fatty acids accounting for over 47.66% of total fatty acids, resulting in a high omega 3 PUFA content in the supplemented diet (Table 1).

3.2 BROILER PERFORMANCE ACCORDING TO DIETS

Table 2 presents the performance of broilers fed the different diets. Supplementing the T_0 diet with 0.5% and 1% *S. afzelii* meal had no effect on final body weight or average daily gain (ADG). However, supplementation with 1.5%, 2%, and 2.5% *S. afzelii* meal significantly improved both final body weight and ADG ($p = 4.1 \times 10^{-2}$ and 9.60×10^{-3} respectively). Birds fed diets containing 2% or 2.5% *S. afzelii* meal showed similar final weights and ADG, with mean values of 2386.82 ± 0.01 g and 39.11 ± 0.15 g/day. The heaviest birds (2429.2 g) and highest ADG (39.90 g/day) were observed with the $T_{1.5}$ diet.

Furthermore, supplementation of T_0 with *S. afzelii* meal had no effects on feed intake ($p = 5.6 \times 10^{-1}$), which averaged 98.1 ± 1.23 g/day. Broilers fed diets supplemented with 1.5%, 2%, and 2.5% *S. afzelii* meal had the same feed conversion ratio (FCR) of 2.50, which was lower than that of birds receiving T_0 , $T_{0.5}$, and T_1 diets, all with an FCR of 2.60 ($p = 9.0 \times 10^{-3}$).

Birds fed diets supplemented with increasing levels of *S. afzelii* ($T_{0.5}$ to $T_{2.5}$) did not require any medical treatments. In contrast, birds receiving the control diet (T_0) underwent three anticoccidial treatments and three antibiotic treatments when signs of morbidity were observed.

Table 2. Performance of broilers according to diets

Item	Diets						SEM	p-value
	T ₀	T _{0.5}	T ₁	T _{1.5}	T ₂	T _{2.5}		
PI (g)	451.20	461.21	466.43	476	465.61	475.63	14.68	5.56×10^{-1}
PF (g)	2336.42 ^c	2320.81 ^c	2325.62 ^c	2429.23 ^a	2386.81 ^b	2386.82 ^b	75.10	4.10×10^{-2}
FI (g/j)	97.51	99	99.2	98.5	95.9	98.5	2.31	1.52×10^{-1}
ADG (g)	38.51 ^c	38 ^c	37.90 ^c	39.90 ^a	39.21 ^b	39 ^b	0.40	9.60×10^{-3}
FCR	2.60 ^a	2.60 ^a	2.60 ^a	2.50 ^b	2.50 ^b	2.50 ^b	0.08	9.00×10^{-3}
MF (%)	12.20	0	0	0	0	0	-	-

IW: Initial weight; FW: Final weight; ADG: Average daily gain; FI: Feed intake; FCR: Feed to gain ratio; MF: Morbidity frequency; SEM: Standard error of the mean. ^{a-c} Means within rows sharing a common superscript do not differ significantly ($p \geq 0.05$).

3.3 SERUM BIOCHEMICAL INDICES IN BROILER CHICKENS ACCORDING TO DIETS

Serum parameters of birds fed the six diets are presented in Table 3. Serum triglyceride concentrations did not differ significantly among diets ($p = 1.0 \times 10^{-1}$). Broilers fed the control diet (T₀) had the highest total cholesterol and low-density lipoprotein (LDL) levels compared with the other groups, whereas birds receiving the T_{2.5} diet had the lowest concentrations ($p < 2.0 \times 10^{-16}$ for both) (Figure 1). Total cholesterol and LDL levels decreased progressively with increasing supplementation.

Compared with birds fed the T₀ diet, serum high-density lipoprotein (HDL) increased significantly by 19.57%, 39.30%, 61.20%, 69.20%, and 71.09% in birds receiving 0.5%, 1%, 1.5%, 2%, and 2.5% of *S. afzelii* meal, respectively ($p < 2.0 \times 10^{-16}$). In addition, serum LDL/HDL and CHRL/HDL ratios decreased with supplementation levels of 0.5%, 1%, and 1.5%, and then remained stable at 2% and 2.5% supplementation ($p < 2.0 \times 10^{-16}$) (Figure 1).

Table 3. Serum parameters of broiler chickens according to diets

Item (mg/dl)	Diets						SEM	p-value
	T ₀	T _{0.5}	T ₁	T _{1.5}	T ₂	T _{2.5}		
CHRL	313.58 ^a	228.18 ^b	202.56 ^c	181.07 ^d	179.32 ^d	174.01 ^e	2.51	$< 2 \times 10^{-16}$
TRIG	110.10	113.47	111.88	111.51	113.89	113.78	1.54	1.03×10^{-1}
HDL	73.72 ^d	88.15 ^c	102.69 ^b	118.84 ^a	124.74 ^a	126.13 ^a	2.54	$< 2 \times 10^{-16}$
LDL	217.84 ^a	117.33 ^b	77.49 ^c	39.92 ^d	31.80 ^{de}	25.12 ^e	4.70	$< 2 \times 10^{-16}$
LDL/HDL	2.97 ^a	1.34 ^b	0.76 ^c	0.35 ^d	0.25 ^d	0.20 ^d	0.08	$< 2 \times 10^{-16}$
TC/HDL	4.27 ^a	2.60 ^b	1.97 ^c	1.53 ^d	1.44 ^d	1.38 ^d	0.08	$< 2 \times 10^{-16}$

CHRL: Total cholesterol; TRIG: Triglycerides; HDL: High-density lipoprotein; LDL: Low-density lipoprotein; SEM: Standard error of the mean. ^{a-e}

^b Means within rows sharing a common superscript do not differ significantly ($p \geq 0.05$).

Serum total cholesterol concentration was mainly correlated with serum HDL ($r = -0.90$) and LDL ($r = 0.99$) levels, as well as with the level of *S. afzelii* meal supplementation in the diet ($r = -0.86$). Additionally, abdominal fat proportion was strongly correlated with serum HDL ($r = -0.92$) and LDL ($r = 0.91$) concentrations, and with the supplementation level of *S. afzelii* meal ($r = -0.94$). Except for serum triglyceride concentration, both HDL and LDL levels were strongly correlated with the level of dietary *S. afzelii* meal supplementation ($r = 0.94$ and $r = -0.90$, respectively). The changes in the different serum parameters measured are clearly illustrated by Figure 1.

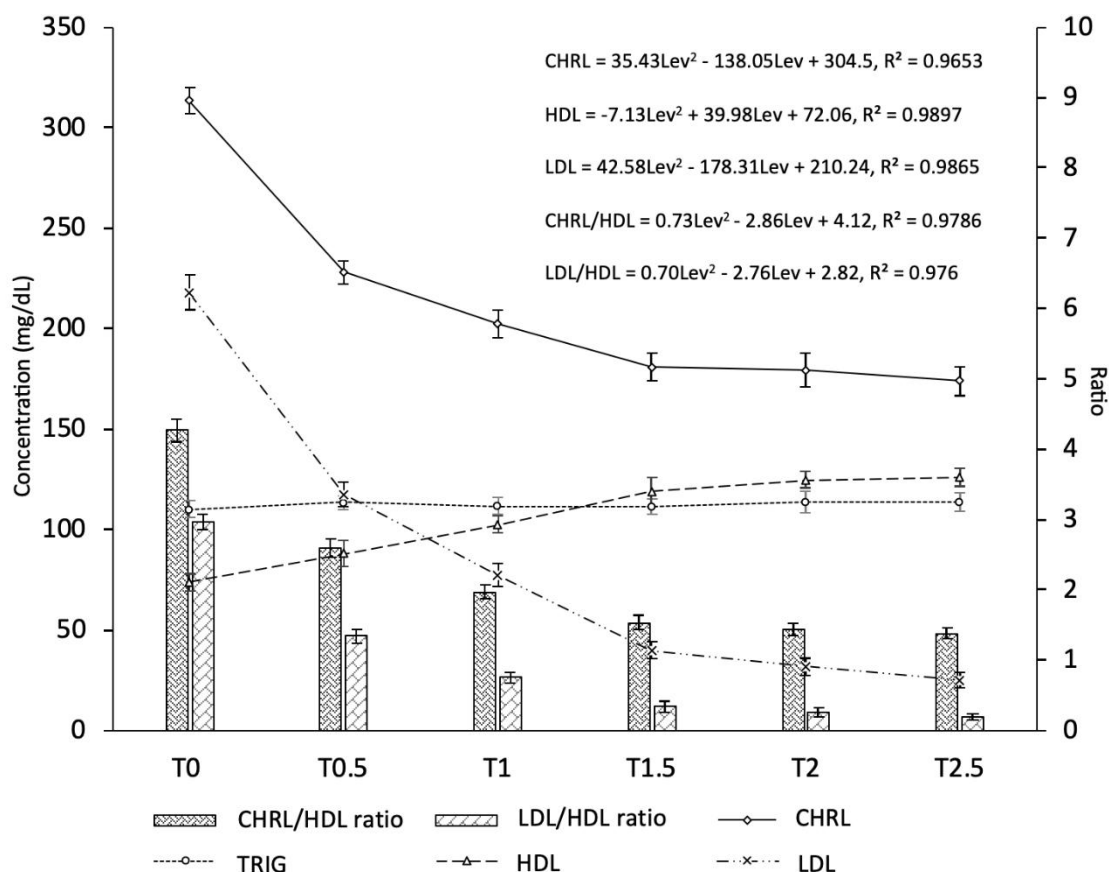


Fig. 1. Changes in serum parameters of broiler chickens according to diets

CHRL: Total cholesterol; TRIG: Triglycerides; HDL: High-density lipoprotein; LDL: Low-density lipoprotein.

3.4 HAEMATOLOGICAL INDICES IN BROILER CHICKENS ACCORDING TO DIETS

The hematological profile revealed significant variations among the dietary treatments. Total white blood cell (WBC) and lymphocyte (LYM) counts were significantly reduced in birds receiving diets from T₁ onward compared to T₀ and T_{0.5} ($p = 1.58 \times 10^{-2}$ and $p = 1.36 \times 10^{-2}$, respectively), indicating a diet-related influence on immune cell dynamics. Similarly, granulocyte (GRAN) values decreased notably at T₁ ($p = 3.16 \times 10^{-2}$), although values remained relatively stable across higher inclusion levels (Table 4).

Red blood cell (RBC) counts showed a progressive decline, with the lowest values recorded in the T₂ and T_{2.5} groups ($p = 4.40 \times 10^{-2}$). Correspondingly, hemoglobin (HGB) concentration and hematocrit (HCT) percentage were significantly reduced with increasing dietary levels, suggesting possible effects on oxygen-carrying capacity ($p = 1.42 \times 10^{-2}$ and $p = 4.55 \times 10^{-2}$, respectively). In contrast, mean corpuscular volume (MCV) increased significantly from T_{1.5} onwards, reflecting larger red cell size ($p = 3.89 \times 10^{-2}$). However, mean corpuscular hemoglobin (MCH) and mean corpuscular hemoglobin concentration (MCHC) were not significantly influenced by the dietary treatments, ($p \geq 0.05$).

Table 4. Hematological indices in broiler chickens according to diets

Item	Diets						SEM	p-value
	T ₀	T _{0.5}	T ₁	T _{1.5}	T ₂	T _{2.5}		
WBC (10 ³ /μL)	51.41 ^a	51.04 ^a	46.19 ^b	44.94 ^b	45.12 ^b	45.06 ^b	1.17	1.58 x 10 ⁻²
LYM (10 ⁹ /L)	45.18 ^a	45.14 ^a	41.27 ^b	39.45 ^b	40.24 ^b	40.15 ^b	1.18	1.36 x 10 ⁻²
GRAN (10 ⁹ /L)	5.55 ^a	5.47 ^a	4.35 ^b	4.43 ^a	4.39 ^a	4.39 ^a	0.38	3.16 x 10 ⁻²
RBC (10 ⁶ /μL)	2.66 ^a	2.48 ^{ab}	2.45 ^{ab}	2.34 ^a	2.24 ^b	2.21 ^a	0.11	4.40 x 10 ⁻²
HGB (g/dL)	13.20 ^a	12.60 ^a	11.70 ^{ab}	11.37 ^b	11.23 ^b	10.70 ^b	0.53	1.42 x 10 ⁻²
HCT (%)	35.57 ^a	33.60 ^a	32.13 ^{ab}	30.57 ^b	30.70 ^b	30.30 ^b	0.59	4.55 x 10 ⁻²
MCV (fL)	134.10 ^a	134.03 ^a	136.23 ^{ab}	137.73 ^b	137.43 ^b	138.97 ^b	0.59	3.89 x 10 ⁻²
MCH (pg)	49.80	49.70	47.77	49.30	50.20	51.47	1.59	3.89 x 10 ⁻¹
MCHC (g/dL)	37.13	37.10	36.37	37.17	36.57	37.03	0.45	3.83 x 10 ⁻¹

WBC: White blood cell; GRAN: Granulocyte; LYM: Lymphocyte; RBC: Red blood cell; HGB: Hemoglobin; HCT: Hematocrit; MCV: Mean corpuscle volume; MCH: Mean corpuscular hemoglobin; MCHC: Mean corpuscular hemoglobin concentration; SEM: Standard error of the mean. ^{a-b} Means within rows sharing a common superscript do not differ significantly ($p \geq 0.05$).

3.5 CARCASS TRAITS OF BROILER CHICKENS ACCORDING TO DIETS

Carcass yields, cut-up parts, and abdominal fat values are presented in Table 5. The carcass yield of broilers fed the diet supplemented with 2.5% *S. afzelii* meal was significantly higher than that of the other groups, whose carcass yields did not differ significantly from each other ($p = 2.9 \times 10^{-3}$). Birds receiving the diet containing 2.5% *S. afzelii* meal also showed reduced feather coverage compared with the other groups, which had similar feathering levels ($p = 1.9 \times 10^{-2}$).

Broilers fed the control diet (T₀) exhibited the highest proportions of abdominal fat compared with the other groups, while those receiving *S. afzelii* meal-supplemented diets had lower abdominal fat levels ($p = 3.1 \times 10^{-6}$). Abdominal fat content decreased significantly as the level of *S. afzelii* meal supplementation increased. However, the different diets had no effect on the proportions of the various cut-up parts ($p \geq 0.05$).

Table 5. Carcass yield and cut-up parts of broiler chickens according to diets

Item (%)	Diets						SEM	p-value
	T ₀	T _{0.5}	T ₁	T _{1.5}	T ₂	T _{2.5}		
Carcass yield	73.75 ^b	73.79 ^b	74.75 ^b	74.09 ^b	73.48 ^b	76.99 ^a	0.70	2.91 x 10 ⁻³
Feather	7.31 ^a	6.82 ^a	6.96 ^a	7.58 ^a	7.95 ^a	3.69 ^b	0.98	1.85 x 10 ⁻²
Breast	36.63	36.15	34.77	38.30	38.85	37.15	2.07	4.40 x 10 ⁻¹
Legs	31.72	31.38	32.83	29.68	29.81	31.49	1.58	3.80 x 10 ⁻¹
Thighs	17.33	17.68	18.19	16.67	16.35	17.58	0.89	3.80 x 10 ⁻¹
Wings	11.37	10.59	11.12	11.35	13.38	10.65	1.38	4.10 x 10 ⁻¹
Head	3.11	3.11	3.40	3.01	2.96	3.37	0.27	5.00 x 10 ⁻¹
Feet	5.01	5.11	5.54	5.26	4.91	4.95	0.65	9.30 x 10 ⁻¹
Gizzard	3.19	3.57	3.10	3.14	3.18	3.16	0.32	7.30 x 10 ⁻¹
Liver	2.38	2.70	2.42	2.53	2.44	2.32	0.29	8.20 x 10 ⁻¹
Heart	0.61	0.55	0.50	0.50	0.50	0.50	0.09	7.30 x 10 ⁻¹
Spleen	0.21	0.14	0.10	0.17	0.15	0.13	0.03	6.00 x 10 ⁻²
Abdominal fat	1 ^a	0.76 ^{ab}	0.61 ^{bc}	0.41 ^{cd}	0.23 ^d	0.24 ^d	0.08	3.11x 10 ⁻⁶

SEM: Standard error of the mean. ^{a-d} Means within rows sharing a common superscript do not differ significantly ($p \geq 0.05$).

4 DISCUSSION

The absence of morbidity in birds fed diets supplemented with *S. afzelii* meal, along with the improved production performance observed at inclusion levels of 1.5, 2, and 2.5%, could be attributed to the presence of *S. afzelii* in the diet. This medicinal plant is known to be rich in total phenolic compounds and flavonoids, with a high accumulation of kaempferol 2-glycosides [7]. Indeed, secondary metabolites found in medicinal plants contribute to controlling parasitic diseases by reducing

stress and alleviating oxidative stress, thereby enhancing nutrient utilization, improving overall health, and boosting productivity [24].

The inclusion of *S. afzelii* dry leaf meal as a dietary supplement in broiler feed significantly reduced the white blood cell count. These findings are consistent with those by [5], who reported a 20.6% decrease in leukocyte numbers when 3% *Acacia auriculiformis* leaf powder was incorporated into broiler diets. Similarly, the addition of doxycycline (1 g/kg of feed) to broiler rations reduced white blood cell counts from $9.29 \times 10^3/\mu\text{L}$ to $6.5 \times 10^3/\mu\text{L}$, representing a 30.03% decrease [25]. Such observations suggest that *S. afzelii* may exert antibiotic-like effects and, consequently, act as a phytobiotic, with potential implications for the health and physiological status of the birds. This could explain the absence of morbidity observed in broilers fed diets containing *S. afzelii* dry leaf meal.

The inclusion of herbal medicinal supplements in poultry diets covering broilers, layers, indigenous chickens, quails, ducks, and ornamental birds has been shown to elevate HDL while reducing total cholesterol and LDL levels [26], [24]. A comparable trend was observed in our experiment, where broilers receiving diets enriched with *S. afzelii* meal exhibited increased HDL and decreased total cholesterol and LDL concentrations. This effect may be linked to the elevated levels of n-3 PUFAs present in *S. afzelii* meal and consequently in the supplemented diet. Two mechanisms have been proposed to explain the reduction in plasma LDL and total cholesterol following PUFA intake. The first suggests that enhanced β -oxidation lowers the pool of free fatty acids available for triglyceride formation, thereby limiting triglyceride synthesis. The second points to a suppression of hepatic fatty acid production through reduced activity of lipogenic enzymes. These processes may act concurrently, leading to decreased very-low-density lipoprotein (VLDL) and LDL output, ultimately resulting in lower cholesterol concentrations [16]. However, given the significant reduction in cholesterol, there appears to be synergy between several mechanisms of action of different secondary metabolites [27].

The reduction in abdominal fat observed in this study is consistent with the findings of [28], [29], [30] in poultry fed plant-based supplements. According to these authors, the presence of bioactive compounds in plants may influence lipid metabolism in chickens. Polyphenolic constituents identified in *S. afzelii* including phytol, mequinol, catechol, general phenolics, flavonoids, alkaloids, coumarins, tannins, cardiac glycosides, saponins, and ascorbic acid [7], [31] act in synergy to contribute to its pancreatic lipase inhibitory effect [31]. This inhibitory action is consistent with previous findings showing that phenolic compounds can modulate pancreatic lipase activity and influence lipid digestion and absorption through the formation of complexes [32], [33].

The T_{2.5} diet produced the highest carcass yield (77%), while the other diets resulted in average yields of about 74%, with no significant differences among them. This outcome is consistent with the findings of [34], who reported similar results when incorporating *Moringa oleifera* into broiler diets in Nigeria. The higher carcass yield observed under T_{2.5} was linked to the reduced feather coverage of the birds, an advantage in tropical regions where ambient temperatures are high. Indeed, previous studies have shown that reduced feathering promotes faster growth and improved meat yield in broilers exposed to elevated temperatures [35], [36], [37]. The use of low-feathered birds has already been reported in Ghana [38], [39] and Nigeria [40], and it is expected to become more widely adopted in hot climates in the future [36]. In contrast, heavily feathered birds tend to drink more water and reduce feed intake under heat stress, since high temperatures increase their water requirements for thermoregulation while suppressing appetite [37].

At the carcass cut-up level, no significant effects were observed on the proportions of the different parts (breast, drumsticks, thighs, wings). This indicates that supplementation with *S. afzelii* up to 2.5% does not alter the carcass composition of broiler chickens in terms of muscle mass distribution. Similar findings were reported by [41], who also found no significant changes in cut-up part proportions in broilers fed diets containing various plant-based additives.

5 CONCLUSION

Incorporating *S. afzelii* aerial parts meal into broiler diets, particularly at 1.5-2.5% inclusion levels, enhanced growth performance, improved feed efficiency, and reduced morbidity. Supplementation positively influenced serum lipid profiles by lowering total cholesterol and LDL while increasing HDL levels. Carcass yields were improved, and abdominal fat deposition decreased without affecting the distribution of muscle cuts. Moreover, *S. afzelii* supplementation enriched the Pectoralis major muscle with n-3 polyunsaturated fatty acids, enhancing meat nutritional quality. These results indicate that *S. afzelii* meal is a safe, natural feed additive that can improve both the productivity and health benefits of broiler meat, supporting sustainable poultry production strategies.

ACKNOWLEDGMENT

The authors gratefully thank Professor Vincent Rioux of Institut Agro Rennes-Angers for their helpful in samples fatty acids profiles' analysis.

REFERENCES

- [1] D. R. Korver, « Review: Current challenges in poultry nutrition, health, and welfare », *Animal*, vol. 17, n° 2, pp. 100755, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100755>.
- [2] C. Chibanda, P. Thobe, M. I. Almadani, P. Van Horne, C. Deblitz, and C. Wieck, « Improving broiler farm competitiveness in Ghana and Senegal: insights from comparative analysis with Germany and the Netherlands », *Agriculture & Food Security*, vol. 13, n° 1, pp. 65, 2024, doi: <https://doi.org/10.1186/s40066-024-00519-8>.
- [3] T. P. Van Boeckel, C. Brower, M. Gilbert, B. T. Grenfell, S. A. Levin, T. P. Robinson, A. Teillant, and R. Laxminarayan, « Global trends in antimicrobial use in food animals », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 112, n° 18, pp. 5649-5654, 2015, doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1503141112>.
- [4] W. Windisch, K. Schedle, C. Plitzner, and A. Kroismayr, « Use of phytogenic products as feed additives for swine and poultry », *Journal of animal science*, vol. 86, n° suppl_14, pp. E140-E148, 2008, doi: <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0459>.
- [5] T. Tiho, G. A. Koné, N. Silué, M. J. Djako, and G. Djaah, « *Acacia auriculiformis* leaves' powder as an alternative for antibiotics uses in broilers organic farming », *World Journal of Advanced Research and Reviews*, vol. 21, n° 1, pp. 2675-2685, 2024, doi: <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.21.1.0357>.
- [6] T. A. Abere, and D. N. Onwukaeme, « Pharmacognostic evaluation of the leaves of *Secamone afzelii* (Schult) K Schum (Asclepiadaceae) », *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, vol. 11, pp. 125-131, 2012, doi: <https://doi.org/10.4314/tjpr.v11i1.16>.
- [7] K. I. Sinan, S. Yagi, E. J. Llorent-Martínez, A. Ruiz-Medina, A. I. Gordo-Moreno, A. Stefanucci, A. Mollica, K. Bene, and G. Zengin, « Understanding the chemical composition and biological activities of different extracts of *Secamone afzelii* leaves: A potential source of bioactive compounds for the food industry », *Molecules*, vol. 28, n° 9, pp. 3678, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/molecules28093678>.
- [8] R. A. Dickson, I. K. Amponsah, K. Annan, and T. C. Fleischer, « Nutritive potential of a polyherbal preparation from some selected Ghanaian herbs », *Journal of Natural Product and Plant Resources*, vol. 4, pp. 77-81, 2014, <http://scholarsresearchlibrary.com/archive.html>.
- [9] A. Mensah, P. Houghton, G. Akyirem, T. Fleischer, M. Mensah, K. Sarpong, and R. Adosraku, « Evaluation of the antioxidant and free radical scavenging properties of *Secamone afzelii* Rhoem », *Phytotherapy Research*, vol. 18, pp. 1031-1032, 2004, doi: <https://doi.org/10.1002/ptr.1614>.
- [10] F. N. Iheagwam, G. A. Itina, O. A. Faluyi, and O. T. Iheagwam, « Radical Scavenging, Anti-inflammatory and Glucose Metabolising Enzymes Activity of *Secamone afzelii* K. Leaf and Vine: In vitro and In silico Studies », *Pharmacological Research-Natural Products*, vol. 8, pp. 100325, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.prenap.2025.100325>.
- [11] P. Houghton, P. Hylands, A. Mensah, A. Hensel, and A. Deters, « In vitro tests and Ethnopharmacological investigations: Wound healing as an example », *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 100, pp. 100-107, 2005, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.07.001>.
- [12] J. Adesina, T. Ofuya, and L. Afolabi, « Insecticidal activity of *Secamone afzelii* (Schult) K. Schum powder in the control of *Stiphilous zeamais* (Mots) (Coleoptera: Curculionidae) », *Journal of Agricultural Technology*, vol. 8, pp. 117-124, 2012, <https://www.thaiscience.info/journals/Article/IJAT/10841048.pdf>.
- [13] A. Mensah, E. Mireku, and V. Okwuonu, « Anti-inflammatory and anti-oxidant activities of *Secamone afzelii* (Rhoem) Asclepiadaceae », *Journal of Medical and Biomedical Sciences*, vol. 3, pp. 23-30, 2014, doi: <https://doi.org/10.4314/jmbs.v3i1.4>.
- [14] H. Zabri, C. Kodjo, A. Benie, J. M. Bekro, and Y. Bekro, « Phytochemical screening and determination of flavonoids in *Secamone afzelii* (Asclepiadaceae) extracts », *African Journal of Pure and Applied Chemistry*, vol. 2, pp. 80-82, 2008, doi: <https://doi.org/10.5897/AJPAC.9000112>.
- [15] K. D. Serge, G. Goueh, D. B. Nazaire, B. Abou, and Y. H. Félix, « Protective Effects of Aqueous and Hydroethanolic Extracts of *Secamone afzelii* (Asclepiadaceae) Leaves on Liver Transaminases, Serum Vitamin D and Zinc Levels against Carbon Tetrachloride (CCl₄) -Induced Hepatotoxicity in Rats. International Journal of Biochemistry Research & Review », vol. 29, n° 8, pp. 59315, 2020, doi: <https://doi.org/10.9734/IJBARR/2020/v29i830206>.

- [16] G. A. Koné, M. Good, and M. Kouba, « Performance of guinea fowl fed hevea seed meal or cashew nut meal as a partial substitute for soya bean meal », *Animal*, vol. 14, n° 1, pp. 206-214, 2020.
doi: <https://doi.org/10.1017/S175173111900185X>.
- [17] K. Kponouglo, G. A. Koné, M. Good, N. Grosset, M. Gautier, and M. Kouba, « Effect of using germinated and fermented lupin and oats as a dietary protein source on laying hen performance and egg quality », *Agriculture*, vol. 14, pp. 1942, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture14111942>.
- [18] S. Uysal, G. Zengin, M. Locatelli, M. B. Bahadori, A. Mocan, G. Bellagamba, E. De Luca, A. Mollica, and A. Aktumsek, « Cytotoxic and enzyme inhibitory potential of two *Potentilla* species (*P. speciosa* L. and *P. reptans* Willd.) and their chemical composition », *Frontiers in Pharmacology*, vol. 8, pp. 290, 2017, doi: <https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00290>.
- [19] T. Tiho, N. J. C. Yao, Y. C. Brou, and A. A. Adima, « Drying temperature effect on total phenols and flavonoids content, and antioxidant activity of *Borassus aethiopum* mart ripe fruits' pulp », *Journal of Food Research*, vol. 6, n° 2, pp. 50-64, 2017, doi: <https://dx.doi.org/10.5539/jfr.v6n2p50>.
- [20] M. A. Hossain, N. K. Disha, J. H. Shourove, and P. Dey, « Determination of antioxidant activity and total tannin from drumstick (*Moringa oleifera* Lam.) leaves using different solvent extraction methods », *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, vol. 8, n° 12, pp. 2749-2755, 2020, doi: <https://doi.org/10.24925/turjaf.v8i12.2749-2755.4038>.
- [21] M. L. Price, S. V. Scoyoc, and L. G. Butler, « A critical evaluation of the vanillin reaction as an assay for tannin in sorghum grain », *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 26, n° 5, pp. 1214-1218, 1978.
doi: <https://doi.org/10.1021/jf60219a03>.
- [22] AOAC (Association of Official Analytical Chemists), « Official Methods of Analysis, 18th ed.; Association of Official Analytical Chemists International: Arlington », VA, USA, 2007.
- [23] J. Folch, M. Lees, and G. H. Sloane Stanley, « A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues », *Journal of Biological Chemistry*, vol. 226, p. 497-509, 1957, doi: [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)64849-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)64849-5).
- [24] M. Jamil, M. T. Aleem, A. Shaukat, A. Khan, M. Mohsin, T.U. Rehman, R. Z. Abbas, M. K. Saleemi, A. Khatoon, W. Babar, R. Yan, and K. Li, « Medicinal plants as an alternative to control poultry parasitic diseases », *Life*, vol. 12, n° 3, pp. 449, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/life12030449>.
- [25] S. V. Mafouo, J. R. Kana, N. K. Nguépi, « Blood and gut microbiota profiles of broiler chickens fed on diet supplemented with graded levels of Neem (*Azadirachta indica*) Oil », *Animal and Veterinary Sciences*, vol. 7, n° 3, pp. 78-82, 2019, doi: <https://doi.org/10.11648/j.av.s.20190703.12>.
- [26] K. Atoe, M. Idu, B. Ikhajagbe, and A. G. Bakre, « Lipid Ratios in Adriamycin-Induced Pre-Eclamptic Wistar Rats Exposed to Methanolic Plant Extracts », *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, vol. 25, pp. 1617-1623, 2021, doi: <https://doi.org/10.4314/jasem.v25i9.12>.
- [27] G. F. Kouassi, N. D. V. Kouakou, S. B. M. Coulibaly, G. A. Koné, K. F. Koffi, A. J. F. Kouassi, and K. E. Amoikon, « Potentialités hypocholestérolémiantes d'*Euphorbia Heterophylla* (L.) Klotz. & Garcke (Euphorbiaceae) chez les lapins locaux (*Oryctolagus Cuniculus* L.) », *European Scientific Journal*, vol. 13, n° 9, pp. 83-95, 2017.
doi: <http://dx.doi.org/10.19044/esj.2017.v13n9p83>.
- [28] M. Zheng, P. Mao, X. Tian, Q. Guo, and L. Meng, « Effects of dietary supplementation of alfalfa meal on growth performance, carcass characteristics, meat and egg quality, and intestinal microbiota in Beijing-you chicken », *Poultry science*, vol. 98, n° 5, pp. 2250-2259, 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.3382/ps/pey550>.
- [29] M. R. A. Redoy, M. A. Rahman, M. Atikuzzaman, A. A. S. Shuvo, E. Hossain, M. J. Khan, and M. Al-Mamun, « Dose titration of plantain herb (*Plantago lanceolata* L.) supplementation on growth performance, serum antioxidants status, liver enzymatic activity and meat quality in broiler chickens », *Italian Journal of Animal Science*, vol. 20, n° 1, pp. 1244-1255, 2021, doi: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.1952114>.
- [30] E. Dezat, and D. Gohier-Austerlitz, « Apporter des fourrages riches en protéines en aviculture », *Hal-03946438*, pp. 1-13, 2021, doi: <https://hal.science/hal-03946438>.
- [31] F. N. Iheagwam, G. A. Itina, O. A. Faluyi, M. Bella-Omunagbe, and S. A. Ejoh, « Anti-obesity potential of *Secamone afzelii* K. leaf and vine ethanol extract: Insights into lipase inhibition and secondary metabolites », *Sci*, vol. 6, n° 4, pp. 70, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/sci6040070>.
- [32] A. S. D'Costa, A. A. Chen, E. Hamann, R. El Iraki, K. Venugopal, and N. Bordenave, « Impact of potato starch on the inhibition of pancreatic lipase by potato phenolic acids », *Food Bioscience*, vol. 57, pp. 103414, 2024.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103414>.

- [33] N. Jaradat, M. Dwikat, J. Amer, M. Ghanim, M. Hawash, F. Hussein, L. Issa, S. Ishtawe, S. Salah, and S. Nasser, « Total phenolic contents, cytotoxic, free radicals, porcine pancreatic α - amylase, and lipase suppressant activities of *Artemisia dracunculus* plant from Palestine », *Frontiers in Pharmacology*, vol. 15, pp. 1351743, 2024.
doi: <https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1351743>.
- [34] T. T. Nkukwana, V. Muchenje, E. Pieterse, P. J. Masika, T. P. Mabusela, L. C. Hoffman, and K. Dzama, « Effect of *Moringa oleifera* leaf meal on growth performance, apparent digestibility, digestive organ size and carcass yield in broiler chickens », *Livestock Science*, vol. 161, n° 1, pp. 139-146, 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.01.001>.
- [35] N. Mondonnet, E. Tillard, B. Faye, A. Collin, J.-L. Gourdine, M. Naves, D. Bastianelli, M. Tixier-Boichard, D. Renaudeau, « Adaptation des animaux d'élevage aux multiples contraintes des régions chaudes », *INRA Productions Animales*, vol. 24, n° 1, pp. 41-64, 2011, doi: <https://hal.science/hal-01001158>.
- [36] A. Collin, V. Coutham, K. J. Tona, S. Tesseraud, S. Mignon-Grasteau, B. Méda, A. Vitorino Carvalho, Y. Guyot, S. Lagarrigue, F. Pitel, and T. Zerjal, « Face au changement climatique, quelles stratégies d'atténuation et d'adaptation pour les productions avicoles ? », *INRA Productions Animales*, vol. 37, n° 1, pp. 8069, 2024.
doi: <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2024.37.1.8069>.
- [37] S. Coulibaly, and D. Diarra, « Une approche d'apprentissage automatique pour prédire décrochage ou abandon scolaire », *Malian Symposium of Applied Sciences-Symposium Malien sur les Sciences appliquées*, Bamako, Mali, MSAS Editions, Actes de Conférences, 1987149X, vol. 2, n° 14, pp. 211-218, 2024, doi: <https://hal.science/hal-05042851>.
- [38] K. Adomako, J. K. Hagan, and O. S. Olympio, « Egg production performance of first and second filial generation naked neck (NANA, Nana) and normal feathered (nana) birds of a cross between indigenous naked neck (NANA, Nana) males and exotic commercial females (nana) », *Livestock Research and Rural Development*, vol. 22, n° 12, 2010.
<http://www.lrrd.org/lrrd22/12/adom22223.htm>.
- [39] C. Asumah, K. Adomako, O. S. Olympio, B. A. Hagan, and E. D. Yeboah, « Influence of thermoregulatory (Na & F) genes on performance and blood parameters of F2 and F3 generations of crosses of local and commercial chickens », *Tropical Animal Health and Production*, vol. 54, n° 207, 2022, doi: <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03207-6>.
- [40] S. Gwaza, and E. D. Nachi, « Effect of naked neck gene on egg and body weight of chickens 30 on free range in selected Nigerian local chicken populations », *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, vol. 8, n° 2, pp. 119-122, 2015,
<https://www.iosrjournals.org/iosr-javs/papers/vol8-issue2/Version-2/U0822119122.pdf>.
- [41] A. Aderinola, K. D. Adeyemi, and A. O. Fasuyi, « Effect of dietary inclusion of *Moringa oleifera* leaf meal on performance, carcass characteristics and blood parameters of broiler chickens », *Journal of Applied Biosciences*, vol. 68, pp. 5546-5554, 2013, doi: <https://doi.org/10.5958/0974-8180.2022.00043.5>.

Comparative study of the temporal and special algorithmic complexity of iterative structures versus recursive structures

DIONGA NDIBU Ornella, LUBONGO MUEMBE Georgine, Glory ALONDA MADOMBA, Simplicie EALE BOTULI, and KABEYA TSHISEBA Cedric

Département de Mathématique et Informatique, Faculté de Sciences, Université Pédagogique Nationale (UPN), Ngaliema, Kinshasa, RD Congo

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

ABSTRACT: This article focuses on the comparison of the temporal and spatial algorithmic complexities of iterative and recursive structures, through the analysis of classic cases (*factorial, Fibonacci sequence, tree traversal*).

We demonstrate in this study that on the one hand iteration generally offers better memory efficiency ($O(1)$ in many cases) and avoids the risks of stack overflow, and on the other hand that recursion, although more elegant and intuitive for certain problems (such as tree traversals), can generate a memory overload ($O(n)$ in call stack) and degraded time complexity in non-optimized cases (eg: naive Fibonacci in $O(2^n)$).

The results obtained here highlight that the choice between these two approaches depends on the context the developer is in. It is therefore worth noting that iteration is better suited to linear and memory-constrained problems, and recursion to nested structures (*trees, divide-and-conquer*), especially if the language supports tail call optimization.

This comparison provides objective criteria to guide developers in selecting the most effective approach based on needs.

KEYWORDS: iteration, recursion, time complexity, space complexity, call stack, optimization.

1 INTRODUCTION

In algorithms, problem solving frequently depends on dreary structures, actualized basically agreeing to two ideal models: **iteration** (*for for and while loops*) and **recursion** (*for self-calling functions*). Whereas both approaches accomplish the same comes about, their suggestions in terms of execution, meaningfulness, and proficiency contrast altogether.

Algorithm optimization may be a central issue in computer science, especially in requesting areas such as high-performance computing, counterfeit insights, and implanted frameworks.

It ought to be famous that the choice between cycle and recursion specifically impacts **the time complexity**, i.e. the execution time of a code, **the space complexity**, i.e. the memory utilized, and the viability of the code.

In spite of the fact that a recursive usage is frequently more natural for issues like tree traversal or divide-and-conquer calculations (*e.g., consolidate sort*), it can bring about memory overhead due to the call stack. Alternately, iterative arrangements, whereas in some cases less rich, by and large offer way better memory effectiveness.

Through this study, we will try to answer the following two questions:

1. In which cases is iteration more efficient than recursion (*and vice versa*) ?
2. How does temporal and spatial complexity evolve depending on the chosen paradigm?

For clarity, we will answer our questions posed above while relying on three classic algorithmic problems below:

1. Calculation of the factorial,
2. Fibonacci sequence,
3. Binary tree traversal.

For each case, we will systematically compare on the one hand the iterative, recursive implementations and their time complexity, and on the other hand their space complexity (stack/ *heap memory*) and their robustness against borderline cases.

2 THEORETICAL REMINDERS ON ALGORITHMIC COMPLEXITIES

2.1 ALGORITHM

Here we can define an algorithm as a finite and unambiguous sequence of operations or instructions that solve a problem or obtain a result. With sequences of instructions, variables, tests and loops, we can write all the algorithms in the world.

2.2 ALGORITHMIC COMPLEXITY

In computer science, the complexity of an algorithm corresponds to the **amount of resources required for its execution**. The article author of two following things:

In computer science, the complexity of an algorithm refers to the amount of resources required for its execution. It mainly concerns two aspects:

- **Time complexity**, which measures the execution time of an algorithm;
- **Space complexity**, which measures the additional memory used by an algorithm, beyond the memory required to store the input data.

These complexities are **independent**. For the same algorithm, it is possible to have excellent time complexity while having disastrous space complexity, or vice versa.

Also, it is important to consider how an algorithm behaves in **different usage contexts**. This means testing its performance with a variety of inputs to see how it reacts in the best case, worst case, and average case.

Generally, attention is paid to the **worst-case complexity** in order to already prepare the algorithm for the most difficult situations, and to the **average complexity**, because it represents the usual behavior of the algorithm.

If multiple algorithms exist to solve the same problem, calculating the complexity of each algorithm provides a way to compare their performance.

2.3 CALCULATING COMPLEXITY

To calculate the complexity of an algorithm, whether temporal or spatial, we use the **Big O notation**, of the form $O(f(n))$. It allows us to express the complexity of an algorithm as a function of the size of the input, generally denoted n . The $f(n)$ in $O(f(n))$ thus represents a **mathematical function** that describes how the complexity of the algorithm increases with n .

When using Big O notation, the emphasis is on the behavior of algorithms as the input size becomes very large, thus for large values of n .

This strategy disposes of less imperative components, such as constants and minor terms, centering on the term that has the most prominent affect on the development of the work. For illustration, in case the precise complexity of an calculation is $O(3n^2+5n+7)$, we disentangle this to $O(n^2)$, since for huge values of n , n^2 is the prevailing term.

Time complexity is evaluated based on the total number of fundamental operations performed in the algorithm. A fundamental operation is an operation performed on a unit of data in constant time. Examples of fundamental operations include comparisons, assignments, array accesses, and also operations that analyze the control structure, such as loops and conditions.

Space complexity is an estimate of the total amount of memory required to run the algorithm, for example, memory for variables or data structures. This often includes stack space for function calls.

2.4 COMMON COMPLEXITY CLASSES

In this part of our study, we will present and classify algorithms based on their efficiency. Knowing and understanding complexity classes is important for choosing the right algorithm to solve the problem you are facing.

Below are some of the most common complexities:

- **Constant complexity $O(1)$** : This class means that the algorithm performs a fixed number of operations, or runs in constant time, regardless of the size of the input. A common example is accessing an element of an array via its index.

- **Logarithmic complexity $O(\log(n))$:** Algorithms with logarithmic complexity decrease the problem space with each iteration. For example, the binary search algorithm halves the search space with each step.
- **Linear complexity $O(n)$:** This category indicates that the number of operations performed or the execution time grows proportionally to the size of the input data. Linear search is a classic example, requiring in the worst case to scan the entire list to locate an element.
- **Quasi-linear complexity $O(n \cdot \log(n))$:** In this class, we find several well-known sorting algorithms, such as quick sort and merge sort. In general, their performance is superior to that of insertion sort.
- **Quadratic complexity $O(n^2)$:** As noted earlier, quadratic complexity appears in algorithms that have one loop nested within another, each loop looping through the entire data set. Quadratic complexity is a category of polynomial complexity, expressed as $O(n^a)$ where a represents an integer.
- **Exponential complexity $O(2^n)$:** The additional elements in the input data here cause each of them to double the number of operations and/or the execution time. Generally speaking, a complexity $O(a^n)$ implies that each new element increases the operations or the execution time by a factor of a . A classic example of an algorithm with exponential complexity is the naive implementation of the function that generates a Fibonacci number.
- **Factorial complexity $O(n!)$:** With algorithms with factorial complexity, each new element increases the total number of operations by multiplying it by the number of existing elements. A classic example is organizing various cities in a travel itinerary, examining all possible routes.

3 COMPARATIVE STUDY ON SELECTED CASES

This section presents a systematic evaluation of iterative and recursive approaches across three well-known algorithmic problems. For each case, we will analyze the implementations, measure the theoretical complexities, and discuss the practical implications.

It is important to point out here that for each case, we will have to present its implementation in Python, all using an iterative structure, then a recursive structure, and finally analyze for these two implementations, depending on the input data, the time complexity on one side and the space complexity on the other.

3.1 CALCULATION OF THE FACTORIAL

- **Problem**

Calculate $n! = n \times (n-1) \times \dots \times 1$

- **Implementations in Python**

- **Iterative**

```
def fact_iter(n):
    res = 1
    for i in range(1, n+1):
        res *= i
    return res
```

- **Recursive**

- **Analysis**

```
def fact_rec(n):
    if n == 0:
        return 1
    return n * fact_rec(n-1)
```

- **Temporal**

- Iterative: $O(n)$ (n multiplications)
- Recursive: $O(n)$ (n calls)

- **Spatial**

- Iterative: $O(1)$ (constant variables)
- Recursive: $O(n)$ (call stack)

- **Observation**

We can say from the above implementation that the iterative version is memory- optimal. Recursion, while elegant, actually consumes more space resources.

3.2 FIBONACCI SEQUENCE

- **Issue**

Calculate $F(n) = F(n-1) + F(n-2)$ with $F(0) = 0, F(1) = 1$

- **Implementations in Python**

- **Iterative**

```
def fib_iter (n):  
    a, b = 0, 1  
    for _ in range (n): a, b = b, a + b return a
```

- **Naive Recursive**

- **Analysis**

```
def fib_rec (n):  
    if n <= 1:  
        return n  
    return fib_rec (n-1) + fib_rec (n-2)
```

- **Temporal**

- Iterative: $O(n)$
- recursive: $O(2n)$ (recursion tree)

- **Spatial**

- Iterative: $O(1)$
- Recursive: $O(n)$ (stack height)

- **Observation**

We can therefore see from the illustration above the obvious case where iteration radically outperforms naive recursion. The recursive version quickly becomes impractical for, say, $n > 30$.

3.3 BINARY TREE TRAVERSAL

- **Problem**

Traverse all nodes of a binary tree in infix order.

- **Python implementations**

- **Iterative (with explicit stack)**

```
def inorder_iter (root):  
    stack = []  
    res = []  
    curr = root  
    while curr or stack:  
        while curr:  
            stack.append (curr)
```

```
curr = curr.left curr = stack.pop () res.append (curr.val) curr = curr.right
return res
```

Recursive

- **Analysis**

```
def inorder_rec (node, res):
    if not node:
        return
    inorder_rec (node.left, res) res.append (node.val) inorder_rec (node.right, res)
```

Temporal

- Both: $O(n)$ (visit each node once)

Spatial

- Iterative: $O(h)$ (h = height of the tree)
- Recursive: $O(h)$ (call stack)

- **Special cases**

 Balanced tree: $h = \log(n) \rightarrow O(\log n)$ space  tree: $h = n \rightarrow O(n)$ space

- **Observation**

In this problem, we can see that both approaches have similar performance. Recursion provides more concise and readable code, while iteration avoids the risk of stack overflow.

4 DISCUSSION OF RESULTS AND RECOMMENDATIONS

4.1 SUMMARY OF KEY OBSERVATIONS

After all these previous Python implementations for illustration purposes, our comparative analysis reveals several major trends, which we will discuss in terms of memory efficiency, time performance, and maintainability.

1. Memory efficiency:

- Iterative implementations consistently dominate in space complexity
($O(1)$ vs $O(n)$ for most recursive cases)
- Recursion generates a memory overhead proportional to the depth of calls

2. Time performance:

- In simple cases (*factorial*), the two approaches are equivalent in time ($O(n)$),
- For substructure problems (*Fibonacci*), naive recursion shows glaring limits ($O(2^n)$ vs $O(n)$ in iterative)

3. Maintainability:

- Recursion provides superior expressiveness for naturally recursive problems (*trees, divide-and-conquer*)
- Iteration often produces more verbose but more transparent code for sequential operations

4.2 KEY DECISION FACTORS

For better decision making by the developer, the choice between iteration and recursion should consider as criteria the *memory constraint*, the *execution depth* and the *sequential problem* for **iterative** structures, and, the *tree/graph*, *code readability/elegance* and *optimized language* for **recursive** structures.

5 CONCLUSION

Identifying the complexity of algorithms is fundamental knowledge for every developer, as it allows them to make wise choices during the development process.

This study allowed us, through the three cases discussed above, to make a comparative analysis of the temporal and spatial algorithmic complexity of iterative structures and those of recursive structures, with the aim of helping developers who will be confronted with this type of situation, to be able to easily make their choices, opting either for recursion or for iteration.

Following the above, we therefore confirm the following:

1. Iterative structures are generally more memory efficient, especially for linear problems.
2. Recursion is elegant for nested structures (trees, graphs), but can lead to memory overhead.
3. The choice depends on the problem and the language: Languages that optimize tail recursion (e.g., Scala) reduce the performance gap.

As an example, we can cite future work exploring the impact of compiler optimizations on recursion in different languages.

REFERENCES

- [1] Cormen, TH, Leiserson, CE, Rivest, RL, & Stein, C. (2022).
- [2] Introduction to Algorithms (4th ed.). MIT Press. [Reference work on algorithmic analysis, covering iterative and recursive complexities].
- [3] Sedgewick, R., & Wayne, K. (2019). *Algorithms* (4th ed.). Addison- Wesley.
- [4] Comparative analysis of recursive and iterative implementations with empirical benchmarks].
- [5] Knuth, DE (1997). The Art of Computer Programming, Volume 1: Fundamental Algorithms (3rd ed.). Addison-Wesley. [Mathematical modeling of the memory costs of recursive calls].
- [6] Harper, R. (2016). Programming in Standard ML. Carnegie Mellon University. [Optimizing recursive calls in functional languages].
- [7] Martinez, P., & Roura, S. (2021). « Recursive vs. Iterative Algorithms: A Performance Benchmark». *Journal of Computer Science*, 17 (3), 45-62. [Experimental comparison on 10 programming languages].
- [8] Kleinberg, J., & Tardos, É. (2005). *Algorithm Design*. Pearson.
- [9] Advanced techniques for optimizing recursive solutions].
- [10] Aho, AV, Lam, MS, Sethi, R., & Ullman, J.D. (2006). Compilers: Principles, Techniques, and Tools (2nd ed.). Pearson. [Optimizations automatic calls recursive by compilers].
- [11] Bryant, RE, & O'Hallaron, DR (2015). Computer Systems: A Programmer's Perspective (3rd ed.). Pearson. [Memory Management and Stack Overflow Risks].
- [12] Odersky, M., Spoon, L., & Venners, B. (2021). Programming in Scala (5th ed.). Artima. [Implementing tail recursion in languages modern].
- [13] Chen, L., & Patel, Y. (2023). «Algorithmic Paradigms: 40 Years of Iteration vs. Recursion». *ACM Computing Surveys*, 55 (2), 1-38. [Historical meta-analysis of preferences according to application domains].

Diversité et statut de conservation de l'ichtyofaune de la volta noire, Côte d'Ivoire

[Diversity and Conservation Status of the Ichthyofauna of the Black Volta River, Côte d'Ivoire]

Yelayaha Arouna OUATTARA¹, Siaka BERTÉ¹, Mamadou CISSE², DIOMANDE Abou³, and Romeo N'Guessan LOZO¹

¹Laboratoire des milieux naturels et conservation de la biodiversité, UFR Biosciences, Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

²Département des sciences et technologies, Université Allassane Ouattara 01 BP 18 Bouaké 01, Côte d'Ivoire

³Département de Biologie Animale, UFR des sciences biologiques, Université Peleforo Gon Coulibaly, BP 1328 Korhogo, Côte d'Ivoire

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

ABSTRACT: Ichthyological investigations were conducted on the Black Volta River, a tributary of the Volta River, as part of a broader inventory of fish fauna in Ivorian freshwater ecosystems. Sampling, carried out between 2022 and 2023, employed a combination of techniques including gill nets, longlines, and fish traps, and was complemented by the analysis of artisanal fishing catches. A total of 63 species, belonging to 22 genera and 17 families, were identified. Species richness varied among sites, with 45 species recorded at Vonkoro, 31 at Machinté, 26 at Tchomi, and 21 at Tatama, with eight species common to all four sites. The most dominant families were Mormyridae (26%), Mochokidae (16%), Alestidae (8%), Cichlidae (8%), Claroteidae (7%), and Cyprinidae (6%). The Shannon diversity index ranged from 2.3 (Tatama) to 3.2 (Vonkoro), indicating a relatively high level of biodiversity. Evenness values ranged from 0.74 to 0.85, reflecting a balanced species distribution. According to the International Union for Conservation of Nature (IUCN), 86% of the recorded species were classified as «Least Concern». These findings provide a valuable scientific baseline for the sustainable management and conservation of the ichthyofauna in the Black Volta River basin.

KEYWORDS: Ichthyofauna, Species Inventory, Biodiversity, Conservation Status, Black Volta, Côte d'Ivoire.

RESUME: Des investigations ichthyologiques ont été menées sur la Volta Noire, affluent du fleuve Volta, dans le cadre d'un inventaire de la faune piscicole des cours d'eau ivoiriens. L'échantillonnage, réalisé entre 2022 et 2023, a mobilisé plusieurs techniques (filets maillants, palangres, nasses) et a été complété par l'analyse des captures de la pêche artisanale. Au total, 63 espèces réparties en 22 genres et 17 familles ont été recensées. La richesse spécifique variait de 45 espèces à Vonkoro, 31 à Machinté, 26 à Tchomi et 21 à Tatama, avec huit espèces commune aux quatre sites. Les familles les plus abondantes étaient les Mormyridae (26 %), Mochokidae (16 %), Alestidae (8 %), Cichlidae (8 %), Claroteidae (7 %) et Cyprinidae (6 %). L'indice de Shannon variait de 2,3 (Tatama) à 3,2 (Vonkoro), traduisant une biodiversité relativement élevée, tandis que les valeurs d'équitabilité (0,74–0,85) indiquaient une distribution équilibrée. Selon l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), 86 % des espèces sont classées dans la catégorie « Préoccupation mineure ». Ces données constituent une base scientifique de référence pour la gestion durable et la conservation de la Volta Noire.

MOTS-CLEFS: Inventaire, Ichtyofaune, Statut de Conservation, Biodiversité, Volta noire, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Les milieux aquatiques constituent des milieux naturels qui fournissent d'énormes biens et services à l'homme. Au-delà des services de régulation au niveau climatique, hydrologique et biologique et des services d'approvisionnement en protéine animale (poissons, crevettes), en eau et matériaux de construction (granulats...), ces hydrosystèmes interviennent significativement dans la satisfaction des besoins socio-économique (barrages hydro-électriques et hydro-agricoles, transports balnéaires) des populations grâce à leurs multifonctionnalités et celui de leur bassin versant [1], [2]. De plus, les ressources aquatiques sont essentielles à la réalisation des objectifs du millénaire pour le développement (OMD), incluant la réduction de la pauvreté. Cependant, malgré son importance fondamentale, la diversité biologique des milieux aquatiques devient de plus en plus pauvre. À ce propos, la référence [3] note que l'érosion de la biodiversité réduit la stabilité de l'écosystème, dégrade la qualité et la quantité des services écosystémiques. Les pressions de l'homme sur les écosystèmes aquatiques deviennent un réel problème pour la conservation de la biodiversité aquatique. D'où, l'orientation de la conscience politique et publique sur la biodiversité et la connaissance plus approfondie de sa valeur [4]. En effet, l'union internationale pour la conservation de la nature (UICN) signalait en 2000 que sur 2465 espèces menacées, 25% était lié à la dégradation des écosystèmes d'eau douce par l'homme [5]. Parmi ces menaces sur les écosystèmes aquatiques viennent en tête de liste les pollutions, les destructions et la dégradation des habitats, la modification du régime hydrologique et changement climatique. Alors qu'en Afrique, l'heure est encore à la construction de barrages, au déboisement intensif et à l'utilisation de produit chimique en agriculture. Ce qui présage une situation de dégradation des écosystèmes aquatiques assez critique sur ce continent. Les cours d'eau ivoirien ne sont pas à l'abri de cette pression anthropique généralisée c'est le cas de la volta noire. Ce cours d'eau se compose de la réunion du Sourou et du Mouhoun au Burkina Faso pour couler vers le Ghana en transitant en Côte d'Ivoire. Le bassin total de drainage de la volta noire est estimé à 154900 km² et 12500 Km² de cette surface se trouve sur le territoire ivoirien [6], [7]. Les activités anthropiques principalement l'agriculture, l'exploitation minière et la construction de pont se sont intensifiées ces dernières années dans le bassin de la volta noire, surtout dans la partie ivoirienne menaçant la diversité biologique des ressources aquatiques de cette rivière [8]. Pourtant, les données biologiques de la partie ivoirienne de la Volta noire sont quasi inexistantes. Il paraît donc opportun d'approfondir les connaissances sur les communautés ichthyologiques et les autres ressources biologiques, ainsi que sur les relations trophiques existantes et les conditions écologiques qu'offre ce bassin fluvial afin de déterminer le degré de perturbation de cet écosystème. La présente étude vise donc à caractériser la composition et la structure de l'ichtyofaune de la Volta Noire en Côte d'Ivoire, en vue de fournir une base scientifique pour sa conservation et sa gestion durable.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MILIEU D'ÉTUDE

La Volta Noire est un cours d'eau situé au nord-est de la Côte d'Ivoire entre les latitudes 5°30' Nord et 14°30' Nord et les longitudes 2°00' Est et 5°30' Ouest. Elle prend sa source en tant que Mouhoun au Burkina Faso pour couler vers le Ghana en transitant en Côte d'Ivoire. Son bassin total de drainage est estimé à 154900 km² et 12500 Km² de cette surface se trouve sur le territoire ivoirien [6], [7].

Le climat dans la zone nord-est du pays est de type soudanais avec une saison des pluies de mai à octobre et une saison sèche marquée par l'harmattan et comprise entre novembre et avril. Les précipitations annuelles varient entre 900 et 1100 mm [9]. Les stations d'échantillonnage retenues sont Tatama, Vonkoro, Machinté et Tchomi localisées dans la portion ivoirienne du bassin (Figure 1).

2.2 ECHANTILLONNAGE ET ETAT DE CONSERVATION DES POISSONS

L'échantillonnage a été conduit entre 2022 et 2023 à l'aide d'une batterie de 17 filets maillants de tailles variées (mailles de 8 à 90 mm), complétés par des palangres et des nasses. Les captures de la pêche artisanale ont également été examinées afin d'enrichir la liste des espèces recensées. Les poissons collectés ont été identifiés sur le terrain à l'aide de clés d'identification [10], [11]. Puis conservés dans un fût contenant du formaldéhyde à 10%. L'état de conservation des poissons a été déterminé à l'aide de la Liste rouge des espèces menacées [12].

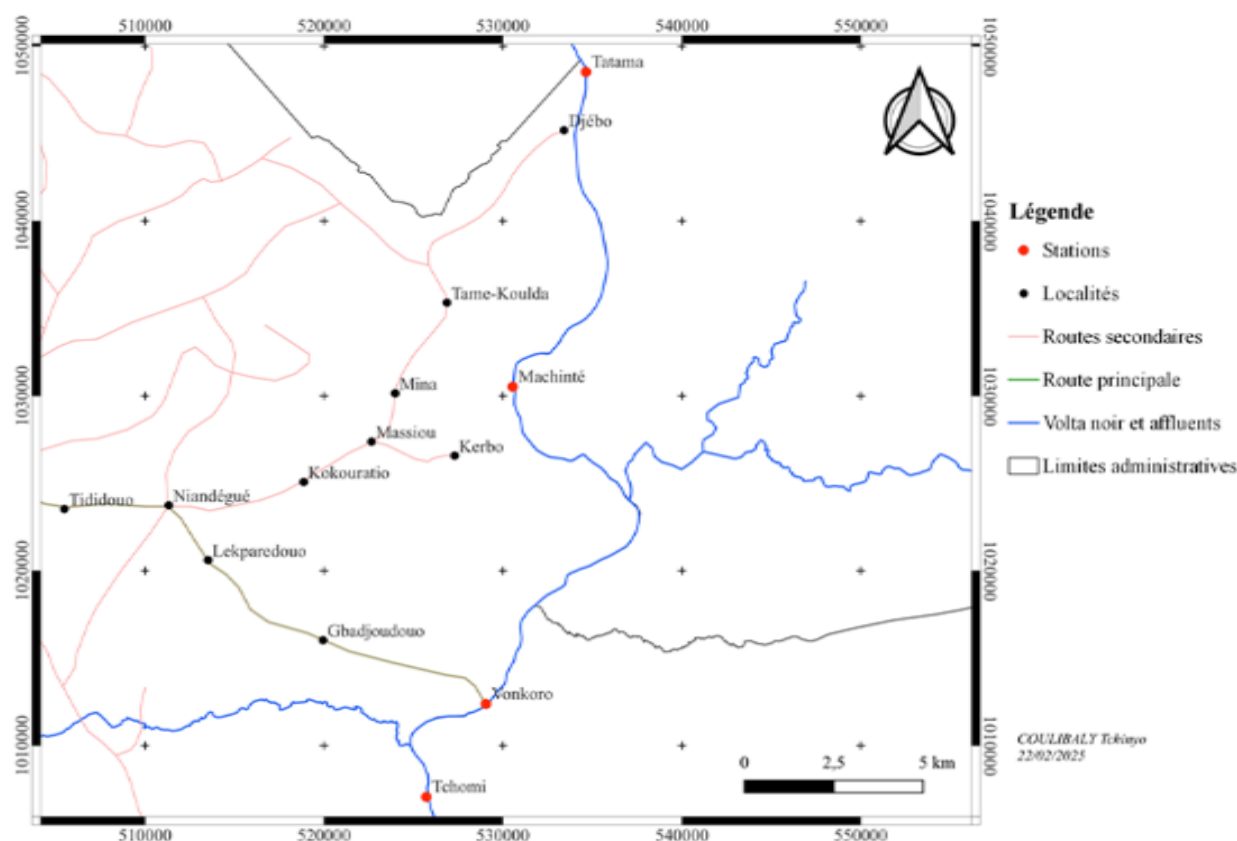


Fig. 1. Milieu d'étude et localisation des stations d'échantillonnage

2.3 ANALYSE DES DONNEES

La structure des peuplements a été caractérisée par:

- **La fréquence d'occurrence (F)** qui reflète le nombre d'échantillons où une espèce est observée par rapport au nombre total d'échantillons [13]. Elle quantifie le degré d'ubiquité des différentes espèces et se calcule comme suit

$$F = (Si/St) \times 100$$

Où Si est le nombre d'échantillons où l'espèce i a été observée et St le nombre total d'échantillons.

Ensuite, la classification suivante a été utilisée pour caractériser les espèces selon leur fréquence dans les échantillons. Lorsque F est compris entre 80 et 100 %, l'espèce est qualifiée de très fréquente ;

60 à 79 %: Espèces fréquentes ;

40 à 59 %: espèces assez fréquentes;

20 à 39 %: Espèces accessoires [14]

- **L'indice de Shannon** a été utilisé pour quantifier l'hétérogénéité de la biodiversité du milieu d'étude. La formule de cet indice est la suivante:

$$H' = - \sum (ni/Nt) \times \log_2 (ni/Nt)$$

Où ni est le nombre d'individus d'une espèce i donnée, i variant de 1 à S (nombre total d'espèces). Nt est le nombre total d'individus. Quand H' tend vers 0, la diversité est minimale. Elle est maximale quand H' tend vers l'infini [15].

- **L'équitabilité** rend compte de l'abondance relative de chaque espèce, de la régularité de la distribution des espèces et de la qualité d'organisation du peuplement dans un écosystème [16]. Elle dérive de l'indice de Shannon et la formule est la

suivante: $E = H'/\log 2Rs$, cet indice peut varier de 0 à 1. Il est maximal quand les espèces ont la même abondance dans le peuplement et il est minimal quand une seule espèce domine tout le peuplement [15]. Il est très utile pour comparer les dominances potentielles entre stations ou entre saisons d'échantillonnage.

A l'inverse, toute dominance d'une espèce est signe d'un déséquilibre dû à une cause naturelle ou anthropique [17].

3 RESULTATS

3.1 COMPOSITION DES COMMUNAUTÉS ICTHYOLOGIQUES

Au total, 63 espèces appartenant à 22 genres et 17 familles ont été répertoriées sur le cours principal de la volta noire dont 45 espèces à Vonkoro, 31 à Machinté, 26 à Tchomi et 21 à Tatama (Tableau 1). Les familles les plus représentées dans les captures étaient les Mormyridae, les Mochokidae, les Alestidae, les Cichlidae, les Claroteidae, les Cyprinidae, les Citharindae, Clariidae qui représentent au total 81% des espèces rencontrées. Les familles représentées par une seule espèce comprenaient les Centropomidae, les Malapteruridae, les Osteoglossidae, les Protopteridae et les Tetraodontidae, Distichodontidae, Hepsetidae, soit 10% des espèces. Les autres familles, les Polypteridae, les Schilbeidae, et les Bagridae représentent chacune 3% des espèces capturées (Figure 2). La présence des espèces a révélé 8 espèces très fréquentes, 8 espèces fréquentes, 20 espèces assez fréquentes, 27 espèces accessoires. Parmi toutes les espèces, les plus fréquentes étaient *Hyperopisus bebe* (100%), *Mormyrops anguilloides* (100%), *Mormyrus macrophtalamus* (100%), *Marcusenius senegalensis* (100%), *Schilbe intermedius* (100%), *Schilbe mandibularis* (100%), *Bagrus bajad* (100%), *Synodontis schall* (100%) (tableau 2). Selon le nombre d'individu, les familles dominantes dans les captures étaient les Mormyridae (45%) et les mochokidae (12%).

3.2 STATUT DE CONSERVATION

L'état de conservation des poissons selon l'UICN indique que 54 espèces sont moins concernées (LC), 6 espèces sont non évaluées (NE) et 3 espèces présente un déficit de données. Les espèces dont le statut de conservation n'est pas encore évalué sont *Mormyrus rume*, *Petrocephalus bane*, *Petrocephalus bovei*, *Sarotherodon melanotheron*, *Polypterus endulcheri*, *Polypterus senegalus*.

Tableau 1. Liste des espèces échantillonnées, répartitions dans les stations et statut de conservation dans la volta noire

Familles	Espèces	Tatama	Machinté	Vonkoro	Tchomi	Statut de conservation (UICN)
Alestidae	<i>Aletes baremoze</i>			+	+	LC
	<i>Brycinus luteus</i>			+		LC
	<i>Brycinus macrolepidotus</i>	+		+		LC
	<i>Brycinus nurse</i>			+		LC
	<i>Hydrocynus forskalii</i>	+		+	+	LC
Citharindae	<i>Citharinus citharus</i>	+		+	+	LC
	<i>Citharinus distichoides</i>	+	+		+	LC
	<i>Citharinus latus</i>			+		LC
Distichodontidae	<i>Distichodus rostratus</i>			+	+	LC
Hepsetidae	<i>Hepsetus odoe</i>			+		LC
Cyprinidae	<i>Labeo coubie</i>		+	+	+	DD
	<i>Labeo parvus</i>			+		LC
	<i>Labeo senegalensis</i>	+	+	+		LC
	<i>Raimas senegalensis</i>			+		LC
Mormyridae	<i>Campylomormyrus tamandua</i>				+	LC
	<i>Hyperopisus bebe</i>	+	+	+	+	LC
	<i>Hypopophthamyrus paugy</i>		+	+	+	LC
	<i>Hypopophthamyrus pictus</i>	+		+		LC
	<i>Mormyrops anguilloides</i>	+	+	+	+	LC
	<i>Mormyrops breviceps</i>	+		+		LC

	<i>Marcusenius brucii</i>				+	DD
	<i>Marcusenius cyprinoides</i>				+	LC
	<i>Mormyrus hasselquistii</i>			+		LC
	<i>Mormyrus macrophthalmus</i>	+	+	+	+	LC
	<i>Mormyrus rume</i>		+	+	+	NE
	<i>Marcusenius senegalensis</i>	+	+	+	+	LC
	<i>Marcusenius ussheri</i>			+		LC
	<i>Petrocephalus bane</i>			+		NE
	<i>Petrocephalus bovei</i>		+	+		NE
	<i>Petrocephalus pelligrini</i>	+	+	+		LC
Osteoglossidae	<i>Heterotis niloticus</i>		+			LC
Centropomidae	<i>Lates niloticus</i>	+		+	+	LC
Cichlidae	<i>Chromidotilapia guntheri</i>			+		LC
	<i>Hemichromis fasciatus</i>			+		LC
	<i>Oreochromis niloticus</i>		+			LC
	<i>Sarotherodon galilaeus</i>		+			LC
	<i>Sarotherodon melanotheron</i>		+			NE
Polypteridae	<i>Polypterus endulcheri</i>			+	+	NE
	<i>Polypterus senegalus</i>	+		+		NE
Schilbeidae	<i>Schilbe intermedius</i>	+	+	+	+	LC
	<i>Schilbe mandibularis</i>	+	+	+	+	LC
Bagridae	<i>Bagrus bajad</i>	+	+	+	+	LC
	<i>Bagrus filamentosus</i>					DD
	<i>Bagrus docmak</i>				+	LC
Clariidae	<i>Heterobranchius isopterus</i>			+		LC
	<i>Heterobranchius longifilis</i>		+			LC
	<i>Clarias anguillaris</i>		+		+	LC
Claroteidae	<i>Auchenoglanis biscutatus</i>		+			LC
	<i>Auchenoglanis occidentalis</i>		+	+		LC
	<i>Chrysistysh maurus</i>		+	+		LC
	<i>Chysistysh nigrodigitatus</i>	+		+	+	LC
Malapteriridae	<i>Malapterirus electricus</i>		+	+		LC
Mochokidae	<i>Synodontis sorex</i>		+	+		LC
	<i>Synodontis arnoulfi</i>		+			LC
	<i>Synodontis bastiani</i>			+	+	LC
	<i>Synodontis filamentosus</i>		+	+		LC
	<i>Synodontis mambranaceus</i>		+		+	LC
	<i>Synodontis nigrita</i>		+			LC
	<i>Synodontis punctifer</i>			+		LC
	<i>Synodontis schall</i>	+	+	+	+	LC
	<i>Synodontis velifer</i>	+	+			LC
	<i>Synodontis waterloti</i>	+				LC
Tetraodontidae	<i>Tetraodon lineatus</i>			+		LC
17 familles	63 espèces	21	31	45	26	

LC: Least Concern (préoccupation mineure); NE: non évaluée; DD: données insuffisantes

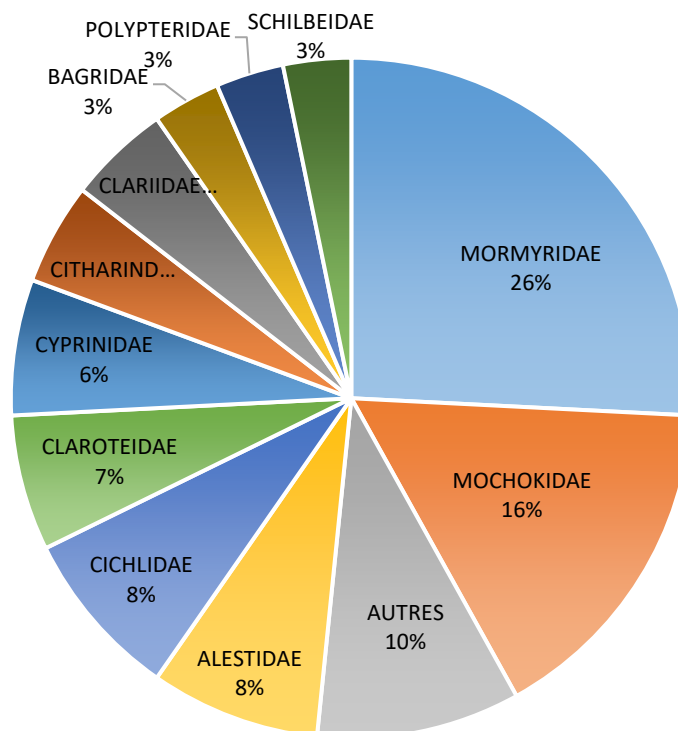


Fig. 2. Importance relative des principales familles de poissons capturées dans la volta noire

3.3 INDICES DE DIVERSITÉ

Les valeurs de l'indice de diversité de Shannon varient de 2,3 à 3,2 sur l'ensemble des stations échantillonnées (Tableau 2). La valeur la plus élevée a été obtenue à la station de Vonkoro ($H' = 3,2$) tandis que la plus faible valeur a été obtenue à la station Tatama ($H' = 2,3$). Pour l'ensemble de la volta noire l'indice de diversité calculé est de 2,75. Les valeurs d'équitabilité obtenues de façon générale montrent que toutes les stations échantillonnées seraient stables car le seuil d'équitabilité qui est de 0,5 est atteint (Tableau 2). La plus grande valeur (0,85) a été obtenue à Machinté et Vonkoro tandis que la plus faible valeur (0,74) est obtenue à Tatama. La valeur de l'indice d'équitabilité pour l'ensemble de la volta noire est de 0,8.

Tableau 2. Indices de diversité de Shannon (H') et d'équitabilité (E)

INDICES DE DIVERSITES	Tatama	Machinté	Vonkoro	Tchomi
Taxa_ST	21	31	45	26
Shannon_H	2,3	2,8	3,2	2,6
Equitability_J	0,74	0,85	0,85	0,83

4 DISCUSSION

L'échantillonnage de la faune ichthyologique de la volta noire a permis de recenser 63 espèces réparties entre 17 familles. Ces données sont les premières dans la partie ivoirienne de la volta noire. Toutefois, d'autres études ichthyologiques ont été réalisées sur le bassin du fleuve volta telles que celles réalisées au Burkina Faso [18], [19]. Ces études enregistrent respectivement 66 espèces et 75 espèces. Cette différence de la richesse spécifique serait liée aux méthodes, aux différentes zones visitées et aux périodes d'échantillonnage [20], [21], [22], [23]. Notons que seulement 3% de la volta noire appartient au territoire ivoirien contre 42,65% sur le territoire du Burkina Faso. Ainsi la portion ivoirienne de la volta noire serait une zone de refuge des espèces de poissons.

La faune ichthyologique rencontrée dans la zone d'étude est constituée pour l'essentiel des Mormyridae (26%), Mochokidae (16%), des Alestidae (8%), des Cichlidae (8%) et des Claroteidae (7%). La famille des Mormyridae est un indicateur de la qualité

écologique de l'eau. Cette famille est très sensible à la moindre dégradation de la qualité de l'eau [24], [25]. Dans la présente étude, la forte diversité de la famille des Mormyridae indiquerait une bonne santé écologique des eaux de la portion ivoirienne de la volta noire.

L'organisation de la communauté ichtyologique de la volta noire dans la section étudiée a été analysée à l'aide des indices de Shannon (H') et d'équitabilité (E). Les valeurs d'équitabilité dans les différentes zones étaient élevées, mais plus proches de 0,5 dans la station de Tatama et proche de 1 dans les autres stations. La référence [26] a rapporté qu'un peuplement avec une valeur d'équitabilité proche de 1 présente une bonne organisation. Les présents résultats indiquent donc que les populations de poissons de la volta noire dans les zones étudiées présentent une organisation stable et satisfaisante à l'exception de la station de Tatama qui semble être dans un état écologique beaucoup plus perturbé (avec un indice d'équitabilité de 0,74) par rapport aux autres stations visitées.

La distribution de l'ichtyofaune dans la volta noire montre que la richesse spécifique est plus importante dans la station de Vonkoro (45 espèces) que celles récoltées dans les stations de Machinté, Tchomi et Tatama, et qui compte respectivement 31, 26 et 21 espèces chacune. Les résultats de nos pêches dans la volta noire montrent que l'espèce *Marcusenius senegalensis*, appartenant à la famille des Mormyridae est l'espèce la plus représentée.

Concernant l'état de conservation des poissons, 85% des espèces ont été classées dans la catégorie « Préoccupation mineure ». Aucune espèce de poisson recensée dans la partie ivoirienne de la volta noire n'a été classée comme menacées.

5 CONCLUSION

Des recherches sur la diversité des poissons menées dans quatre stations de la volta noire ivoirienne ont révélé 63 espèces répartie entre 17 familles. Les Mormyridae était la famille la plus représentée. L'indice de diversité variait de 2,3 à 3,2. La station de Vonkoro présentait l'indice de diversité le plus élevé. L'étude a révélé que 86% des espèces de poissons recensées étaient classées comme « préoccupation mineure ». Cette recherche fournit des données cruciales et innovantes sur la diversité des poissons de la volta noire, servant de référence fondamentale pour les futurs efforts de conservation.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'une étude d'impact environnemental dans la région du Bounkani pour la préservation de la biodiversité de la volta noire". Nous tenons à remercier toute l'équipe pour la collecte et le traitement des données.

REFERENCES

- [1] Gleick P. H., Water resources: A long-range global evaluation. *Ecology Law Quarterly*, 20 (1): 141-149., 1993.
- [2] RRGMA, La continuité écologique des eaux. Guides des bonnes pratiques. Réseau Régional des Gestionnaires de Milieux Aquatiques (RRGMA), 2013. [En ligne]. Consulté le 12 Juin 2024.<http://www.rrgma-paca.org/>.
- [3] Tilman D., Biodiversité et services écosystémiques: faut-il se préoccuper de l'érosion de la biodiversité? In: *Actes de la Conférence internationale « Biodiversité, science et gouvernance »* (Barbault R. & LE DUC J.-P., eds). MNHN (Paris), pp. 102-110, 2005.
- [4] N'Da A.S., Biodiversité, structure du peuplement ichtyologique et relations trophiques d'un bassin du nord de la Côte d'Ivoire: cas de la rivière Bagoé. Thèse de Doctorat de l'Université Félix Houphouët-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 199 p., 2015.
- [5] Cissé H.D. & Waaub J.P., Gestion de la biodiversité aquatique dans les grands projets d'aménagement des bassins fluviaux en Afrique de l'Ouest. 15e Colloque International en Evaluation Environnementale, Paris, 27 p., 2010.
- [6] Garané A., Le cadre juridique international du bassin de la Volta. UICN, Gland, Suisse. xx + 264p., 2009.
- [7] UNEP-GEF volta project, Analyse Diagnostique Transfrontalière (Document traduit en français). *UNEP/GEF /Volta RR 4/2012*, 2012.
- [8] Omernik J.M., Bailey R.G., Distinction entre bassins versants et écorégions. *Journal de l'American Water Resources Association*, 33: 935-949, 1997.
- [9] UNEP-GEF Volta Project, Analyse Diagnostique Transfrontalière (Document traduit en français). *UNEP/GEF /Volta RR 5/2013*, 2013.
- [10] Paugy D., Lévêque C., Teugels G.G., Faune des Poissons d'Eaux Douces et Saumâtres de l'Afrique de l'Ouest. Editions IRD: Paris., 2003a.
- [11] Paugy D., Lévêque C., Teugels G.G., Faune des Poissons d'Eaux Douces et Saumâtres de l'Afrique de l'Ouest. Editions IRD: Paris., 2003b.

- [12] UICN, Liste rouge des espèces menacées de l'UICN., 2023.Version 2022-2.
Disponible à l'adresse: <https://www.iucnredlist.org>. Consulté en juillet 2023.
- [13] Gbenyedji J.N.B.K., Anani K.E., Amevoin K., Glitho I.A., Diversité spécifique des termites (Isoptera) dans deux plantations de tecks (*Tectona grandis* L.) au sud du Togo. *Journal international des sciences biologiques et chimiques*. 5 (2): pp.755-765, 2011.
- [14] Djakou R., Thanon S.Y., Écologie Afrique intertropicale. Éditions Bordas, Paris, 191p., 1988.
- [15] Dajoz R., Précis d'écologie. 8e Edition Dunod (Paris), 631 p., 2006.
- [16] Hill M.O., Diversity and evenness: A unifying notation and its consequences. *Ecology*, 54: 427-432., 1973.
- [17] Thienemann A. Chironomus. Leben, Verbreitung und wirtschaftliche Bedeutung der Chironomiden. *Die Binnen-gewässer*. 20: 1-834, 1954.
- [18] Toguyeni A. et Sirima O., Les poissons. In: Atlas de la Biodiversité de l'Afrique de l'Ouest (Thiombiano A. & Kampmann D. eds.), Tome II: Burkina Faso. Ouagadougou & Frankfurt/Main, BIOTA, 592p., 2010.
- [19] Mano K., Oueda A., Ouedraogo R., Ouedraogo I., Kabore I. Kabre B., Melcher A.H., Fish assemblages in the Upper part of the Volta River, Burkina Faso: A link analysis towards fisheries management and conservation. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 13 (6): pp.2560-2572, 2019.
- [20] Gourène G., Teugels G.G., Hugueny B., Thys Van Den Audenaerde D.F.E., Évaluation de la diversité ichthyologique d'un bassin ouest africain après la construction d'un barrage. *Cybum*. 23 (2): pp.147-160, 1999.
- [21] Kouamélan E.P., Teugels G.G., N'Douba V., Goore Bi G., Koné T., Diversité des poissons et ses relations avec les variables environnementales dans un bassin ouest-africain. *Hydrobiologie*. 505: pp.139-146, 2003.
- [22] Yao S.S., Kouamelan E.P., Koné T., N'douba V., Gooré Bi G., Ollevier F., Thys Van Den Audenaerde D.F.E., Communautés de poissons le long des gradients environnementaux dans le bassin du fleuve Comoé, Côte d'Ivoire. *Journal africain des sciences aquatiques*, 30 (2): pp.185-194, 2005.
- [23] Yao S.S., Contribution à l'étude de la diversité biologique et de l'écologie alimentaire de l'ichtyofaune d'un hydrosystème ouest africain: Cas du bassin de la Comoé (Côte d'Ivoire). Thèses de Doctorat. Université de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire), 280p., 2006.
- [24] Hugueny B, Camara S, Samoura B, Magassouba M. Application d'un indice d'intégrité biotique basé sur les assemblages de poissons dans une rivière d'Afrique de l'Ouest. *Hydrobiologia*, 331: pp.71-78. 1996.
- [25] Kamdem Toham A, Teugels GG. Premières données sur un indice d'intégrité biotique (IBI) basé sur les assemblages de poissons pour l'évaluation de la déforestation dans un fleuve tropical d'Afrique de l'Ouest. *Hydrobiologia*, 397: pp. 29-38, 1999.
- [26] Da Fonseca C.J.P., L'outil statistique en biologie du sol. Corrélation de rang et affinités écologiques. *Revue d'Ecologie et de Biologie du sol*. 5 (1): pp.41-54, 1968.

